

ONTWERP VAN SCHUTSLUIZEN



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat



Bouwdienst

Inhoudsopgave

deel 1:

Voorwoord

1. Inleiding	1-1
1.1 Schutsluizen in Nederland	1-1
1.2 Doelstelling	1-2
1.3 Overzicht inhoud	1-2
1.4 Verantwoording	1-3
2. Programma van Eisen	2-1
2.1 Inleiding	2-1
2.2 Randvoorwaarden	2-2
2.2.1 Topografie	2-2
2.2.2 Bestaande schutsluis (-sluizen)	2-2
2.2.3 Waterstanden c.a.	2-2
2.2.4 Wind	2-3
2.2.5 Morfologie	2-3
2.2.6 Bodemgesteldheid	2-3
2.3 Functionele eisen	2-5
2.3.1 Functionele eisen betreffende de scheepvaart	2-5
2.3.1.1 Algemeen	2-5
2.3.1.2 Voorhavens	2-6
2.3.1.3 Fuik	2-7
2.3.1.4 Kolk en hoofden	2-7
2.3.2 Functionele eisen betreffende de waterkering	2-8
2.3.3 Functionele eisen betreffende het waterbeheer	2-9
2.3.3.1 Algemeen	2-9
2.3.3.2 Beperking waterverliezen	2-10
2.3.3.3 Scheiding tussen zout- en zoetwater of tussen schoon en verontreinigd water	2-10
2.3.3.4 Waterlozen en -inlaten	2-10
2.3.4 Functionele eisen betreffende de kruisende droge infrastructuur	2-11
2.3.4.1 Wegen	2-11
2.3.4.2 Kabels en leidingen	2-12
2.4 Gebruikseisen	2-14
2.4.1 Peilen	2-14
2.4.1.1 Schutpeilen	2-14
2.4.1.2 Ontwerppeilen	2-15
2.4.2 Eventuele voorkeur scheiding scheepsoorten	2-16
2.4.2.1 Scheiding bij gebruik van opstelruimte, wachtruimte en kolk	2-16
2.4.2.2 Scheiding bij het gebruik van de fuik	2-17
2.4.3 Afmeervoorzieningen in kolk en voorhaven	2-18
2.4.3.1 Kolk	2-18
2.4.3.2 Voorhavens	2-19
2.4.3.3 Fuik	2-20
2.4.4 Bedieningstijden (= bedrijfstijden)	2-20
2.4.5 Nivelleertijden	2-20
2.4.6 Bedrijfsvoering	2-21

2.4.6.1	Procesbeschrijvingen	2-21
2.4.6.2	Informatie voor de bedrijfsvoering	2-21
2.4.6.3	Procedures en voorzieningen voor niet-gewenste bedrijfssituaties	2-22
2.4.7	Bediening	2-22
2.4.7.1	Situering bedieningsgebouw	2-22
2.4.7.2	Lokale bedieningsvoorzieningen	2-23
2.4.7.3	Communicatiemiddelen	2-23
2.4.7.4	Keuze (gedeeltelijk) geautomatiseerde- en zelfbediening	2-23
2.4.7.5	Afstandsbediening van sluizen	2-23
2.4.8	Verlichting, signalering en bebording	2-23
2.4.8.1	Verlichting	2-23
2.4.8.2	Markering	2-24
2.4.8.3	Signalering	2-25
2.4.8.4	Bebording	2-25
2.4.8.5	Verlichtingsplan	2-25
2.4.9	Energievoorziening	2-25
2.4.10	Beschikbaarheid	2-25
2.4.10.1	Inleiding	2-25
2.4.10.2	Oorzaken niet-beschikbaarheid	2-26
2.4.10.3	Waterstanden boven en beneden schutberek	2-26
2.4.10.4	Te veel wind, te slecht zicht	2-26
2.4.10.5	Storingen van installaties, bewegingswerken en bediening	2-26
2.4.10.6	Aanvaringen	2-26
2.4.10.7	Onderhoud	2-27
2.4.11	Bescherming constructies tegen beschadigingen	2-27
2.4.11.1	Aanvaarbescherming deuren	2-27
2.4.11.2	Aanvaarbescherming beton- en damwandconstructies	2-27
2.4.11.3	Voorzieningen tegen vandalisme	2-28
2.4.11.4	Bliksembeveiliging c.a.	2-28
2.4.12	Veiligheid	2-28
2.4.12.1	Voorzieningen voor drenkelingen	2-28
2.4.12.2	Voorzieningen voor veiligheid	2-28
2.4.12.3	Brandbestrijding	2-29
2.4.13	Bereikbaarheid sluis en voorhavens	2-29
2.4.13.1	Sluisbedrijf	2-29
2.4.13.2	Bereikbaarheid schepen in de sluis	2-29
2.4.13.3	Bereikbaarheid schepen in voorhavens	2-29
2.4.13.4	Bereikbaarheid schepen met gevaarlijke stoffen in voorhavens	2-30
2.4.14	Aanvullende wensen opdrachtgevers	2-30
2.4.15	Levensduureisen	2-30
2.4.15.1	Ontwerplevensduur sluiscomplex	2-30
2.4.15.2	Stalen onderdelen	2-30
2.4.15.3	Elektrische installaties	2-31
2.4.15.4	Hard- en software	2-31
2.4.15.5	Damwandconstructies	2-31
2.4.15.6	Remming- en geleidewerken	2-31
2.5	Onderhoudseisen	2-32
2.5.1	Onderhoudsstrategie	2-32
2.5.2	Reservedeuren	2-32
2.5.3	Reserve-onderdelen en -materialen	2-33
2.5.4	Al dan niet droogzetten sluis	2-33
2.5.5	Bereikbaarheid voor personeel	2-33
2.5.6	Monitoring	2-33
2.5.7	Elektrische installaties, hard- en software	2-34
2.5.8	Opslagruimten en werkplaatsen	2-34
2.6	Omgevingseisen in gebruiksstadium	2-35
2.6.1	Esthetica	2-35
2.6.2	Milieueisen inzake bouw- en verbruiksmaterialen	2-35
2.6.3	Recreatie	2-36
2.7	Omgevingseisen in bouwstadium	2-37
2.7.1	Beschikbaarheid bouwterrein en definitieve terreinen	2-37
2.7.2	Verontreinigde grond	2-37
2.7.3	Grondwateronttrekking	2-37

2.7.4	Instandhouding weg- en scheepvaartverkeer, kabels en leidingen	2-38
2.7.5	Instandhouding waterkering	2-38
2.8	Vergunningen en procedures bij de bouw van een sluis	2-39
2.8.1	Bouw- en aanlegvergunning, bestemmingsplanwijziging	2-39
2.8.2	Sloopvergunning	2-39
2.8.3	Wet op de waterkering	2-39
2.8.4	Wet milieubeheer, m.e.r.	2-40
2.8.5	Ontgrondingenwet	2-40
2.8.6	Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren	2-41
2.8.7	Grondwaterwetvergunning	2-41
2.8.8	Wet op de Waterhuishouding	2-41
2.8.9	Wet bodembescherming	2-41
2.8.10	Natuurbeschermingswet	2-42
2.8.11	Wet beheer RWS-werken	2-42
2.8.12	Wet Geluidhinder	2-42
2.8.13	Provinciale Wegenverordening	2-42
2.8.14	Bouwstoffenbesluit	2-42
2.8.15	Overige vergunningen en ontheffingen	2-43
2.9	Normen en richtlijnen	2-44
2.9.1	Normen	2-44
2.9.2	Richtlijnen	2-47
2.10	Checklist	2-47
2.10.1	Inleiding	2-47
2.10.2	Toelichting checklist	2-47
	Checklist	2-49
	Literatuur	2-58
3.	Ontwerpproces	3-1
3.1	Inleiding	3-1
3.2	Fasen van het ontwerpproces	3-2
3.2.1	Overzicht fasen	3-2
3.2.2	Initiatiefase	3-2
3.2.3	Definitiefase	3-2
3.2.4	Voorontwerpfase	3-3
3.2.5	Ontwerpfase	3-3
3.2.6	Vorbereidingsfase	3-4
3.2.7	Realisatiefase	3-4
3.3	Proces voorontwerp	3-5
3.3.1	Inleiding	3-5
3.3.2	Stroomschema voorontwerp sluiscomplex zonder eisen inzake het waterbeheer	3-5
3.3.3	Invloed waterbeheer-eisen op het stroomschema	3-6
3.3.4	Varianten	3-8
3.3.5	Keuzecriteria	3-9
3.3.6	Selectie	3-10
	Figuren	3-11
	Literatuur	3-15
4.	Hoofdafmetingen van Schutsluis en Voorhavens	4-1
4.1	Inleiding	4-1
4.2	Algemeen	4-3
4.2.1	Classificatie van vaarwegen	4-3
4.2.2	Classificatie van schepen	4-4
4.2.3	Specifieke eigenschappen van schepen	4-7

4.3	Verkeersaanbod	4-9
4.3.1	Algemeen	4-9
4.3.2	Prognoses voor zeesluizen	4-9
4.3.3	Prognoses voor goederenvervoer binnenvaart	4-9
4.3.4	Prognoses voor personenvervoer en recreatievaart	4-10
4.3.5	Verkeersaanbod variërend in de tijd, maatgevend verkeersaanbod	4-11
4.4	Schutkolk, horizontale afmetingen en peilmaten met het oog op schutten	4-13
4.4.1	Inleiding	4-13
4.4.2	Nuttige horizontale afmetingen	4-14
4.4.2.1	Verkeersafwikkeling bij de sluis	4-14
4.4.2.2	Minimum-sluizen en capaciteitssluizen	4-14
4.4.2.3	Methoden voor bepalen kolkmaten van een capaciteitssluis	4-15
4.4.2.4	Invloed van diverse factoren op passeertijden	4-17
4.4.2.5	Prognose van benodigde sluiscapaciteit	4-21
4.4.2.6	Richtlijnen voor nuttige horizontale afmetingen schutkolk	4-22
4.4.3	Niveau van drempels	4-24
4.4.3.1	Componenten van minimale waterdiepte boven de drempel	4-24
4.4.3.2	Richtlijnen voor minimum bruto kielspeling	4-26
4.4.3.3	Verdere overwegingen met betrekking tot het drempelniveau	4-27
4.4.4	Niveau van de kolkbodem	4-28
4.4.5	Dekzerhoogte, met het oog op scheepvaart	4-28
4.4.5.1	Inleiding	4-28
4.4.5.2	Nautische eisen	4-28
4.4.5.3	Richtlijnen voor dekzerhoogte	4-29
4.4.6	Doorvaarthoogte	4-30
4.4.6.1	Inleiding	4-30
4.4.6.2	Richtlijnen voor doorvaarthoogte	4-30
4.5	Schutsluis, peilmaten met het oog op de waterkerende functie	4-32
4.5.1	Functionele eisen voor de schutsluis als onderdeel van de waterkering	4-32
4.5.2	Schutsluizen als onderdeel van de waterkering	4-33
4.5.3	Hydraulische randvoorwaarden	4-35
4.5.4	Niveau bovenkant deurbeplating en dekzerk	4-36
4.5.5	Waakhoogte	4-37
4.6	Schutsluis, resulterende horizontale afmetingen en peilmaten	4-39
4.6.1	Inleiding	4-39
4.6.2	Lengte	4-39
4.6.2.1	Overzicht	4-39
4.6.2.2	Stopstreepafstand	4-40
4.6.2.3	Lengte van de deuren	4-41
4.6.2.4	Lengte van het sluishoofd	4-41
4.6.3	Breedte	4-42
4.6.4	Peilmaten	4-42
4.6.4.1	Niveau van de drempels	4-42
4.6.4.2	Niveau bovenkant deurbeplating en dekzerk	4-44
4.6.4.2.1	Niveau dekzerk met het oog op scheepvaart	4-44
4.6.4.2.2	Niveau deurbeplating en dekzerk met het oog op waterkering	4-44
4.6.4.2.3	Combineren van eisen van scheepvaart en waterkering	4-45
4.6.4.3	Niveauskeuze van drempel, dekzerk en deurbeplating	4-47
4.7	Voorhaven, horizontale afmetingen en diepte met het oog op schutten	4-48
4.7.1	Horizontale afmetingen van de voorhaven	4-48
4.7.1.1	Inleiding	4-48
4.7.1.2	Havenmond / vrije ruimte	4-50
4.7.1.3	Vaarstrook	4-50
4.7.1.4	Fuik met geleidewerken	4-51
4.7.1.5	Aanlegplaatsen voor opstellen en wachten	4-52
4.7.1.6	Invloed stroming nabij en in voorhaven	4-54
4.7.2	Diepte van de voorhaven	4-54
4.8	Voorhaven, horizontale afmetingen met het oog op andere functies	4-56
4.8.1	De voorhaven als overnachtingshaven	4-56
4.8.1.1	Algemeen	4-56
4.8.1.2	Benodigde ligplaatslengte	4-56
4.8.2	Voorhaven als vluchthaven	4-57

4.8.2.1	Wanneer zijn vluchthavens nodig ?	4-57
4.8.2.2	Capaciteit en situering	4-58
4.8.2.3	Specifieke eisen	4-59
4.8.3	Voorhaven als dwanghaven	4-59
	Literatuur	4-60
Appendix 4.1:	Nomogrammen / VAT Methoden	4-61
Appendix 4.2:	Simulatie model SIVAK	4-65
Appendix 4.3:	Rekenmodel WAROS	4-69
Appendix 4.4:	Invloed van vaartijdenwet op ligplaatsen	4-71
Appendix 4.5:	Scheepsklassen	4-73
5.	Lay-out van het sluiscomplex	5-1
5.1	Inleiding	5-1
5.2	Tegenstrijdigheid van de eisen	5-3
5.3	Dimensionering en indeling van de voorhavens	5-5
5.3.1	Inleiding	5-5
5.3.2	Indeling in de breedte voor binnenvaartsluizen	5-5
5.3.3	Indeling in de lengte voor binnenvaartsluizen	5-8
5.3.4	Indeling bij spuien langs binnenvaartsluizen	5-8
5.3.5	Indeling voor recreatievaart	5-11
5.3.6	Indeling bij combinatie van beroepsvaart en recreatievaart	5-11
5.3.7	Indeling voor zeevaart	5-13
5.3.8	Mogelijke maatregelen bij ruimtegebrek	5-13
5.3.9	Invloed van andere functies op de lay-out	5-14
5.4	Aansluiting van de voorhavens	5-16
5.4.1	Aansluiting aan stroomloos water	5-16
5.4.2	Aansluiting aan stromend water	5-16
5.4.3	Aansluiting aan water met golfhinder	5-19
5.5	Voorbeelden	5-22
5.5.1	Inleiding	5-22
5.5.2	Sluiscomplex te Heel	5-22
5.5.3	Sluiscomplex te Lith	5-25
5.5.4	Krabbersgatsluizen te Enkhuizen	5-26
	Literatuur	5-28
6.	Vul- en ledigingssystemen	6-1
6.1	Inleiding	6-1
6.2	Type vul- en ledigingssystemen	6-2
6.2.1	Overzicht typen	6-2
6.2.1.1	Normale typen	6-2
6.2.1.2	Bijzondere typen	6-2
6.2.1.3	Niet of weinig meer in Nederland gebruikte typen	6-3
6.2.2	Keuze type	6-4
6.3	Verschuiven tijdens de kolkomzetting	6-7
6.3.1	Debiet door de openingen en gemiddelde kolkwaterstand	6-7
6.3.2	Golf- en stromingsverschillen in de kolk	6-8
6.3.3	Troskrachtcriterium	6-10
6.3.4	Optredende langskrachten	6-11
6.4	Dimensionering	6-14
6.4.1	Procedure	6-14
6.4.2	Maatgevende situatie en verdere gegevens	6-14

6.4.3	Vullen met deuropeningen met het oog op dimensionering	6-15
6.4.4	Vullen met omloopriolen/woelkelder met het oog op dimensionering	6-17
6.4.5	Ledigen met deuropeningen met het oog op dimensionering	6-17
6.4.6	Ledigen met omloopriolen met het oog op dimensionering	6-20
6.5	Hydraulische vormgeving	6-21
6.5.1	Vullen met deuropeningen met het oog op vormgeving	6-21
6.5.1.1	Algemeen	6-21
6.5.1.2	Plaats schuiven en breekbalken	6-24
6.5.1.3	Plaats, aantal en vorm van de openingen	6-25
6.5.1.4	Benedenstroomse weerstand	6-30
6.5.1.5	Schuifonderrand	6-31
6.5.2	Vullen met omloopriolen en woelkelder met het oog op vormgeving	6-31
6.5.2.1	Omloopriolen	6-34
6.5.2.2	Woelkelder	6-35
6.5.3	Ledigen met deuropeningen met het oog op vormgeving	6-37
6.5.4	Ledigen met omloopriolen met het oog op vormgeving	6-38
6.6	LOCKFILL	6-40
6.6.1	Doel en mogelijkheden LOCKFILL	6-40
6.6.2	Het werken met LOCKFILL	6-41
	Literatuur	6-43
	Appendix 6.1: Rekenhart LOCKFILL	6-45
7.	Deuren, bewegingswerken en schuiven	7-1
7.1	Inleiding	7-1
7.2	Typen sluisdeuren	7-2
7.2.1	Overzicht sluisdeuren	7-2
7.2.2	Puntdeuren	7-7
7.2.2.1	Algemeen	7-7
7.2.2.2	Draaipunten	7-9
7.2.2.3	Onderdelen	7-11
7.2.2.4	Afdichting	7-12
7.2.2.5	Nivelleren	7-14
7.2.2.6	Gevoeligheid voor vervuiling	7-14
7.2.2.7	Gevoeligheid voor ijs en ijsvorming	7-14
7.2.2.8	Deurkassen	7-15
7.2.2.9	Loop- of fietspaden	7-15
7.2.2.10	Puntdeuren in hout of in staal	7-15
7.2.2.11	Onderhoud en verwisselen	7-16
7.2.2.12	Eén- en tweezijdig keren	7-16
7.2.3	Enkele draaideur	7-17
7.2.3.1	Algemeen	7-17
7.2.3.2	Onderdelen	7-18
7.2.3.3	Afdichtingen	7-18
7.2.3.4	Nivelleren	7-18
7.2.3.5	Gevoeligheid voor vuil en ijs	7-19
7.2.3.6	Deurkassen en deurnissen	7-19
7.2.4	Roldeuren	7-19
7.2.4.1	Algemeen	7-19
7.2.4.2	Onderdelen	7-19
7.2.4.3	Montage en onderhoud met constructieve consequenties daarvan	7-20
7.2.4.4	Afdichtingen	7-22
7.2.4.5	Deurgeleiding	7-22
7.2.4.6	Nivelleren	7-22
7.2.4.7	Deurkas en deurnis	7-23
7.2.4.8	Wegverkeer over een roldeur	7-23
7.2.4.9	Gevoeligheid voor vuil en ijs	7-23
7.2.4.10	Van roldeur naar glijdeur	7-24
7.2.5	Hefdeuren	7-24
7.2.5.1	Algemeen	7-24

7.2.5.2	Onderdelen	7-24
7.2.5.3	Deurgeleiding	7-25
7.2.5.4	Afdichtingen	7-25
7.2.5.5	Nivelleren	7-25
7.2.5.6	Gevoeligheid voor vuil, ijs en ijsvorming	7-26
7.2.5.7	Monteren en demonteren van hefdeuren	7-26
7.2.5.8	Onderhoud	7-26
7.2.5.9	Wegverkeer over een hefdeur	7-26
7.3	Keuze sluisdeuren	7-27
7.3.1	Sluisindeling	7-27
7.3.2	Type sluisdeur bij ééNZijdig keren	7-28
7.3.3	Type sluisdeur bij tweezijdig keren	7-29
7.3.4	Deurkeuze	7-30
7.3.5	Niveau bovenkant deurbeplatingen	7-32
7.3.6	Reserve-kering, tussenhoofd en reserve-deuren	7-33
7.4	Deurbewegingswerken	7-35
7.4.1	Inleiding	7-35
7.4.2	Bewegingswerken voor puntdeuren	7-35
7.4.2.1	Aandrijving door Panamawiel	7-35
7.4.2.2	Aandrijving door heugelstang	7-37
7.4.2.3	Aandrijving door hydraulische cilinder	7-38
7.4.2.4	Voorzieningen voor negatief keren	7-40
7.4.2.5	Keuze type bewegingswerk	7-42
7.4.3	Bewegingswerken en vergrendelingen voor draaideuren	7-43
7.4.3.1	Aandrijving met hydraulische cilinder	7-43
7.4.3.2	Voorzieningen voor negatief keren	7-44
7.4.4	Bewegingswerken en geleidingen voor roldeuren	7-46
7.4.4.1	Algemeen	7-46
7.4.4.2	Bewegingswerken	7-46
7.4.4.2.1	Tweezijdige aandrijving met aan elke zijde een kabeltrommel	7-46
7.4.4.2.2	EéNZijdige aandrijving	7-48
7.4.4.2.3	Tweezijdige aandrijving met één trommel	7-48
7.4.4.3	Deurgeleidingen	7-48
7.4.4.3.1	Rollende ondergeleiding	7-48
7.4.4.3.2	Schuivende ondergeleiding	7-51
7.4.4.3.3	Glijdende ondergeleiding	7-51
7.4.4.3.4	Rollende bovengleiding	7-52
7.4.5	Bewegingswerken en geleidingen voor hefdeuren	7-53
7.4.5.1	Algemeen	7-53
7.4.5.2	Bewegingswerken	7-54
7.4.5.2.1	Contragewicht en kabellierwerken	7-54
7.4.5.2.2	Opstelling	7-55
7.4.5.3	Deurgeleidingen	7-57
7.4.5.3.1	Rollende geleiding	7-57
7.4.5.3.2	Afdrukinrichting	7-57
7.4.5.3.3	Schuivende geleiding	7-58
7.4.5.3.4	Rollen of schuiven	7-58
7.5	Schuiven en schuifbewegingswerken	7-59
7.5.1	Schuiven en bewegingswerken bij deuropeningen	7-59
7.5.1.1	Algemeen	7-59
7.5.1.2	Schuiven	7-59
7.5.1.3	Bewegingswerken	7-60
7.5.1.4	Koppeling van schuif aan bewegingswerk	7-62
7.5.2	Schuiven en bewegingswerken bij riolen	7-62
7.5.2.1	Algemeen	7-62
7.5.2.2	Schuiven	7-63
7.5.2.3	Bewegingswerken	7-64
	Literatuur	7-67
	Figuren	7-69
	Tabellen	7-146

8. Sluishoofden	8-1
8.1 Inleiding	8-1
8.2 Functionele eisen	8-2
8.3 Vormgeving hoofden	8-5
8.3.1 Hoofd met puntdeuren	8-5
8.3.2 Hoofd met een enkele draaideur	8-7
8.3.3 Hoofd met een rol- of glijdeur	8-9
8.3.4 Hoofd met een hefdeur	8-13
8.4 Stellen van in te storten voorzieningen	8-16
8.5 Alternatieven voor constructie en bouwmethode	8-18
8.5.1 Inleiding	8-18
8.5.2 Alternatieven 1 t/m 9	8-18
8.6 Voorselectie van de alternatieven	8-21
8.6.1 Inleiding	8-21
8.6.2 Voorselectie alternatieven 1 t/m 9	8-21
Tabellen Alternatieven	8-24
Tabellen Voorselectie	8-28
Literatuur	8-31
Appendix 8.1 Rekenvoorbeelden onderwaterbetonvloer zonder en met trekpalen	8-33
9. Sluiskolk	9-1
9.1 Inleiding	9-1
9.2 Functionele eisen	9-2
9.3 Alternatieven constructie en bouwmethode	9-4
9.3.1 Inleiding	9-4
9.3.2 Alternatieven 10 t/m 19	9-4
9.4 Voorselectie uit de alternatieven	9-8
9.4.1 Inleiding	9-8
9.4.2 Voorselectie alternatieven 10 t/m 19	9-8

Trefwoordenregister

Geografisch register

deel 2:

10. Onder- en achterloopsheid	10-1
10.1 Inleiding	10-1
10.1.1 Problemen door onder- en achterloopsheid	10-1
10.1.2 Begripsvorming	10-2
10.1.3.1 Onderloopsheid	10-2
10.1.3.2 Achterloopsheid	10-2
10.1.3.3 Piping, zandmeevoerende wellen	10-3
10.1.3.4 Heave	10-5
10.1.3 Status van dit hoofdstuk	10-8
10.2 Invloedsfactoren	10-9
10.2.1 Inleiding	10-9
10.2.2 Geometrie, horizontale en verticale elementen	10-9
10.2.3 Grondlaag eigenschappen	10-11

10.2.4	Driedimensionale effecten	10-12
10.2.5	Tijdsafhankelijke effecten	10-15
10.3	Rekentechnieken voor piping in korrelige materialen	10-18
10.3.1	Historisch perspectief	10-18
10.3.2	Toets/ontwerp aanpak	10-18
10.3.3	Toets/ontwerp gereedschappen	10-19
10.3.3.1	Globaal: regels van Bligh en Lane.	10-19
10.3.3.2	Gedetailleerd: regel van Sellmeijer en heave-regels	10-20
10.3.3.3	Geavanceerd: numerieke modellen	10-22
10.4	Practische aspecten	10-23
10.5	Rekenvoorbeeld	10-24
10.5.1	Zuidersluis IJmuiden	10-24
10.5.2	Bodemprofiel	10-24
10.5.3	Belastingsgevallen	10-25
10.5.4	Regel van Lane	10-26
10.5.4.1	Situatie A: gedeeltelijk open kolkvloeren	10-26
10.5.4.2	Situatie B: dichte kolkvloeren	10-26
10.5.5	Heave-regel	10-26
10.5.5.1	Situatie A: gedeeltelijk open kolkvloeren	10-26
10.5.5.2	Situatie B: dichte kolkvloeren	10-27
10.5.6	Numeriek stationair grondwaterstromingsmodel	10-28
10.5.6.1	Situatie A: gedeeltelijk open kolkvloeren	10-28
10.5.6.2	Situatie B: dichte kolkvloeren	10-28
	Literatuur	10-29
Appendix 10.1:	Definities en begrippen	10-31
Appendix 10.2:	Afleiding van het heave-criterium	10-33
Appendix 10.3:	Bepaling van de kwelweglengte	10-35
Appendix 10.4:	Weerstand bij heaveberekening met voor- en achterlandfragment	10-37
Appendix 10.5:	Weerstand bij heaveberekening met tussenfragment	10-39
11.	Hydraulische belastingen op sluisdeuren	11-1
11.1	Inleiding	11-1
11.2	Hydraulische belastingen door initieel verval	11-3
11.2.1	Randvoorwaarden	11-3
11.2.2	Hydrostatische kracht	11-3
11.3	Hydraulische belastingen door de deurbeweging	11-6
11.3.1	Inleiding	11-6
11.3.2	Momenten door versnelde deurbeweging	11-7
11.3.2.1	Definitie toegevoegd massatraagheidsmoment	11-7
11.3.2.2	Toegevoegd massatraagheidsmoment bij verschillende stromingssituaties	11-7
11.3.2.3	Kracht in het bewegingswerk	11-9
11.3.3	Momenten door eenparige deurbeweging in stilstaand water	11-10
11.3.3.1	Soorten weerstand	11-10
11.3.3.2	Stromingsweerstand in vrij water	11-10
11.3.3.3	Golfweerstand	11-11
11.3.3.4	Kasweerstand	11-15
11.3.3.5	Totale weerstand	11-18
11.3.4	Momenten door eenparige deurbeweging in stromend water	11-19
11.3.4.1	Openen bij een initieel verval	11-19
11.3.4.2	Sluiten in stromend water	11-21
11.3.5	Krachten op schepen door de deurbeweging	11-24
11.3.6	Aanbevelingen	11-25
11.4	Hydraulische belastingen door externe oorzaken	11-26
11.4.1	Inleiding	11-26
11.4.2	Quasi-statische windgolfbelasting	11-26

11.4.2.1	Introductie	11-26
11.4.2.2	Windsnelheid	11-26
11.4.2.3	Golfopwekking	11-28
11.4.2.4	Windgolven voor een rechte wand	11-31
11.4.2.5	Invloed diverse aspecten op de golfhoogte voor sluisdeuren	11-34
11.4.2.6	Horizontale kracht en moment op de deur	11-35
11.4.3	Translatiegolven	11-37
11.4.3.1	Translatiegolven van buiten de sluis	11-37
11.4.3.2	Waterstandsveranderingen aan de buitenzijde van de deuren	11-39
11.4.3.3	Voorbeeld waterstandsvariaties aan de buitenzijde van de deuren	11-42
11.4.3.4	Translatiegolven aan de kolkzijde van de deuren	11-43
11.4.3.5	Waterstandvariaties aan de kolkzijde van de deur	11-43
11.4.3.6	Voorbeeld waterstandvariaties aan de kolkzijde van de deur	11-44
11.4.4	Waterbeweging door varende schepen	11-44
11.4.4.1	Introductie	11-44
11.4.4.2	Scheepssnelheden bij het in- en uitvaren van sluizen	11-44
11.4.4.3	Golfhoogten in sluizen tijdens het invaren	11-47
11.4.4.4	Golfhoogten in sluizen tijdens het uitvaren	11-49
11.4.4.5	Waterspiegelvariaties achter geopende deur	11-51
11.4.4.6	Waterspiegelvariaties bij de gesloten deuren	11-53
	Literatuur	11-54
	Appendix 11.1: Voorbeeld berekening quasi-statische windgolfbelasting sluisdeuren	11-55
	Appendix 11.2: Incident zeesluis te Farnsum	11-59

12. Staal- en werktuigbouwkundige constructies 12-1

12.1	Ontwerpbelastingen	12-1
12.1.1	Inleiding	12-1
12.1.2	Methode	12-1
12.1.3	Staalconstructies	12-2
12.1.3.1	Onderdelen, bedrijfstoestanden en grenstoestanden	12-2
12.1.3.2	Belastingen op deuren	12-2
12.1.3.3	Rekenwaarde belasting	12-4
12.1.3.4	Belastingcombinaties staalconstructie van puntdeuren	12-5
12.1.4	Werktuigbouwkundige constructies	12-7
12.1.4.1	Onderdelen, bedrijfstoestanden en grenstoestanden	12-7
12.1.4.2	Belastingen op deurbewegingswerken	12-8
12.1.4.3	Belastingcombinaties elektrohydraulische bewegingswerken van puntdeuren	12-9
12.2	Ontwerp van sluisdeuren	12-13
12.2.1	Puntdeuren	12-13
12.2.1.1	Gegevens	12-13
12.2.1.2	Type en plaats draaipunten	12-13
12.2.1.3	Afmetingen deurkas	12-14
12.2.1.4	Constructie deur	12-15
12.2.1.5	Constructie draaipunten	12-16
12.2.1.6	Verdere details	12-17
12.2.2	Draaideuren	12-18
12.2.3	Roldeuren	12-19
12.2.3.1	Inleiding	12-19
12.2.3.2	Constructie deur	12-19
12.2.3.3	Verdere details	12-21
12.2.4	Hefdeuren	12-21
12.3	Ontwerp van deurbewegingswerken	12-23
12.3.1	Inleiding	12-23
12.3.2	Aandrijving puntdeur door een Panamawiel	12-23
12.3.3	Aandrijving puntdeur door een rechte heugel	12-26
12.3.4	Aandrijving puntdeur door een hydraulische cilinder	12-27
12.3.5	Vergrendeling van een draaideur	12-29
12.3.6	Deurgeleiding en bewegingswerk van een roldeur	12-31
12.3.6.1	Deurgeleiding	12-31
12.3.6.2	Bewegingswerk	12-33

12.3.7	Deurgeleiding en bewegingswerk van een hefdeur	12-35
12.3.7.1	Deurgeleiding	12-35
12.3.7.2	Bewegingswerk	12-36
12.3.7.3	Montage en onderhoud	12-38
12.4	Ontwerp van schuiven	12-40
12.4.1	Nivelleren en spuien	12-40
12.4.2	Deurschuiven	12-40
12.4.3	Riolschuiven	12-41
	Tabellen belastingen	12-43
	Literatuur	12-51
13.	Betonconstructies en fundering	13-1
13.1	Inleiding	13-1
13.2	Dwarsdoorsneden sluis	13-2
13.2.1	Betonbak	13-2
13.2.2	Dam-/diepwanden met aparte vloer	13-6
13.2.3	Hooggelegen L-wanden met dam- of diepwanden en aparte vloer	13-9
13.2.4	L-muren met aparte vloer	13-10
13.3	Voorschriften	13-11
13.3.1	Begrippen uit de TGB 1990	13-11
13.3.2	Te onderzoeken belastingcombinaties volgens TGB 1990	13-12
13.3.3	TAW-Leidraad Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies	13-14
13.3.4	Resumerend	13-15
13.4	Belastingcomponenten	13-17
13.4.1	Wanden	13-17
13.4.1.1	Horizontale belastingen loodrecht op de sluiswand	13-17
13.4.1.2	Horizontale belastingen evenwijdig aan de sluiswand	13-22
13.4.1.3	Verticale belastingen op de sluiswand	13-24
13.4.2	Vloer	13-25
13.5	Belastingcombinaties	13-27
13.5.1	Inleiding	13-27
13.5.2	Waterstanden en grondwaterstanden	13-28
13.5.2.1	Extreme waterstanden en grondwaterstanden	13-28
13.5.2.2	Verloop van waterstanden in lengterichting van de sluis	13-29
13.5.2.3	Verloop van grondwaterstanden in lengterichting van de sluis	13-29
13.5.3	Voorbeelden van belastingcombinaties	13-30
13.5.3.1	Situatie tijdens bouw van betonbak	13-30
13.5.3.2	Situatie tijdens bedrijf voor een betonbak	13-33
13.5.3.3	Situatie tijdens onderhoud van een betonbak	13-35
13.5.3.4	Dam- en diepwanden met aparte vloer	13-35
13.6	Sterkte en stabiliteit betonbak	13-37
13.6.1	Sterkte en stijfheid betonbak	13-37
13.6.1.1	Sterkte wanden	13-37
13.6.1.2	Sterkte vloer	13-38
13.6.1.3	Stijfheid betonbak	13-39
13.6.1.4	Berekeningen	13-39
13.6.2	Fundering betonbak	13-40
13.6.2.1	Maximum-draagkracht in verticale richting	13-40
13.6.2.2	Maximum-draagkracht in horizontale richting	13-42
13.6.2.3	Weerstand tegen opdrijven	13-43
13.6.2.4	Stabiliteit tegen kantelen	13-43
13.6.2.5	Zettingen	13-45
13.7	Details betonconstructie	13-46
13.7.1	Beton- en wapeningkwaliteiten	13-46
13.7.2	Vorm	13-46
13.7.3	Voegen	13-47

13.7.4	Verbinding onderdelen	13-49
13.7.5	Tegengaan van scheurvorming	13-49
13.7.6	Betondekking en hoekafwerking	13-49
13.7.7	Punt- en lijnlasteren	13-49
13.7.8	Uitvoeringsaspecten	13-50
13.8	Voorbeelden	13-53
	Appendix 13.1: Pneumatisch afzinken van sluishoofden	13-63
14.	Grondkerende constructies	14-1
14.1	Inleiding	14-1
14.2	Ontwerpaspecten	14-2
14.3	Belastingen en grondgesteldheid	14-3
14.3.1	Belastingen	14-3
14.3.2	Grondgesteldheid	14-4
14.4	Typen grondkerende constructies	14-5
14.4.1	Stalen damwand	14-5
14.4.2	Betonnen damwand	14-6
14.4.3	Houten damwand	14-7
14.4.4	Diepwand	14-7
14.4.5	Palenwand	14-8
14.4.6	Betonnen L-wand	14-9
14.5	Grondkeringen in voorhavens	14-10
14.6	Grondkeringen in de kolk	14-11
14.6.1	Stalen damwand	14-11
14.6.2	Diepwand	14-12
14.6.3	Hooggelegen L-wand met damwand	14-12
14.7	Uitvoeringsaspecten stalen damwand	14-14
15.	Remming- en geleidewerken	15-1
15.1	Inleiding	15-1
15.1.1	Functie en gebruik van remming- en geleidewerken	15-1
15.1.2	Overzicht inhoud hoofdstuk	15-1
15.2	Inrichting voorhaven met remming- en geleidewerken	15-2
15.2.1	Inrichting voorhavens	15-2
15.2.2	Plaatsing van remming- en geleidewerken	15-4
15.3	Constructietypen	15-8
15.3.1	Vroegere uitvoeringen	15-8
15.3.2	Huidige uitvoeringen	15-9
15.4	Ontwerputgangspunten	15-11
15.4.1	Op te nemen energie afkomstig van een schip	15-11
15.4.2	Respons constructie	15-12
15.4.3	Voorschriften	15-12
15.4.4	Onderhoud constructie	15-13
15.5	Scheeps-, water- en grondgegevens	15-15
15.5.1	Maatgevende schepen	15-15
15.5.2	Aanvaarsnelheden	15-15
15.5.3	Waterstanden en bodemniveau	15-18
15.5.4	Grondeigenschappen	15-18

15.6 Doorrekenen hoofdconstructie	15-19
15.6.1 Interactie grond/remming/schip/water	15-19
15.6.2 Vereenvoudiging tot éénmassa-veersysteem	15-20
15.6.3 Uitwerking van éénmassa-veersysteem	15-20
15.6.4 Ontwerpprocedur	15-24
15.6.5 Bijzondere rekenmethoden	15-25
15.6.6 Drijfvermogen en stabiliteit drijfbuisligger	15-26
15.7 Constructiedetails	15-27
Literatuur	15-35
Appendix 15.1: Methode Blum voor vrijstaande paal	15-37
Appendix 15.2: Veerstijfheid en maximum-momenten van remmingwerken	15-41
Appendix 15.3: Botskrachtberekening	15-47
Appendix 15.4: Indompeling drijvende ligger	15-51
 16. Bodembeschermingen	 16-1
16.1 Inleiding	16-1
16.2 Functie en eisen	16-2
16.2.1 Functie	16-2
16.2.2 Eisen	16-2
16.3 Stromingsoorzaken	16-4
16.3.1 Stralen	16-4
16.3.2 Vul- en ledigingsstromen	16-5
16.3.3 Stroming door deurspleten	16-6
16.3.4 Spuistroming	16-7
16.3.5 Overstortende straal	16-7
16.3.6 Schroefstraal	16-8
16.3.7 Retourstroming	16-8
16.3.8 Boegschroefstraal	16-9
16.3.9 Primaire en secundaire scheepsgolven	16-10
16.3.10 Windgolven	16-10
16.3.11 Mogelijkheden van snelheidsreductie	16-10
16.4 Berekening stroomsnelheden aan de bodem	16-12
16.4.1 Vul- en ledigingsstromingen	16-12
16.4.2 Schroefstraal	16-14
16.4.3 Retourstroming	16-16
16.4.4 Boegschroefstraal	16-17
16.4.5 Voorbeeld	16-19
16.5 Berekening toplaag stortsteen	16-21
16.5.1 Stabiliteitsrelatie	16-21
16.5.2 Andere stabiliteitsrelaties	16-24
16.5.3 Invloed taludhelling op toplaag	16-25
16.5.4 Voorbeeld	16-26
16.6 Plaats en lengte bestorting	16-28
16.6.1 Bodembelasting en plaats bodembescherming	16-28
16.6.2 Relaties voor de lengte van de bestorting	16-29
16.6.3 Relaties voor de kuildiepte	16-30
16.6.4 Lengte bestorting voor ledigings- en retourstromingen	16-33
16.6.5 Lengte bestorting voor schroefstraal	16-34
16.6.6 Toe te passen lengte bestorting	16-35
16.6.7 Voorbeeld	16-35
16.7 Verticale opbouw stortsteen	16-37
16.7.1 Algemeen	16-37
16.7.2 Notaties en materialen	16-37
16.7.3 Samenstelling filterlagen	16-38
16.7.4 Laagdikten	16-39

16.7.5	Overgangen	16-41
16.7.6	Voorbeeld	16-41
16.8	Alternatieven voor stortsteen	16-42
16.8.1	Gezette steen	16-42
16.8.2	Penetratie	16-42
16.8.3	Blokkenmatten, gabions, matrassen	16-42
	Literatuur	16-43
	Appendix 16.1: Standaard steensorteringen	16-45
17.	Inrichting van sluis en voorhavens	17-1
17.1	Inleiding	17-1
17.2	Zaken ten dienste van de verkeersregeling	17-2
17.2.1	Inleiding	17-2
17.2.2	Verlichting	17-2
17.2.3	TV-camera's en radar	17-3
17.2.4	Communicatiemiddelen	17-3
17.2.5	Borden en seinen	17-4
17.3	Zaken ten dienste van invaren en vastmaken	17-6
17.3.1	Geleiding, fysiek en visueel	17-6
17.3.2	Stopstreep en afstandskenmerken in de kolk	17-6
17.3.3	Opvangconstructies	17-7
17.3.4	Bolders en haalkommen	17-11
17.3.5	Fendering	17-13
17.4	Bijzondere zaken	17-16
17.4.1	Stroming in voorhavens	17-16
17.4.2	Ijsbestrijding	17-17
17.4.3	Opnemers voor waterstanden enz.	17-18
17.4.4	Windschermen	17-19
17.5	Bedienings-, installatie- en dienstengebouwen	17-20
17.5.1	Soorten gebouwen	17-20
17.5.2	Bedieningsgebouw	17-20
17.6	Voorzieningen op het sluisterrein	17-24
17.6.1	Werkplaatsen en opslag	17-24
17.6.2	Kabels en leidingen	17-24
17.6.3	Bereikbaarheid en wegenplan	17-24
17.6.4	Brandbestrijding en EHBO/ambulance	17-24
17.6.5	Auto's van/aan boord	17-25
17.6.6	Extra's voor functie als overnachtings- rust- of vluchthaven	17-25
17.7	Aanvullende voorzieningen	17-26
17.7.1	Inleiding	17-26
17.7.2	Voorzieningen voor de beroepsvaart	17-26
17.7.3	Voorzieningen voor de recreatievaart	17-27
	Literatuur	17-28
18.	Besturing en bediening	18-1
18.1	Inleiding	18-1
18.2	Bedrijfsvoering	18-2
18.2.1	Eisen aan de bedrijfsvoering	18-2
18.2.2	Beheer van de sluis	18-2

18.2.3	Overzicht bedrijfsprocessen	18-3
18.2.4	Bedrijfsproces schutten	18-4
18.2.5	Bedrijfsproces keren	18-7
18.2.6	Bedrijfsproces spuien	18-7
18.2.7	Bedrijfsprocessen stremming en calamiteit	18-8
18.3	Besturing	18-9
18.3.1	Besturing met de installaties	18-9
18.3.2	Eisen aan besturing	18-9
18.3.3	Regelparameters hydraulisch proces	18-10
18.3.4	Schema besturing	18-11
18.3.5	Niveaus besturing	18-12
18.3.6	Hardware besturingsinstallatie	18-12
18.3.7	Opstelling besturingsinstallatie	18-13
18.3.8	Software besturingsinstallatie	18-14
18.4	Bediening	18-16
18.4.1	Soorten bediening	18-16
18.4.2	Eisen aan de bediening	18-17
18.4.3	Bedieningsactiviteiten tijdens schutten	18-17
18.4.4	Installaties voor de bediening	18-19
18.4.5	Opstelling bedieningssysteem	18-20
18.4.6	Bedieningscommando's voor deuren, schuiven en scheepvaartseinen	18-21
18.4.7	Bediening tijdens keren	18-23
18.4.8	Bediening tijdens spuien	18-23
18.4.9	Bediening tijdens stremming en calamiteit	18-23
18.5	Elektrotechnische installatie	18-24
18.5.1	Sluisinstallaties	18-24
18.5.2	Bruginstallaties	18-24
18.5.3	Bouwkundige voorzieningen voor elektrische installatie	18-24
18.5.4	Energievoorzieningen	18-25
18.5.5	Communicatieapparatuur	18-25
18.5.6	Visualisatieapparatuur	18-26
18.5.7	Seinapparatuur	18-26
18.5.8	Hydro- en meteomeetapparatuur	18-26
18.5.9	Verlichtingsinstallatie	18-26
18.5.10	Besturings- en bedieningssysteem	18-26
18.5.11	Normen en richtlijnen	18-27
18.6	Voorbeelden opstelling bedieningsinstallatie	18-28
19.	Onderhoud in het ontwerp	19-1
19.1	Inleiding	19-1
19.1.1	Doel van het hoofdstuk	19-1
19.1.2	Onderhoudsbewust ontwerpen	19-1
19.2	Onderhoudsaspecten in het Programma van Eisen	19-3
19.2.1	Randvoorwaarden	19-3
19.2.2	Functionele eisen	19-4
19.2.3	Gebruikseisen	19-6
19.2.4	Omgevingseisen in het gebruiksstadium	19-7
19.2.5	Ontwerp- en uitvoeringsbeperkingen	19-7
19.3	Onderhoudsaspecten in het (voor)ontwerp	19-8
19.3.1	Algemeen	19-8
19.3.2	De 10 ontwerphandreikingen	19-8
19.3.3	Decompositie van het kunstwerk	19-9
19.3.4	Systeem- en faalkansanalyse	19-11
19.3.5	Betrouwbaarheidstoekenning	19-13
19.3.6	Harmonisatie en standaardisatie van onderhoudsactiviteiten	19-14
19.3.7	Beoordeling	19-15
19.4	Maatregelen ter beperking van de niet-beschikbaarheid in de gebruiksfase	19-17

19.5 Het beheer- en onderhoudsplan	19-18
19.5.1 Algemeen	19-18
19.5.2 Inhoud van het beheer- en onderhoudsplan	19-18
Begrippenlijst	19-22
Literatuur	19-23
 20. Reconstructies	 20-1
20.1 Inleiding	20-1
20.2 Doel en soorten reconstructie	20-2
20.2.1 Doel reconstructie	20-2
20.2.2 Voorbeelden reconstructie	20-3
20.3 Bestaande situatie	20-5
20.3.1 Sluizengeneraties	20-5
20.3.2 Vastleggen huidige situatie	20-9
20.4 Vaststellen van een reconstructieplan	20-11
20.4.1 Algemeen	20-11
20.4.2 Sluisonderdelen	20-11
20.4.3 Voorontwerptraject	20-12
20.4.4 Reconstructieplan	20-14
20.5 Uitwerken voorbeelden van een reconstructie	20-15
20.5.1 Reconstructie met nieuwe opzet deuren	20-15
20.5.2 Reconstructie met nieuwe opzet kolken	20-18
20.5.3 Reconstructie met nieuwe besturing	20-22
20.5.4 Reconstructie met nieuw zoutbestrijdingssysteem	20-23
20.5.5 Reconstructie met een nieuwe fundering	20-26
20.6 Uitvoeringsaspecten van een reconstructie	20-30
20.6.1 Stremmingen	20-30
20.6.2 Werken in waterkeringen	20-30
20.6.3 Droogzetten van hoofden	20-31
20.6.4 Werken met taatskuipen	20-31
 21. Zout/zoetscheidingssystemen	 21-1
21.1 Inleiding	21-1
21.2 Sluizen zonder zout/zoetscheiding	21-3
21.2.1 Zoutbelasting en zoetwaterverlies per schutcyclus	21-3
21.2.2 Situatie in de kolk	21-5
21.2.2.1 Dichtheidsstromen in de kolk door vullen en uitwisselen	21-5
21.2.2.2 Uitwisseling als functie van tijd	21-6
21.2.2.3 Krachten op de schepen	21-9
21.2.3 Situatie op het kanaalpand	21-10
21.3 Overzicht van maatregelen en systemen voor zout/zoetscheiding	21-12
21.3.1 Inleiding	21-12
21.3.2 Conventionele sluis met aanvullende beheersmaatregelen	21-12
21.3.2.1 Overzicht maatregelen	21-12
21.3.2.2 Reductie zoutbelasting en zoetwateraanvoer	21-14
21.3.3 Systemen met geopende deur tijdens uitwisselen	21-15
21.3.3.1 Overzicht systemen	21-15
21.3.3.2 Zoutbelasting en zoetwateraanvoer	21-16
21.3.4 Systemen met gesloten deuren tijdens nivelleren en uitwisselen	21-17
21.3.4.1 Overzicht systemen	21-17
21.3.4.2 Zoutbelasting en zoetwateraanvoer	21-18
21.3.5 Toepassingen	21-18

21.4 Zout/zoetscheidingssystemen met geopende deur tijdens uitwisselen	21-20
21.4.1 Luchtbellenschermen (met korte openingstijd deur)	21-20
21.4.1.1 Stroombeeld	21-20
21.4.1.2 Reductie zoutbelasting	21-22
21.4.1.3 Toepassing	21-24
21.4.2 Zoutdrempel bij binnendeur	21-25
21.4.2.1 Werking van het systeem	21-25
21.4.2.2 Toepassing	21-26
21.4.3 Verwijderen zoute schuttschijf	21-27
21.4.4 Terugspoelen zoutwater uit diepe put in voorhaven	21-28
21.4.4.1 Werking van het systeem	21-28
21.4.4.2 Toepassing	21-29
21.4.5 Afzuigen zouttong bij binnendeur	21-30
21.4.5.1 Werking van het systeem	21-30
21.4.5.2 Toepassing	21-31
21.4.6 Combinatie afzuigen zouttong bij binnendeur en terugspoelen zoutwater uit diepe put (Systeem Terneuzen)	21-31
21.5 Zout/zoetscheidingssystemen met gesloten deuren tijdens nivelleren en uitwisselen	21-33
21.5.1 Nivelleren en uitwisselen overdars, systeem Duinkerken	21-33
21.5.1.1 Fasen van uitwisselen en nivelleren	21-33
21.5.1.2 Grensvlak en menging	21-34
21.5.1.3 Aan- en afvoer van het water in de sluis	21-37
21.5.1.4 Zoetwaterverlies	21-38
21.5.1.5 Dwarskrachten op de schepen	21-38
21.5.1.6 Resultierend	21-39
21.5.1.7 Toepassingen	21-39
21.5.2 Nivelleren en uitwisselen in langs- en dwarsrichting	21-40
21.5.2.1 Twee systemen	21-40
21.5.2.2 Systeem 1: dwarsstroming van zoetwater en langsstroming van zoutwater	21-41
21.5.2.3 Systeem 2: langsstroming van zoetwater en dwarsstroming van zoutwater	21-43
21.5.2.4 Systeem 1 tegenover systeem 2	21-44
21.5.3 Zoute liftbak	21-45
Figuren	21-47
Literatuur	21-52
 22. Nieuwe ontwikkelingen	 22-1
22.1 Inleiding	22-1
22.2 Technische ontwikkelingen	22-2
22.2.1 Nieuwe materialen voor sluisdeuren en schuiven	22-2
22.2.2 Nieuwe coatings voor sluisdeuren	22-3
22.2.3 Glijgeleidingen en -afdichtingen	22-4
22.2.4 Nieuwe bouwmethoden	22-5
22.2.5 Besturing en bediening	22-7
22.3 Kunststof sluisdeuren in de Spieringsluis	22-8
22.3.1 Omschrijving situatie en constructie	22-8
22.3.2 Hars, versterkingsvezels en laminaatopbouw	22-9
22.3.3 Breukcriterium	22-10
22.3.4 Globale vervormingen	22-10
22.3.5 Constructiedetails	22-11
22.3.6 Nabeschouwing van het ontwerp	22-14
22.4 Ontwerpproces	22-15
22.4.1 Ontwerpphilosofie Bouwdienst	22-15
22.4.2 Beheer- en onderhoudsplannen	22-17
22.4.3 Duurzaam bouwen	22-19
22.4.4 Rekenprogramma's voor civiele techniek	22-21
22.5 Functioneel ontwerpen	22-23
22.5.1 Inleiding	22-23
22.5.2 Functioneel Ontwerpen	22-23

22.5.3	Plaats van Functioneel Ontwerpen in het ontwerpproces	22-23
22.5.4	Stappenplan	22-24
22.5.5	Functie keren van water	22-24
22.5.6	Functie schutten van schepen	22-25
22.5.7	Voorbeeld	22-26
	Literatuur	22-29
	Appendix 22.1: Uitwerking voorbeeld functioneel ontwerpen	22-31

23. Voorbeelden 23-1

23.1	Zuider- en Kleine sluis te IJmuiden	23-1
23.1.1	Inleiding	23-1
23.1.2	Waarom reconstructie?	23-2
23.1.3	Sluisontwerp	23-3
23.1.3.1	Planstudie	23-3
23.1.3.2	Definitie-fase	23-4
23.1.3.3	Voorontwerp	23-4
23.1.3.4	Civieltechnische constructies	23-6
23.1.3.5	Staal- en werktuigbouwkundige constructies	23-14
23.1.3.6	Toeleidingswerken en aanvaarbeschermingen	23-17
23.2	Tweede Sluis te Lith	23-19
23.2.1	Inleiding	23-19
23.2.2	Waarom een tweede sluis en waar?	23-19
23.2.2.1	Historie	23-19
23.2.2.2	Doel tweede sluis	23-20
23.2.2.3	Plaats tweede sluis	23-20
23.2.3	Sluisontwerp	23-21
23.2.3.1	Algemeen	23-21
23.2.3.2	Civieltechnische constructies	23-22
23.2.3.3	Staal- en werktuigbouwkundige constructies	23-27
23.2.3.4	Elektrotechnische installatie	23-31
23.2.3.5	Gebouwen	23-31
23.2.3.6	Vormgeving en inrichting voorhavens	23-32
23.2.4	Uitvoeringsaspecten en bijzondere bouwtechnieken	23-34
23.2.4.1	Sluishoofden	23-34
23.2.4.2	Kolkwanden en kolkvloer	23-35
23.2.4.3	Duurzaam bouwen	23-36
23.3	Prins Willem-Alexandersluis te Amsterdam	23-37
23.3.1	Inleiding	23-37
23.3.2	Waarom een nieuwe sluis?	23-37
23.3.3	Programma van Eisen	23-38
23.3.4	Staal- en werktuigbouwkundige constructies	23-39
23.3.4.1	Keuze deurtype	23-39
23.3.4.2	Ondersteuning glijdeur met hydro-installatie	23-40
23.3.4.3	Staalconstructie glijdeur	23-42
23.3.4.4	Horizontale geleiding van de glijdeur	23-43
23.3.4.5	Bewegingswerken	23-44
23.3.4.6	Onderhoud	23-45
23.3.5	Civieltechnische constructies	23-45
23.3.5.1	Sluishoofden	23-45
23.3.5.2	Sluiskolk	23-46
23.3.5.3	Bodemverdediging voorhavens	23-47
23.3.5.4	Onder- en achterloopsheid	23-48
23.3.5.5	Milieuaspecten	23-48
23.4	Naviduct Krabbersgat te Enkhuizen	23-49
23.4.1	Inleiding	23-49
23.4.2	Programma van eisen	23-50
23.4.2.1	Algemeen	23-50
23.4.2.2	Verkeersaanbod en verkeersafwikkeling	23-51
23.4.2.3	Functionele eisen	23-51

23.4.3	Civieltechnische constructies	23-53
23.4.3.1	Locatie polder	23-53
23.4.3.2	Vormgeving polder	23-54
23.4.3.3	Sluishoofden	23-55
23.4.3.4	Sluiskolken	23-57
23.4.3.5	Onderdoorgang met pompkelder	23-58
23.4.3.6	Zettingen	23-59
23.4.3.7	Voorhavens	23-59
23.5	Bewegingswerken Oranjesluizen te Amsterdam	23-60
	Literatuur	23-64
Trefwoordenregister		
Geografisch register		

Fotoverantwoording

deel I

Rijkswaterstaat Bouwdienst

Fotonrs. 1.1, 3.1, 3.2, 4.6, 4.7, 4.9, 4.12 t/m 4.14, 4.16 t/m 4.18, 4.20, 6.2 t/m 6.5, 6.7 t/m 6.9, 6.14 t/m 6.19, 7.8 t/m 7.12, 7.14 t/m 7.20, 7.24 t/m 7.26, 7.29, 7.31, 7.32, 7.34, 7.35, 8.4, 8.7, 8.8, 9.1 en foto's binnenzijde omslag

Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst

Fotonrs. Voorwoord, 2.1, 4.1 t/m 4.5, 4.19, 5.1 t/m 5.9, 6.6, 6.10 t/m 6.13, 7.1 t/m 7.7, 7.13, 7.23, 7.27, 7.28, 7.30, 7.33, 8.1 t/m 8.3, 8.5, 8.6 en foto omslag

Bureau Voorlichting Binnenvaart

Fotonrs. 4.8, 4.10, 4.11, 4.15

Waterloopkundig Laboratorium

Fotonrs. 6.1, 7.21, 7.22

deel II

Rijkswaterstaat Bouwdienst

Fotonrs. 11.2, 11.3, 11.6, 11.7, 13.2 t/m 13.5, 14.7, 15.10, 16.2 t/m 16.4, 17.3, 17.4, 17.6, 17.10 t/m 17.12, 18.2 t/m 18.20, 20.5, 20.10, 20.13 t/m 20.29, 21.1, 21.4, 21.6, 21.7, 21.10, 21.12, 21.14, 22.1, 22.2, 23.7 t/m 23.12 en foto's binnenzijde omslag

Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouw

Fotonrs. 10.1 t/m 10.3

Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst

Fotonrs. 12.1, 13.1, 13.6, 13.7 t/m 13.14, 13.16 t/m 13.19, 14.1 t/m 14.6, 14.8, 15.1 t/m 15.6, 15.9 t/m 15.14, 16.1, 16.5, 17.1 t/m 17.3, 17.5, 17.7 t/m 17.9, 18.1, 19.1, 19.2, 20.1, 20.12, 21.2, 21.8, 21.9, 21.11, 21.13, 23.1 t/m 23.6, 23.13 t/m 23.23, 23.25 t/m 23.29 en foto omslag

Waterloopkundig Laboratorium

Fotonrs. 11.4, 11.5, 15.7, 15.8, 21.3, 21.5

Overdruk uit "Sluizen en stuwen" van G.J. Ahrends

Fotonrs. 20.2 t/m 20.4, 20.6 t/m 20.10

Keuzenkamp, Leidschendam

Fotonr. 23.24

KLM-Aeorocarto

Fotonrs. 12.2, 20.11, 23.25

Dennis Beek

Fotonr. 11.1

Kees Siegers

Fotonrs. 11.8, 11.9



Sluiscomplex Born in het Julianakanaal (maart 1999)



Invaren van de "Princess of Scandinavia" in de Middensluis te IJmuiden (oktober 1992)

Voorwoord

Water verdampt boven de zee, de damp condenseert in koude luchtlagen, regent neer boven land, wordt meegevoerd door rivieren, komt aan in zee. Een kringloopproces dat de velden groen houdt, de rivieren op peil, de hemel gevarieerd. En dat een niet onaanzienlijk probleem vormt voor een land dat grotendeels bestaat uit de delta van drie grote Europese rivieren.

Je realiseert je niet altijd dat we in die delta wonen. Het is allemaal geregeld. De rivieren staan soms wat hoog, soms wat laag, maar meestal binnen aanvaardbare grenzen. Het land is soms wat nat, dan moet het gemaal overuren maken. Eens in de zoveel jaar is het langdurig droog. Dan sterft een aantal bomen en valt de oogst tegen, maar dat doet hij ook als het te nat is. De natuur herstelt zich wonderbaarlijk snel, na een natte of een droge tijd.

Het is een delta waaraan we tegenstrijdige eisen stellen. We willen de zee buiten houden, maar wel het regenwater kunnen afvoeren. We willen het zoetwaterniveau op een door ons gewenst peil houden, per stroomgebied, per regio, maar ook willen we met schepen op de waterwegen in het hele land kunnen varen en ook van en naar zee.

Het antwoord is de schutsluis. In een schutsluis demonstreert het water zijn dragende kracht. Ieder schip dat in de sluis past, hoe zwaar ook beladen, wordt moeiteloos naar het gewenste niveau getild. In de schutsluis wordt het water ook gefopt. De sluisdeuren verhinderen het water om te bereiken waar het altijd op uit is, namelijk waterpas, en toch kunnen schepen er door.

Prachtige techniek, de schutsluis. Samengaan van civiele techniek (hoe bouw je in een waterweg), werktuigbouwkunde (hoe bouw je een sluisdeur) en elektrotechniek (hoe beweeg je die deur). Een sluis is een ingreep in de natuur, door de mens (cultuur), en het resultaat is vaak van grote schoonheid in het oog van hen die houden van een harmonische relatie tussen natuur en cultuur.

Schutsluizen vind je over de hele wereld, maar meer sluizen per vierkante kilometer dan in Nederland zul je niet gauw aantreffen. En we vinden in ons land schutsluizen van velerlei soort. Zeer kleine en zeer grote, met een gering verval en een verval tot dertien meter, sluizen voor de zeevaart, de binnenvaart, de recreatievaart. Zoveel hoofden, zoveel zinnen, zoveel sluizen, zoveel ontwerpen.

Ontwerp van schutsluizen is dan ook een omvangrijk boekwerk geworden, dat bestaat uit twee delen, drieëntwintig hoofdstukken, zo'n elfhonderdvijftig bladzijden. Een indrukwekkend standaardwerk, voor ontwerpers van schutsluizen die werken voor de Bouwdienst Rijkswaterstaat, voor ingenieursbureaus, voor onderwijsinstellingen waar men het vak wil leren. Er is jaren aan gewerkt, door specialisten van Rijkswaterstaat, door enkele auteurs en door twee eindredacteuren. In 1947 verscheen het standaardwerk voor schutsluizen van Josephus Jitta. Veel is sedertdien veranderd. Er is een enorme technische vooruitgang geweest. De problemen zijn grotendeels hetzelfde gebleven, althans naar hun aard, voor de aanpak is het aantal mogelijkheden geweldig toegenomen.

Nederland is nog altijd een delta. We willen nog altijd de loop van het water in de hand houden. We noemen dat waterhuishouding. We willen nog altijd varen. We willen zelfs weer meer varen, de milieuvriendelijkste wijze van vervoer.

Hier is het boek voor ontwerpers van schutsluizen voor de eenentwintigste eeuw.
Moge het velen inspireren.

Jan Terlouw

(Voorzitter van de Koninklijke Schippersvereniging Schuttevaer)



Foto 1.1 Duwvaartsluizen in de Volkerak (oktober 1999)

Hoofdstuk 1 Inleiding

1.1 Schutsluizen in Nederland

Vervoer over water is in Nederland economisch aantrekkelijk en milieuvriendelijk. Tot het begin van de 19e eeuw werd vrijwel alles over water vervoerd vanwege het gebrek aan andere vervoersvormen. Tegenwoordig is voor het transport van zware en volumineuze goederen het vervoer over water nog altijd de aangewezen weg. Nederland heeft een dicht net van vaarwegen waardoor veel plaatsen over water uitstekend bereikbaar zijn. Het vaarwegennet mondt uit op zee en verbindt Nederland met de omliggende landen en het verre buitenland. Vaarwegen worden in toenemende mate voor recreatievaart benut. De vaarwegen zijn ofwel onderdeel van een rivier of bekken, of zijn kunstmatig aangelegd als kanaal of boezem, vaak in combinatie met een waterhuishoudkundige functie. Schutsluizen vormen een onmisbaar onderdeel van de vaarwegen om de overgangen tussen de verschillende niveaus hiervan, het gevolg van hoogteverschillen in het landschap, te overbruggen.

Nederland past al vele eeuwen schutsluizen toe. Het steeds verbeteren van de ontwerpen heeft een schat aan ervaring opgeleverd die in de tweede helft van de 19e eeuw resulteerde in een beperkt aantal sluisstypen van metselwerk, met puntdeuren van hout of ijzer. Voorbeelden hiervan zijn de sluizen in het Merwedekanaal en de Zuid-Willemsvaart, de Middensluis van IJmuiden en de Oranjesluizen bij Amsterdam.

Als gevolg van de opkomst van de nieuwe bouwmaterialen beton en staal in het begin van de 20e eeuw en de schaalvergroting in de scheepvaart, zijn geheel nieuwe sluisontwerpen ontwikkeld met veel grotere afmetingen en andere deurtypen dan puntdeuren. Voorbeelden van sluizen in het interbellum zijn de Noordersluis te IJmuiden met roldeuren, de sluizen voor de Maaskanalise, het Twentekanaal en het Amsterdam-Rijnkanaal, met zowel punt- als hefdeuren.

Na de 2e wereldoorlog is de ontwikkeling doorgegaan met ontwerpen die aansloten op de nieuwe behoeften. Voorbeelden daarvan zijn de schutsluizen in de Schelde-Rijnverbinding en het Amsterdam-Rijnkanaal voor de duwvaart, de zeesluis van Terneuzen en de Kreekrak- en Krammersluizen met een zout/zoetwaterscheidingssysteem, de sluizen in het Julianakanaal met woelkelders voor een snelle nivelering en de vele sluizen voor de recreatievaart.

In de ontwerpen van nu (eind 20e eeuw) worden de mogelijkheden van beton en staal verder benut en de besturing wordt verbeterd. De ingrepen in de natuur door de aanwezigheid van een sluis worden steeds beter in de hand gehouden. Verder worden oude sluizen vaker gereconstrueerd. Voorbeelden daarvan zijn de Nieuwe Oranjesluis met glijdeuren, de 2e sluis te Lith met pneumatisch afgezonken hoofden, de Krabbersgatsluizen uitgevoerd als aquaduct ("Naviduct") en de sluisreconstructies in Gorinchem en Andel met nieuwe buitenhoofden. Nog andere voorbeelden zijn Kleine en Zuidersluis te IJmuiden en de oude Oranjesluizen met nieuwe hoofden, kolken en besturing. Een nieuw zoutbestrijdingssysteem is toegepast voor de Bergsediepsluis. Het leidt geen twijfel dat de ontwikkelingen in de sluisenbouw zullen doorgaan.

In het buitenland liggen de schutsluizen vaak in sterk geaccidenteerd terrein met zeer grote vervallen over de sluizen en grote watertekorten. Dit is in tegenstelling met de Nederlandse situatie die gekenmerkt wordt door de veelal beperkte vervallen over de schutsluizen. Verder kan als bijzonderheid van Nederlandse sluizen worden genoemd dat ze zeer divers zijn. Bij diversiteit moet vooral gedacht worden aan uiteenlopende afmetingen van de sluizen (van zeer klein tot zeer groot), de verschillende doelgroepen (zee-, binnen- en recreatievaart), de variatie in vervallen over de sluizen (van zeer gering tot 13 m) en in getijdegebieden de tweezijdige kering, inclusief de zout/zoetinvloeden. Zo komt het dat er in Nederland nauwelijks standaardsluizen zijn en elke schutsluis apart ontworpen moet worden.

De Nederlandse schutsluis moet zeer betrouwbaar zijn, als waterkering en als passagemogelijkheid voor schepen. Een schutsluis vergt een grote investering, veroorzaakt een forse ingreep in de natuur met gevolgen die tot in de verre omtrek merkbaar zijn. De vereiste levensduur van schutsluizen is aanzienlijk (orde van grootte een eeuw). Dit alles maakt het nodig dat over het ontwerp van een sluis zeer goed wordt nagedacht vanuit een groot aantal invalshoeken. Dit boek "Ontwerp van Schutsluizen" hoopt hieraan een bijdrage te leveren.

1.2 Doelstelling

De waterbouwkundige Josephus Jitta heeft in de jaren '40 het standaardwerk voor sluizen geschreven ("Sluizen en andere waterbouwkundige kunstwerken in en langs kanalen", 1947). Ontwikkelingen in de sluizenbouw maakten het boek gedateerd, al zijn veel van de in het boek behandelde grondslagen nog geldig.

Vanaf de jaren 1950 tot nu toe zijn de ervaringen bij het ontwerpen en realiseren van sluizen maar fragmentarisch vastgelegd en daardoor zijn deze niet goed beschikbaar voor de huidige en toekomstige ontwerpers. Voorkomen moet worden dat deze kennis verloren gaat. In de afgelopen 20 jaar heeft veel - zowel project- als algemeen-gericht - onderzoek plaatsgehad naar verbeteringen in het ontwerpen van schutsluizen op het gebied van vele disciplines. Om een bredere toepassing mogelijk te maken is een systematisch en samenhangend overzicht van de resultaten gewenst.

"Ontwerp van Schutsluizen" is bedoeld als een praktisch bruikbare bundeling van kennis en ervaring over schutsluizen, zoals deze gedurende de laatste decennia in Nederland zijn opgedaan bij onderzoek, ontwerp en bouw. De onderwerpen die aan bod komen betreffen vrijwel alle technische aspecten die aan schutsluizen te onderscheiden zijn. Elk onderwerp wordt zodanig gepresenteerd dat na beschrijving van de belangrijkste elementen en hun onderlinge samenhang (oftewel het geven van inzicht in de materie) deze elementen verder uitgewerkt worden. De uitwerking bevat zo min mogelijk theoretische beschouwingen, uitgebreide afleidingen of kleine details, maar bestaat vooral uit praktische ontwerpregels, aanbevelingen, checklists, verwijzingen, rekenprogramma's etc. De onderwerpen zijn algemeen gehouden (dus niet betrokken op een specifieke sluis), maar waar nodig worden voorbeelden gegeven. Opgemerkt wordt dat het boek geen aandacht besteedt aan het kostenaspect; alleen technische zaken krijgen de aandacht.

Het uiteindelijke doel van "Ontwerp van Schutsluizen" is om de groep ontwerpers van de Bouwdienst van alle betrokken disciplines in staat te stellen een compleet voorontwerp van een schutsluis te maken. De ontwerper moet inzicht krijgen in het genereren van alternatieven en het doen van een verantwoorde keuze hierin. Ook moet het mogelijk zijn om met het boek een deel van het definitieve ontwerp samen te stellen. Verder kan het boek zijn nut bewijzen aan ingenieursbureaus en aannemers en aan onderwijsinstellingen, waarbij enige voorkennis nodig is.

1.3 Overzicht inhoud

Het ontwerpen van schutsluizen kent een groot aantal deelaspecten. In dit boek is daarom gekozen voor een opzet waarbij de diverse aspecten van het ontwerp afzonderlijk in hoofdstukken behandeld worden om de toegankelijkheid zo groot mogelijk te maken. De samenhang tussen de aspecten wordt gelegd in een aantal algemene hoofdstukken en in een groot aantal verwijzingen in de hoofdstukken naar andere paragrafen van het boek. Uiteraard wordt naar literatuur verwezen.

"Ontwerp van Schutsluizen" bestaat uit twee delen met in totaal 23 hoofdstukken.

- Het eerste deel (hoofdstukken 1 t/m 9) bevat de meer algemene zaken die in de eerste fase van het voorontwerpproces nodig zijn. Behandeld worden het programma van eisen (PvE), het ontwerpproces, de hoofdafmetingen van de schutsluis en de voorhavens, het vul- en ledigingssysteem en de keuze van sluisdeuren, sluishoofden en sluisolk.

- Het tweede deel (hoofdstukken 10 t/m 23) beschrijft meer de technische uitwerking van de verschillende studieonderdelen als vervolg op het voorontwerpproces. Aan de orde komen staal- en werktuigbouwkundige constructies, betonconstructies en fundering, besturing en bediening, damwanden, remmingwerken, bodembescherming en de hydraulische belastingen. Verder komen bijzondere onderwerpen aan de orde zoals onderhoudsaspecten, reconstructies, zout/zoetscheidingsystemen en toekomstige ontwikkelingen. Van dit alles worden de nodige voorbeelden gegeven.

Voor een overzicht wordt met een beknopte inhoudsopgave verwezen naar de tabellen 1.1 en 1.2. De beste ingang voor een ontwerper om inzicht in een bepaald onderwerp te krijgen of een meer specifieke vraag te beantwoorden, is dus via de hoofdstukindeling. Een index op trefwoorden is ook aanwezig.

1.4 Verantwoording

In 1988 is door de toenmalige Rijkswaterstaat - Directies Sluizen & Stuwen en Bruggen en door het Waterloopkundig Laboratorium in het kader van Bouwspeurwerk Constructies en Water, een werkgroep ingesteld en een nota geschreven voor het samenstellen van een boek over het ontwerp van schutsluizen. De eerste activiteiten betroffen het ontwikkelen van algemene kennis op het gebied van vul- en ledigingssystemen van sluizen en hydraulische krachten op sluisdeuren, door het Waterloopkundig Laboratorium. Eind 1989 heeft wijlen ing. M. van der Schaft het Projectplan en het Plan van aanpak opgesteld voor het daadwerkelijk schrijven van het boek. In 1992/1993 zijn vervolgens enkele hoofdstukken geschreven.

In 1994 is door Bouwdienst Rijkswaterstaat een herstart van het project gemaakt met als projectleider ir. H. Verwoert. Daarbij is de projectnaam AROS (Algemene Richtlijnen Ontwerp Schutsluizen) ingevoerd. Een begeleidingsgroep is ingesteld onder voorzitterschap van prof.ir. A. Glerum en als leden ir. G.J.M. Hertogh, ir. P.H. Hiddinga, ing. D. Kranenburg, ir. H. Verwoert, ir. J.T. de Vries, dr.ir. A. Vrijburcht en ir. J. Weijers. De begeleidingsgroep heeft de verschillende bijdragen van de auteurs becommentarieerd. In 1998 is het projectleiderschap overgedragen aan ir. J.T. de Vries. De financiële middelen om tot het boek te komen, zijn in hoofdzaak afkomstig van de Bouwdienst Rijkswaterstaat en in mindere mate van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde.

Van 1994 tot en met 1999 zijn de meeste hoofdstukken geschreven door medewerkers en oud-medewerkers van de Bouwdienst Rijkswaterstaat maar ook hebben medewerkers van de Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouw, het Waterloopkundig Laboratorium, FUGRO en de Technische Universiteit Twente hoofdstukken geschreven. De tabellen 1 en 2 geven naast een beknopte inhoudsopgave ook het overzicht van de auteurs. Behalve deze personen hebben talloze andere (niet met name genoemde) medewerkers van de Bouwdienst Rijkswaterstaat bijdragen geleverd. De eindredactie van "Ontwerp van Schutsluizen" berustte bij prof.ir. A. Glerum en dr.ir. A. Vrijburcht.

Nr.	Hoofdstuk	Inhoud	Auteurs
1	Inleiding	Schutsluizen in Nederland, Doelstelling, Overzicht inhoud, Verantwoording	A. Vrijburcht
2	Programma van Eisen	Randvoorwaarden, Functionele eisen, Gebruikseisen, Onderhoudseisen, Omgevingseisen in gebruiks- en bouwstadium, Vergunningen, Normen, Checklist	A. Glerum, P.H. Hiddinga, S.D. Henneberque, D. Kranenburg, A. Vrijburcht
3	Ontwerpproces	Fasen van het ontwerpproces, Proces voorontwerp	A. Glerum
4	Hoofdafmetingen van schutsluis en voorhavens	Verkeersaanbod, Horiz. afmetingen en peilmaten schutsluis met oog op schutten, Peilmaten schutsluis met oog op waterkering, Resulterende afmetingen schutsluis, Horiz. afmetingen en diepte voorhaven met oog op schutten, Horiz. afmetingen voorhaven met oog op andere functies	A. Boogaard, A. Glerum, P.H. Hiddinga, D. Kranenburg, A. Vrijburcht
5	Lay-out van het sluiscomplex	Tegenstrijdigheid van eisen, Dimensionering en indeling van voorhavens, Aansluiting van voorhavens, Voorbeelden	A. Boogaard, P.H. Hiddinga, A. Vrijburcht
6	Vul- en ledigingssystemen	Type vul- en ledigingssystemen, Verschijnselen tijdens kolkomzetting, Dimensionering, Hydraulische vormgeving, Lockfill	A. Vrijburcht
7	Deuren, bewegingswerken en schuiven	Typen sluisdeuren, Keuze sluisdeuren, Deurbewegingswerken, Schuiven en schuifbewegingswerken	D. Kranenburg, A. Vrijburcht
8	Sluishoofden	Functionele eisen, Vormgeving hoofden, Stellen van in te storten voorzieningen, Alternatieven voor constructie en bouwmethode, Voorselectie van alternatieven	A. Glerum, D. Kranenburg, A. Vrijburcht
9	Sluiskolk	Functionele eisen, Alternatieven voor constructie en bouwmethode, Voorselectie uit alternatieven	A. Glerum

Tabel 1.1 Beknopt overzicht inhoud deel 1 van het boek "Ontwerp van schutsluizen"

Nr.	Hoofdstuk	Inhoud	Auteurs
10	Onder- en achterloopsheid	Invloedsfactoren, Rekentechnieken voor piping in korrelige materialen, Praktische aspecten	M. van de Paverd, J. Weijers
11	Hydraulische belastingen op sluisdeuren	Hydraulische belastingen door initieel verval, Hydraulische belastingen door deurbeweging, Hydraulische belastingen door externe oorzaken	A. Vrijburcht
12	Staal- en werktuigbouw-kundige constructies	Ontwerpbelastingen, Constructieve aspecten van sluisdeuren, Constructieve aspecten van deurbewegingswerken, Constructieve aspecten van schuiven	D. Kranenburg, A. Vrijburcht
13	Betonconstructies en fundering	Dwarsdoorsneden sluis, Voorschriften, Belastingcomponenten, Belastingcombinaties, Sterkte en stabiliteit betonbak, Details betonconstructie	A. Vrijburcht
14	Grondkerende constructies	Ontwerpaspecten, Belastingen, Typen kerende damwandconstructies, Grondkeringen voorhavens, Kolkwanden, Uitvoeringsaspecten	M.A. de Graaf, A. Vrijburcht
15	Remming- en geleidewerken	Inrichting voorhavens, Constructietypen, Ontwerputgangspunten, Scheeps-, water- en grondgegevens, Doorrekenen hoofdconstructie, Constructiedetails	A. Vrijburcht
16	Bodembeschermingen	Functies en eisen, Stromingsoorzaken, Berekenen stroomsnelheden aan de bodem, Berekening toplaag stortsteen, Plaats en lengte stortsteen, verticale opbouw stortsteen, Andere typen bodembescherming	A. Vrijburcht
17	Inrichting van sluis en voorhavens	Zaken ten dienste van verkeersregeling, Zaken ten dienste van invaren en vastmaken, Bijzondere hydraulische zaken, Bouwkundige voorzieningen en terrein, Klein sluismeubilair, Windschermen	A. Boogaard
18	Besturing en bediening	Bedrijfsvoering, Besturing, Bediening, Elektrotechnische installatie	A. Vrijburcht
19	Onderhoud	Onderhoudsaspecten in programma van eisen, Onderhoudsaspecten in het voorontwerp, Maatregelen ter beperking van niet-beschikbaarheid, Onderhoudsconcept	M.T. van der Meer
20	Reconstructies	Doel en soorten reconstructie, Bestaande situatie, Vaststellen reconstructie, Uitwerken onderdelen reconstructie, Uitvoeringsaspecten, Voorbeelden	A. Vrijburcht
21	Zout/zoetscheidingssystemen	Sluizen zonder zout/zoetscheiding, Overzicht maatregelen en systemen van zout/zoet scheiding, Zout/zoetscheiding met geopende deur tijdens uitwisselen, Zout/zoetscheidingssystemen met gesloten deuren tijdens nivelleren en uitwisselen	A. Vrijburcht
22	Nieuwe ontwikkelingen	Technische ontwikkelingen, Kunststof sluisdeuren, Ontwerpproces, Functioneel ontwerpen	R.C.A. Beem, G. Nagtegaal, A. Vrijburcht
23	Voorbeelden	Kleine en Zuidersluis IJmuiden, 2 ^e sluis Lith, Prins Willem-Alexandersluis, Krabbersgatluizen, Oranjesluis	L.M.G. Smink, A. Vrijburcht

Tabel 1.2. Beknopt overzicht inhoud deel 2 van het boek "Ontwerp van schutsluizen"

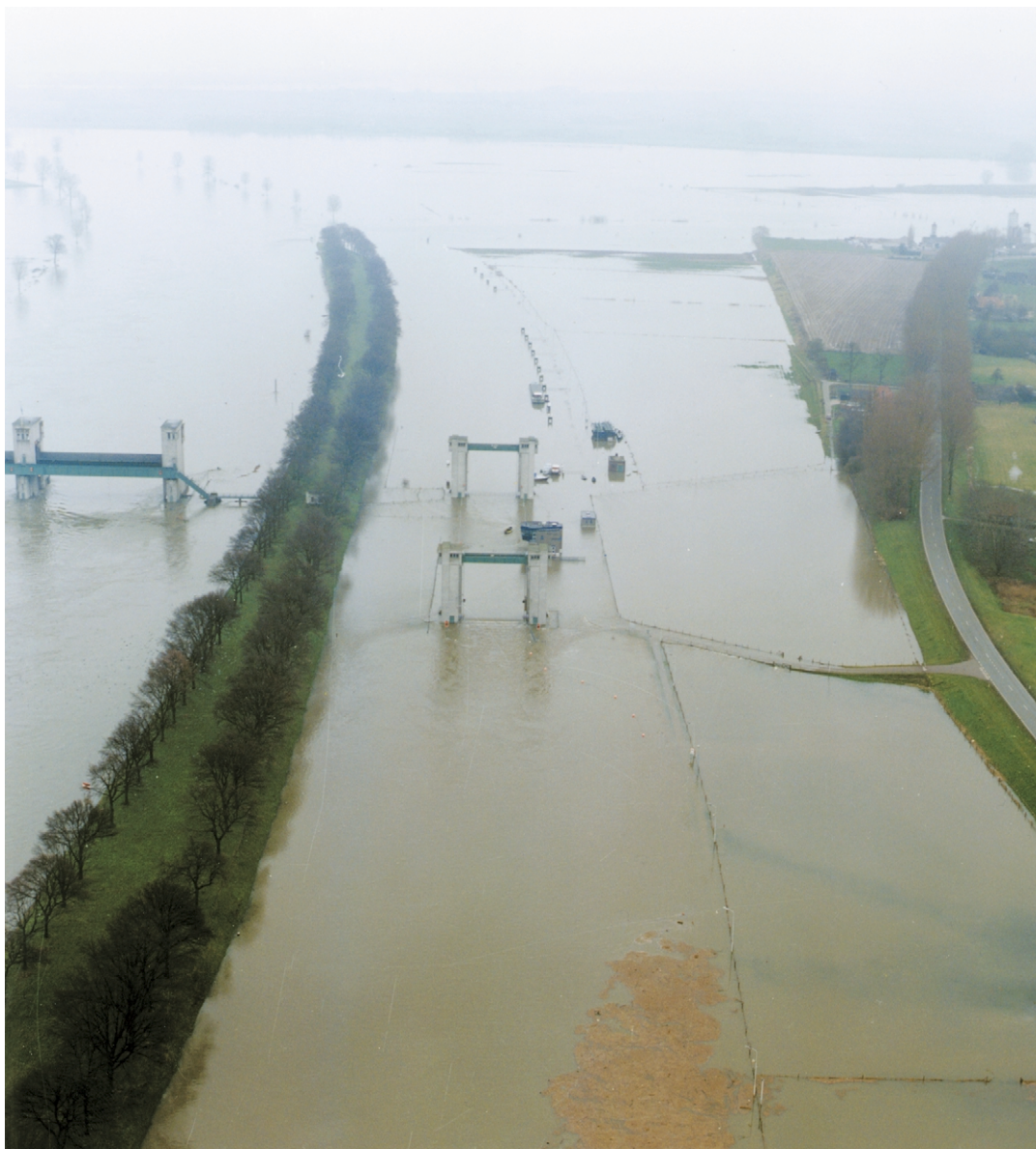


Foto 2.1 Stuw- en schutsluiscomplex te Lith tijdens hoge afvoer van de Maas, 27 december 1993

Hoofdstuk 2 Programma van Eisen

2.1 Inleiding

Het Programma van Eisen (PvE) omvat de randvoorwaarden en de eisen waaraan een bepaald kunstwerk - in dit geval een schutsluis met bijbehorende voorhavens - in een specifieke situatie moet voldoen, zowel in het bouw- als in het gebruiksstadium. Het programma omvat alle uitgangspunten die nodig zijn voor het maken van een definitief ontwerp. Een voorontwerp start veelal met minder uitgebreide en globalere uitgangspunten dan vermeld in dit hoofdstuk. Gaande het ontwerp zullen eisen worden toegevoegd of komen te vervallen.

Onder randvoorwaarden worden verstaan de gegevens inzake de natuurlijke en de bebouwde omgeving (topografie, grond- en waterstandsgegevens etc.) voor zover van belang voor het kunstwerk en het gebruik daarvan. Ook toekomstige veranderingen, die het functioneren van de sluis zullen beïnvloeden, moeten worden vermeld.

Tot de eisen behoren de functionele, de gebruiks-, onderhouds- en de omgevingseisen, maar ook de voorwaarden en beperkingen die worden opgelegd door vergunningen, normen, richtlijnen en dergelijke.

Een schutsluis wordt gebouwd voor de scheepvaart. De functionele eisen inzake de scheepvaart zijn dan ook primair: het brengen van schepen van het ene naar het andere waterniveau. De andere functionele eisen (betreffende waterkering, waterbeheer en droge infrastructuur) komen pas in beeld bij het bezien van de inpassingsmogelijkheden van de sluis in de omgeving.

De gebruiks- en onderhoudseisen betreffen enerzijds een verdere uitwerking van de functionele eisen en anderzijds aanvullende voorwaarden. Bij de omgevingseisen gaat het overwegend om aanvullende zaken die niet afgeleid kunnen worden uit het vereiste functioneren van de sluis, zoals het niet mogen bemalen tijdens de bouwperiode.

Alhoewel het ontwerpproces wordt begonnen met een bepaald Programma van Eisen (het voorontwerpproces begint met een globaler programma), wil dit niet zeggen dat hier niet vanaf kan worden geweken. Tijdens de uitwerking kan namelijk blijken, dat een bepaalde eis dusdanig streng is geformuleerd, dat dit tot onevenredig hoge kosten leidt. In een dergelijk geval moet worden bezien of de eis aanpassing behoeft. Daarnaast kunnen bepaalde eisen strijdig met elkaar zijn. Dan moet een afweging worden gemaakt tussen de verschillende belangen. Enige voorbeelden daarvan worden beschreven in Par. 5.2, conflicterende eisen. Bovendien kan tijdens het ontwerpen het inzicht ontstaan dat bepaalde eisen alsnog scherper moeten worden gesteld of nader dienen te worden uitgewerkt.

In dit hoofdstuk wordt het Programma van Eisen voor een schutsluis met bijbehorende voorhavens in zijn totaliteit beschreven. Afgeleid daarvan vindt men aan het begin van een aantal hoofdstukken (7: Deuren, bewegingswerken en schuiven, 8: Sluishoofden, 9: Kolk, 14: Grondkerende constructies en 16: Bodembescherming), de eisen die aan die onderdelen moeten worden gesteld.

In Par. 2.10 is een checklist opgenomen van het Programma van Eisen als verwoord in dit hoofdstuk. Tevens is aangegeven welke van de randvoorwaarden en eisen al tijdens het voorontwerp beschikbaar moeten zijn.

2.2 Randvoorwaarden

2.2.1 Topografie

Door middel van kaartmateriaal (land-, water-, rivier-, zee-, eigendomskaarten en streek- en bestemmingsplannen) dient de omgeving, inclusief geplande wijzigingen daarvan, volledig te zijn beschreven voor zover van belang voor de schutsluis en de aansluitende voorhavens. Bijzondere aandacht behoort te worden besteed aan historische en natuur-(wetenschappelijke) waarden. Het kaartmateriaal dient ook rioleringen, kabels en leidingen aan te geven alsmede hoe de afwatering van het betrokken gebied geschiedt.

2.2.2 Bestaande schutsluis (-sluizen)

Wanneer de nieuwe sluis naast een bestaande sluis, die blijft functioneren, gebouwd wordt of de sluis moet gerenoveerd worden, dienen daarvan bekend te zijn:

- geometrie en toestand;
- huidig (en voorzien) sluisgebruik;
- huidig gebruik afmeervoorzieningen;
- huidig gebruik terrein, water en wegen;
- eventuele toegestane beperkingen van dat gebruik tijdens de bouw van de nieuwe sluis of de renovatie.

Indien zich nabij de geplande nieuwe sluis een stuw, waterkrachtcentrale of andere waterbouwkundige kunstwerken bevinden, behoren soortgelijke gegevens daarvan ter beschikking te staan.

2.2.3 Waterstanden c.a.

Hiertoe worden gerekend waterstanden en -stromingen, golven, waterkwaliteit en -temperaturen. Vooral van de *waterstanden* zijn gegevens nodig over *frequenties van over-/onderschrijding*. Er zijn immers normen en richtlijnen waarin frequenties van over-/onderschrijding worden aangewezen voor vaststellen van de maatgevende hoge en lage waterstanden voor het passeren van sluizen, en van de maximale en minimale schutpeilen (Par. 2.4.1.1), alsmede voor die van de maatgevende hoogwaterstanden (MHW's) voor de waterkering (Par. 2.3.2 en 4.5.3). Deze niveaus zijn mede bepalend voor de geometrie van de sluis (dekzerhoogten, bovenzijden beplating deuren, onderzijden geheven hefdeuren en vaste bruggen, drempeldiepten etc.) en voor de belastingen op diverse onderdelen zoals deuren, hoofden en kolk.

De in de voorgaande alinea genoemde waterstanden hebben als regel een kleine kans van voorkomen. Maar ook de meer frequent voorkomende standen en de variaties daarin, zoals de dagelijkse getijkrommen, moeten bekend zijn met het oog op vul- en ledigingstijden etc. Kennis omtrent *stijg- en zaksnelheden* van de waterstanden kan nodig zijn om overbelasting van bewegingswerken te voorkomen, om bij sluizen met openstaande deuren in beide hoofden in bepaalde bedrijfssituaties de deuren tijdig te sluiten (dus over te gaan tot schutbedrijf) etc.

Indien de schutsluis tevens wordt gebruikt voor het inlaten of lozen van water zullen *lange termijn gegevens* beschikbaar moeten zijn: waterstanden en hun duur in droge en natte seizoenen en jaren.

Waterstromingen kunnen van belang zijn voor de lay-out en de inrichting van voorhavens, bijvoorbeeld het stroombeeld van een rivier nabij een te maken voorhaven.

Rivierafvoeren en het stuwregime zijn mede bepalend voor de hoogte- en dieptematen van sluizen in gestuwde rivieren.

Behoudens de waterstanden en het verloop daarvan in de tijd, is informatie nodig inzake de *waterkwaliteit* (chloridegehalten, "agressiviteit", verontreinigingen) en de *temperaturen*. Beide zo nodig als functie van de tijd en de diepte onder het waterniveau. De chloridegehalten zijn medebepalend voor het volumegewicht en daarmee voor de belastingen op de sluisconstructies. Voor bepaalde stalen onderdelen is het nodig rekening te houden met verlenging/verkortening veroorzaakt door veranderingen in water-temperaturen.

Voor het vaststellen van de hoogte van deuren en de dekzerhoogte van (in elk geval) het buitenhoofd en de belasting op de deuren, dienen *deining-* en *golfgegevens* (H_s en T_p) beschikbaar te zijn. De situaties moeten corresponderen met het ontwerppeil, voor zover zij niet worden afgeleid uit de dan veronderstelde windomstandigheden (snelheid, richting en strijklengte). Ook zullen gegevens nodig zijn omtrent seiches, buistoten/oscillaties en de zeespiegelrijzing. Het dimensioneren van de bewegingswerken vereist inzicht in de deining en windgolven, die kunnen optreden onder omstandigheden, waarbij scheepvaart mogelijk is. Daarnaast kunnen translatiegolven, veroorzaakt door schutsluizen, stuwten en andere kunstwerken een rol spelen, alsmede scheepsgolven (bijvoorbeeld door hun krachten op schepen die zijn afgemeerd aan de wachtplaatsen en op deuren in geopende stand).

2.2.4 Wind

Windgegevens (snelheid, richting en bijbehorende frequenties) zijn nodig voor het bepalen van opwaaiing, golven, krachten op afgemeerde schepen en krachten op deuren en heftorens. Tevens zijn windgegevens nodig in verband met de mogelijke hinder voor schepen die de sluis in- of uitvaren.

(Opm. In plaats van krachten op afgemeerde schepen worden bolderkrachten gebruikt als functie van de waterverplaatsing van het schip. In deze bolderkrachten, zie ook Par. 2.4.3, zijn de eventuele windkrachten verdisconteerd.)

2.2.5 Morfologie

Voorals schutsluizen gelegen zijn in en aan rivieren, aan estuaria en aan zee, is het nodig te beschikken over morfologische gegevens (zoals bodem- en zwevend-transport) voor het ontwerp van de voorhavens. Immers, ook in de toekomst moeten de sluizen aan de gewenste toegankelijkheid blijven voldoen. Ook moeten de hoeveelheden aanwezige slib op de bodems van de voorhavens bekend zijn. Morfologische prognoses zijn ook bepalend voor de drempeldieptes van sluizen in gekanaliseerde rivieren en aan estuaria, waarvan de condities zijn en worden gewijzigd (bijvoorbeeld door afdamming). Morfologie is een dynamische materie, waarvoor zelden volstaan kan worden met extrapolatie van statistische gegevens. Meestal is nader onderzoek nodig (schaal- of rekenmodellen).

2.2.6 Bodemgesteldheid

Hierbij kunnen grondmechanische en geohydrologische gegevens alsmede verontreinigingen en slib worden onderscheiden. Grond vormt de fundering (reactie), maar levert ook een bijdrage aan de belasting (actie) van een schutsluis.

Aan representatieve terrein- en laboratoriumproeven moeten alle grondmechanische parameters worden ontleend, die de sterkte-, stijfheids- en stabiliteitsberekeningen van beton-, damwand- en bodemverdedigingsconstructies mogelijk maken. Daarbij moet onder meer worden gedacht aan belastingen op wanden en aan de draagkracht en vervormingen (zettingen) van staal- en paalfunderingen. Het gaat daarbij niet alleen om het gedrag van ongeroerde grond, maar ook om dat van grond, die voor aanvullingen en ophogingen wordt gebruikt. Indien het werk wordt uitgevoerd door middel van een tijdelijke grondwaterstandsverlaging, zal het grondmechanisch onderzoek zich uitstrekken tot een afstand van de sluis, waar een grondwaterstandsverlaging van 0,5 m wordt voorspeld. Dit is nodig om goede prognoses te kunnen maken over zettingen en eventuele schade. Bij een tijdelijke bemaling zullen overigens ook het grondgebruik en de soort (staal of palen) en de kwaliteit van bestaande funderingen in de beschouwing moeten worden betrokken.

Tot de geo-hydrologische gegevens behoren de stijghoogten als functie van tijd en de fluctuaties veroorzaakt door veranderingen in de (open) waterstanden aan weerszijden van de sluis. Een goede beschrijving van de stijghoogten is nodig omdat het grondwater zowel een belasting op wanden en vloeren vormt, als opdrijving van de constructie in zijn totaliteit kan veroorzaken. Verder is inzicht nodig in grondwaterstromingen. In sommige gevallen immers wordt het niet toelaatbaar geacht dat tijdelijke of definitieve (damwand-)schermen belemmeringen voor deze stromingen vormen. Daarnaast zullen (veelal niet-stationaire) stromingen tussen buiten-/bovenwaterstand en binnen-/benedenwaterstand het stijghoogteverloop onder de sluis bepalen. De doorlatendheid c.a. speelt een belangrijke rol bij bemalingen tijdens de bouw.

Het is noodzakelijk eventuele bodemverontreiniging ter plaatse van de sluis en voorhavens te kennen teneinde te kunnen bepalen, welke grond na ontgraving voor hergebruik in aanmerking komt en welke moet worden afgevoerd en waar naar toe (afhankelijk van de mate van verontreiniging). Zelfs gifdepots die op grote afstand van een te bouwen sluis gelegen zijn, kunnen beperkingen opleggen aan de toepassing van bemalingen met het oog op verplaatsing van giftige stoffen.

2.3 Functionele eisen

2.3.1 Functionele eisen betreffende de scheepvaart

2.3.1.1 Algemeen

De functionele eisen van een schutsluis zijn primair bedoeld voor de scheepvaart. Als belangrijkste algemene functionele eis geldt dat de scheepvaart zodanig snel en veilig de sluis moet kunnen passeren als maatschappelijk (macro-economisch) verantwoord wordt geacht.

Snelheid uitgedrukt als passeertijd wordt gebruikt om de extra tijd aan te geven die een schip als deelnemer van een vloot (met een bepaald aanbod en samenstelling) nodig heeft om van de ene naar de andere zijde van de sluis te komen, vergeleken met de situatie dat die sluis er niet zou zijn geweest. Met sluis wordt hier bedoeld het samenhangend geheel van voorhavens, hoofden en kolk(en) alsmede de inrichting van daarin aangebrachte voorzieningen. De passeertijd wordt bepaald door de tijd benodigd voor wachten, in- en uitvaren, af- en ontmeren en de bedieningstijd (sluiten en openen van de deuren en nivelleren van de kolk). Deze tijd is sterk afhankelijk van de verkeersdrukte (zijnde de sluisbelasting of verhouding van de intensiteit en capaciteit van de sluis).

Veilig passeren van het sluiscomplex wordt bepaald door de mate van zekerheid waarmee zonder gevaar en/of schade voor mensen, milieu en materie, het scheepvaartverkeer (vlot) kan worden afgewikkeld en de leefbaarheid in de directe omgeving kan worden gewaarborgd.

De algemene functionele eis kan meer specifiek benoemd worden volgens onderstaande eisen:

- *Maatgevend schip of eenheid, behorend bij de gegeven vaarwegklasse, moet de sluis voldoende snel en veilig passeren.*
Bedoeld schip of eenheid is statistisch bepaald. De bijbehorende nuttige sluisafmetingen vormen de maten voor de minimum sluis. (Zie verder voor vaarwegklassen, maatgevende schepen en afmetingen minimum sluizen Par. 4.2 en 4.4.)
- *Maatgevende combinatie van schepen, behorend bij de gegeven vaarwegklasse, moet de sluis voldoende snel en veilig passeren.*
Maatgevende combinatie is ook hier een statistische waarde die in principe leidt tot bijbehorende minimum sluismaten. Vaststelling van de maatgevende combinatie stuit echter op problemen en leidt veelal niet tot economisch verantwoorde sluisafmetingen. Daarom is het volgende beter:
- *Maatgevend aanbod en vlootsamenstelling van schepen, behorend bij de gegeven vaarwegklasse, moet de sluis voldoende snel en veilig passeren.*
In dit geval wordt rekening gehouden met frequentie van voorkomen van schepen.
Per CEMT of recreatievaart klasse:
 - Hier is de samenstelling van de vloot van belang en komen effecten van schaalvergroting beter tot uitdrukking.
Als functie van de tijd:
 - Hier komt de spreiding in aankomst van de schepen bij de sluis aan de orde en kunnen de algemene periodieke kenmerken van de beroepsvaart (zeevaart, binnenvaart), zoals meer aanbod overdag dan 's nachts, meer recreatievaart in het weekend dan door de week, alsmede seizoensinvloeden over het jaar beter tot uitdrukking komen. Laatstgenoemd kenmerk maakt het voor het ontwerp ook nodig onderscheid te maken tussen het aanbod in een maatgevende week waarin de beroepsvaart dominant aanwezig is en een maatgevende week waarin de recreatievaart dominant is.

Voor het bepalen van de ontwerpmaten voor sluis en voorhaven dient in de meeste gevallen een apart verkeersonderzoek plaats te vinden. De gekozen ontwerpmaten moeten wel zoveel mogelijk de (geplande) uniformiteit van de route volgen.

- *Bovenstaande eisen gelden voor zowel nu als in een geprognostiseerde situatie voor de scheepvaart.*

Dit kan betekenen dat rekening gehouden moet worden met bijvoorbeeld reservering van terrein voor een eventuele extra kolk, aanleg van minimaal noodzakelijke voorzieningen die anders later te duur/ onmogelijk zijn (bijvoorbeeld sluizen in Philipsdam) en verlenging van een kolk.

Binnen het sluiscomplex zijn in functionele zin drie gebieden te onderscheiden: voorhaven, fuik en kolk.

2.3.1.2 Voorhavens

De voorhaven van een sluis kan een aantal functies vervullen.

- **Primair als onderdeel van de verkeersafwikkeling bij het schutproces**

De voorhaven is het vaargedeelte dat ligt tussen de aansluitende vaarweg en het sluiscomplex, waar de aankomende schepen gelegenheid hebben om vaart te minderen en zo nodig kunnen afmeren aan een remmingwerk (afmeren is voor de grote zeevaart meestal niet aan de orde; zij houden zich in positie, al dan niet met behulp van sleepboten). Hierbij moet, zowel overdag als 's nachts, voldoende zicht en overzicht aanwezig zijn. De voorhaven dient daarom obstakelvrij te zijn en niet in een bocht te worden gesitueerd. Tevens dienen in verband met de verminderde manoeuvreerbaarheid van het schip tijdens vaart minderen en afstoppen, dwars- en langsstroming in de voorhaven beperkt te blijven. Hetzelfde geldt zo mogelijk voor de dwarscomponent van de wind (zie ook Par. 5.2, conflicterende eisen).

De voorhaven is verder functioneel onder te verdelen in:

- *De opstelruimte*

Deze moet voorzien zijn van een goede afmeervoorziening en zodanig gesitueerd dat de afge-meerd liggende schepen geen obstakels vormen voor de uitvarende schepen. De ruimte is bedoeld voor schepen die met de eerstvolgende schutting meegaan. Vanaf de opstelruimte moeten de schepen via de fuik de kolk vlot in kunnen varen. Per kolk en per zijde is daartoe een opstelruimte benodigd.

De grootte van de opstelruimte is afgestemd op een volledige kolkvulling. Als lengte kan aangehouden worden ca. 1,2 à 1,3 maal de kolk lengte. Bij bestaande sluizen met een lage verkeersbelasting kan hiervan worden afgeweken (zie verder Par. 4.4). Als breedte geldt de kolkbreedte.

- *De wachttruimte*

Ook deze is voorzien van een afmeergelegenheid. De ruimte wordt alleen aangelegd bij sluizen waar de verwachte scheepvaartintensiteit zodanig is dat de opstelruimte op drukke dagen te klein is voor alle wachtende schepen. De ruimte is bedoeld voor zogenaamde overliggers, schepen die na aankomst niet met de eerstvolgende schutting mee kunnen. Voor een sluiscomplex met één kolk is per zijde één wachttruimte nodig dan wel als gemeenschappelijke ruimte voor een complex met meerdere kolken.

Het maatgevende schip moet minimaal op de wachttruimte kunnen afmeren. De lengte is verkeerskundig bepaald (zie Par. 4.7). Als breedte geldt de kolkbreedte

- *De vrije ruimte*

Bedoeld om schepen de gelegenheid te geven vaart te minderen en te beginnen met de manoeuvres om in de opstelruimte of wachttruimte af te meren. Verder biedt de vrije ruimte de gelegenheid om, waar dat noodzakelijk is, het profiel van de vaarweg aan te passen aan het profiel van de voorhaven. Voor afstoppen en afmeren dient voldoende lengte aanwezig te zijn; ter indicatie kan voor binnenvaart gelden ca. 2,5 maal de maatgevende scheepslengte.

- **Eventueel als overnachtingshaven**

Voorhavens van sluizen voor de binnenvaart kunnen ook worden gebruikt als overnachtingshaven. In dat geval dient bij de indeling, inrichting en dimensionering van wachttruimten, onderscheid te worden gemaakt ten opzichte van de ruimten voor het schutten. Verder dient rekening te worden gehouden met de beperkingen volgens de Vaartijdenwet, zie verder Par. 4.8.1.

(Opm. “Vaartijdenwet” is de gebruikelijke afkorting voor “Het besluit vaartijden- en bemanningssterkte ten aanzien van vaar- en rusttijden”). Ter indicatie kan een onderlinge afstand tussen overnachtingshavens van ca. 30 km worden aangehouden.

- **Eventueel als vluchthaven**

Voorhavens van sluizen voor de binnenvaart gelegen in een gestuwde rivier, kunnen ook dienen als haven waar de scheepvaart in extreme situaties een veilig heenkomen zoekt. Dit zal doorgaans slechts het geval zijn bij extreem hoog water (met hoge afvoeren en derhalve hoge stroomsnelheden, waarbij de stuwen gestreken zijn) of bij extreem laag water (in incidentele situaties met zeer zware ijsgang, waarin de stuwen gestreken moeten zijn, zonder dat er sprake is van hoge afvoer, teneinde vastraken en beschadiging van de stuwen te voorkomen).

Bij hoogwater is er sprake van een geleidelijk verslechterende situatie met toenemende stroomsnelheden, waarbij eerst de kleinere schepen en daarna de grotere schepen de stroom niet meer kunnen weerstaan. Dit houdt in dat er niet zo zeer behoefte bestaat aan een wijd verspreid net van plaatsen op korte onderlinge afstanden, maar een redelijke hoeveelheid afmeergelegenheden, verspreid langs de vaarroute. In deze behoefte voorzien stromingsvrije ligplaatsen in de bovenvoorhaven met afmeervoorziening van voldoende hoogte, gelegen op sluislocaties met - ter indicatie - een maximale onderlinge afstand van ca. 40 à 50 km.

Ook bij laagwater is er sprake van een geleidelijk verslechterende situatie; met een afnemende waterdiepte zal er behoefte bestaan aan ligplaatsen met voldoende (overblijvende) waterdiepte.

Voor beide extreme situaties spelen informatievoorziening en communicatie een belangrijke rol, waarbij er vaak voldoende tijd is om het bedreigde gebied vroegtijdig te verlaten.

In Par. 4.8.2 wordt uitvoeriger ingegaan op voorhavens als vluchthaven.

- **Eventueel als dwanghaven**

Voorhavens van sluizen kunnen ook worden gebruikt om schepen ‘onder dwang’ in een haven te houden. Dit kan bijvoorbeeld nodig zijn als een schip na een schadevaring verboden wordt om verder te varen. In de praktijk blijken dergelijke gevallen zelden voor te komen of gemakkelijk op te vangen op een andere locatie, zodat in het algemeen geen rekening gehouden hoeft te worden met aparte ligplaatsen.

- **Gevaarlijke stoffen**

Voor een redelijk groot aantal binnenvaartschepen geladen met gevaarlijke stoffen is een aparte wachtplaats nodig op afstand van niet-soortgenoten. Bij het indelen in de kolk gelden speciale regels voor kegelschepen (schip met gevaarlijke stoffen) onderling en met niet-soortgenoten. Op het sluisterrein zijn aparte voorzieningen nodig in verband met brandbestrijding.

2.3.1.3 Fuik

De fuik vormt het overgangsgebied tussen voorhaven en kolk en is bedoeld om door middel van mechanische en visuele geleiding de schepen vlot en zonder schade de sluis te laten invaren vanaf de opstelruimte of vanuit lopende vaart. De belijning van de fuik is rechtstandig respectievelijk parabolisch en sluit geknikt respectievelijk vloeiend aan op een korte rechtstand in het verlengde van de kolkwand. De vorm van de belijning kan zijn aaneengesloten (gordingen) dan wel onderbroken (losstaande palen op korte afstand van elkaar). De opeenvolgende natte dwarsprofielen in de overgang van fuik naar kolkingang dienen zoveel mogelijk (hydraulisch) symmetrisch te zijn in verband met de bestuurbaarheid van het schip. Voor fuiklengten en -vormen als functie van het type scheepvaart wordt verwezen naar Par. 2.4.2.2.

2.3.1.4 Kolk en hoofden

In de kolk en hoofden vinden een aantal belangrijke onderdelen van de primaire functie van het schutproces plaats, te weten:

- *het invaren en vastmaken van een of meerdere schepen,*
- *het losmaken en uitvaren van een of meerdere schepen,*
- *het sluiten en openen van de deuren en*
- *het nivelleren van het waterpeil in de kolk.*

Teneinde deze functie voor de scheepvaart voldoende vlot en veilig te laten verlopen is het van belang hiermee rekening te houden bij het bepalen van afmetingen, vorm en inrichting:

- **De hoofdafmetingen**

De hoofdafmetingen zoals nuttige lengte, breedte, drempeldiepte en doorvaarthoogte zijn vooral verkeerskundig bepaald en komen in Par. 4.4 aan de orde.

- **De vormgeving**

De voorkeur gaat uit naar het U-vormige prismatische bakprofiel met rechte, gladde kolkwanden (waarin bolders, haalkommen en ladders zijn weggewerkt) en waarbij de hoofden en de kolk één geheel vormen.

- **De inrichting**

- *Sluisplateau (dekzerkhoogte)*

Bij de bepaling van het sluisplateau rekening houden met de volgende functionele punten:

- voor fysieke geleiding en oriëntatie is zo'n hoogte nodig dat het raken van obstakels op het plateau, als gevolg van het oversteken van schepen die onder een (kleine) hoek de sluis (kunnen) binnenvaren, wordt voorkomen;
 - voor comfort en persoonlijke veiligheid is het gewenst dat men (te allen tijde) van een in de kolk liggend schip af kan (en er weer op);
 - vanaf het schip moet men bij binnen- en recreatievaart de trossen zowel om de bolder/haalkom kunnen werpen als kunnen losmaken.

- *Bolder en haalkommen*

Uit veiligheidsoverwegingen dient het schip tijdens het nivelleren aan de kolkwand te kunnen worden vastgemaakt, teneinde ongewenste bewegingen veroorzaakt door de waterbeweging in de kolk te kunnen opvangen.

- *Stopstrepen*

Deze voorziening dient op de kolkwanden te worden aangebracht ter aanduiding van de nuttige, beschikbare schutlengte.

- *Afstandskenmerken*

Vanaf de stopstreep om de 5 m afstandskanalen op het sluisplateau en op de kolkwand plaatsen over een lengte van 20 à 40 m (afhankelijk van de kolk lengte), teneinde het positioneren van de voorste respectievelijk achterste schepen vlot en veilig te laten verlopen (Lit. [2.1]).

Als bijzondere functie van een schutsluis kan worden genoemd de openstaande sluis, een functie die wordt vervuld wanneer de schutsluis niet het grootste deel van de tijd als schutsluis dienst doet. Dit is het geval als in beide aansluitende vaarwegpanden de waterstandsvarianties beperkt zijn en de oevers van de vaarweg hierop gedimensioneerd zijn. Alleen bij te grote waterstandsverschillen tussen de panden, waardoor de stroomsnelheden in de kolk te hinderlijk worden voor de schepen, wordt overgegaan van open sluis naar schutbedrijf.

Bij de openstaande sluis dient extra rekening te worden gehouden met de hogere vaarsnelheden bij het passeren van de sluis. Teneinde de hydraulische weerstand tijdens passage beperkt te houden, zal met name het natte dwarsprofiel moeten worden aangepast (grotere breedte en/of lagere drempeldiepte). Verder is vereist dat de opeenvolgende natte dwarsprofielen van fuik naar slusingang hydraulisch symmetrisch zijn, teneinde te voorkomen dat met name een geladen schip dat met relatief hoge vaarsnelheid (slaags) komt aanvaren (en vervolgens doorvaart en uitvaart) niet onverwachts uit de koers wordt gebracht.

2.3.2 Functionele eisen betreffende de waterkering

Onderscheid moet worden gemaakt tussen schutsluizen, die deel uitmaken van de waterkering als omschreven in de Wet op de Waterkering en schutsluizen die gelegen zijn in andere waterkeringen (zie ook Par. 4.5). Tot de eerste categorie behoren sluizen die deel uitmaken van de waterkeringen van dijk-ringen die lage gedeelten van Nederland en gebieden langs de grote rivieren tegen overstroming beschermen. Tot de tweede categorie kunnen onder meer worden gerekend schutsluizen ter plaatse van

de scheiding van twee kanaalpanden (kanaalsluizen) en sluizen gesitueerd in een gekanaliseerde rivier (stuwtrapsluizen).

De Wet op de Waterkering geeft geen eenduidige waterkerende eisen voor een schutsluis. Deze kunnen wel aan de TAW-Leidraad "Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies" (Lit. [2.8]) worden ontleend. In deze leidraad wordt gesteld dat de schutsluis zodanig dient te worden ontworpen, gebouwd en onderhouden, dat de beoogde waterkerende functie gedurende de planperiode bij de vigerende ontwerp- en uitgangspunten met voldoende betrouwbaarheid zal worden vervuld. De Leidraad beperkt zich tot positieve vervallen (bij hoge buitenwaterstanden die het land achter de waterkering bedreigen).

Voor sluizen, die ook negatieve vervallen kennen, zullen voor de extreme situaties daarvan waterkeringseisen moeten worden opgesteld. Omdat eventuele gevolgschaden daarbij als regel kleiner zijn, kunnen grotere frequenties voor het optreden van waterstanden worden gehanteerd dan bij de positieve vervallen het geval is. De laatste zijn immers gebaseerd op overschrijdingsfrequenties van 1/1250 tot 1/10.000 per jaar. Voor de negatieve vervallen moet gedacht worden aan 1/50 tot 1/100, één en ander afhankelijk van de situatie, waarin de sluis wordt gebouwd en met name van het risico (= faalkans x schade).

Voor schutsluizen die tot de tweede categorie behoren (niet vallend onder de Wet op de Waterkering) zullen per sluis of serie van sluizen soortgelijke eisen moeten worden opgesteld voor positieve en - indien voorkomend - negatieve vervallen.

Voor schutsluizen vallend onder Wet op de Waterkering worden in de bovengenoemde TAW-Leidraad eisen geformuleerd ten aanzien van 1 overlopen en overslag, 2 sterkte en stabiliteit en 3 betrouwbaarheid sluiting afsluitmiddelen.

Op de eerste eis wordt nader ingegaan in Par. 4.5. Hierna wordt een korte toelichting gegeven op de tweede en derde eis. Voor uitvoeriger informatie wordt verwezen naar Lit. [2.8].

2. *Sterkte en stabiliteit:*

De sterkte- en stabiliteitsberekeningen van schutsluizen moeten worden gemaakt volgens de NEN 6700 serie, de aanwijzingen in hoofdstuk 3 van de TAW-Leidraad "Waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies" en de betreffende onderdelen van de TAW-Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, delen I en II (Lit. [2.23] en [2.24]).

3. *Betrouwbaarheid sluiting deuren:*

Hiervoor zijn twee situaties mogelijk. Bij de eerste situatie zijn in het buiten- en in het binnenhoofd deuren aanwezig die voldoende hoogwaterkerend zijn. Bij de tweede situatie is alleen de deur in het buitenhoofd voldoende hoog om de m_{HW} (met bijbehorende golven c.a.) te kunnen keren en is die in het binnenhoofd lager. Voor de eerste situatie worden geen aparte eisen gesteld aan de betrouwbaarheid van sluiting. Voor de tweede situatie moet voor de sluiting van de hoge deur gelden:

$$P_{fa} \leq 0,1 \text{ norm, waarin:}$$

$$P_{fa} = \text{actuele faalkans schutsluis als gevolg van falende deur [1/jaar]}$$

$$\text{norm} = \text{ontwerpfrequentie [1/jaar]}.$$

Terzijde zij opgemerkt, dat, waar er in de eerste situatie geen eisen worden gesteld aan de sluiting met het oog op de waterkering, er wel degelijk eisen worden gesteld vanuit de scheepvaartfunctie beschikbaarheid, zie Par. 2.4.10.

2.3.3 Functionele eisen betreffende het waterbeheer

2.3.3.1 Algemeen

Elke sluis moet voldoen aan scheepvaart- en waterkeringeisen. In bepaalde specifieke gevallen dient de sluis bovendien een rol te vervullen bij het waterbeheer. Daarbij kan onderscheid worden gemaakt tus-

sen een passieve rol, het beperken van waterverliezen en zoutpenetratie als gevolg van het schutproces en een actieve rol, waarbij een bepaald debiet aan water moet worden ingelaten of geloosd.

2.3.3.2 Beperking waterverliezen

In bepaalde situaties (o.a. het ontworpen Twenthe-Mittellandkanaal) kan worden geëist dat de schutverliezen (omgerekend naar een langere periode dan één schutting) een bepaalde hoeveelheid niet overtreffen. De ontwerper staat dan voor de keuze het extra water terug te pompen naar het hogere pand (panden), voorzieningen te treffen aan de sluis, dan wel een combinatie toe te passen. Een keuze die wordt bepaald door investering- en exploitatiekosten.

Tot de voorzieningen aan de sluis kunnen behoren: het toepassen van deuren die de schutschijf (dit is volume water als product van lengte, breedte en verval sluis) zoveel mogelijk beperken (dus geen puntdeuren), van deelkolken, van tweelingsluizen, of van spaarbekkens. In de beheerssfeer kan worden gedacht aan het beperken van het aantal schuttingen (alleen schutten bij voldoende schepen). Bovendien kunnen eisen worden gesteld aan het beperken van lekverliezen ter plaatse van de aansluiting van deuren op hoofden. De mate van deze beperking dient economisch verantwoord te zijn.

2.3.3.3 Scheiding tussen zout- en zoetwater of tussen schoon en verontreinigd water

Bij schutsluizen gesitueerd nabij zee kunnen eisen worden gesteld om de zoutpenetratie op het binnengebied en de zoetwaterverliezen zoveel mogelijk te beperken. Deze eisen dienen weloverwogen gesteld te worden daar strenge eisen tot zeer hoge kosten kunnen leiden. Onderscheid kan worden gemaakt in beheersmaatregelen met het oog op de zout/zoetscheiding (voorbeeld minimaal aantal schuttingen), in systemen met geopende deur tijdens het uitwisselen van het zoute en zoete water (voorbeeld luchtbelenschermen) en in systemen met gesloten deur tijdens het uitwisselen (voorbeeld systeem Krammersluizen). Beheersmaatregelen zijn weinig kostbaar maar sorteren beperkt effect, systemen met gesloten deur tijdens het uitwisselen zijn duur maar geven een zeer goede scheiding, systemen met geopende deur tijdens het uitwisselen zitten daar tussenin. Zie ook hoofdstuk 21.

Bij schutsluizen op de scheiding van schoon en verontreinigd water wil de beheerder vaak voorkomen dat er teveel verontreinigd water in het schone water terechtkomt. Hierbij is niet direct sprake van een merkbaar dichtheidsverschil tussen het schone en verontreinigde water. Een voorbeeld hiervan is het Oranjesluizen-complex met verontreinigd water van het Buiten-IJ en schoon water van het IJsselmeer. Dat verontreinigd water toch in het schone water terechtkomt, heeft de volgende oorzaken. De schutschijf (volume water van lengte maal breedte maal verval over de sluis) komt bij ledigen op het benedenpand terecht. Verdere oorzaken zijn de menging van het water door de scheepsschroeven, de waterverplaatsing van de schepen in de kolk die vervangen wordt door verontreinigd water en door lekkage bij de deuren.

2.3.3.4 Waterlozen en -inlaten

Uit een oogpunt van waterhuishouding kan het vereist zijn dat door of langs de sluis water van het ene naar het andere pand wordt gebracht. De debieten en de mogelijke verdeling daarvan over de tijd, alsmede de eventuele aanwezigheid van een tweelingsluis en de plaatselijke situatie zullen bepalen of één van de volgende oplossingen mogelijk en/of financieel aantrekkelijk is:

- 1 *via de - eventueel op het lozen/inlaten aangepaste - vul- en ledigingssystemen,*
- 2 *via aparte riolen of open waterlopen naast de sluis.*

Door het spuien van water kunnen in de voorhavens stromingen ontstaan, die hinderlijk of gevaarlijk zijn voor de scheepvaart. In Lit. [2.1] worden aanbevelingen gedaan voor spuistromen via aparte riolen of waterlopen in de voorhavens van binnen- en recreatievaartsluizen. De aanbevelingen hebben betrekking op voor de scheepvaart toelaatbare stroomsnelheden, het eventueel geheel of gedeeltelijk stromingsdicht maken van de fuiken, de positionering van de opstelruimten ten opzichte van de lozings- en onttrekkingspunten etc.

In verband met de krachten op en de manoeuvreerbaarheid van schepen is er een uitgesproken voorkeur voor twee symmetrisch ten opzichte van de sluisas aangebrachte riolen boven een eenzijdig riool. Er zijn weliswaar verschillende voorbeelden van een eenzijdige oplossing, maar daar betreft het, behalve de riolen van de zeesluis bij Terneuzen, open waterlopen die voldoende ver van de voorhavens uitmonden. Ook hier gelden overigens de eisen van geringe hinder voor de scheepvaart. De vermelde toelaatbare stroomsnelheden zijn die, waarbij een uitgebreid onderzoek naar stroombeeld en manoeuvreergedrag achterwege kan blijven. In Lit. [2.1] wordt ingegaan op deze toelaatbare snelheidscomponenten afhankelijk van de plaats van onttrekking of lozing en de positie van de schepen. Hier wordt volstaan met de opmerking dat de toelaatbare stroomsnelheden klein zijn. De toelaatbare dwarssnelheidscomponent ligt in de orde van nul tot 0,30 m/s, afhankelijk van de positie van het schip in de voorhavens etc.

Soortgelijke informatie is niet beschikbaar voor zeevaartsluizen.

Voor een uitvoeriger behandeling van deze materie bij binnenvaartsluizen wordt verwezen naar Par. 5.3.4.

2.3.4 Functionele eisen betreffende de kruisende droge infrastructuur

2.3.4.1 Wegen

In ons dichtbebouwde land zullen bij de meeste sluisen kruisingen met de droge infrastructuur aanwezig zijn, zowel met wegen als met kabels en leidingen. Dit betekent dat zowel tijdens de bouw als in het gebruiksstadium daarmee rekening moet worden gehouden. Spoorwegkruisingen komen nauwelijks voor bij sluisen.

In het bouwstadium zijn vaak tijdelijke voorzieningen en maatregelen nodig, die zo min mogelijk afbreuk doen aan het normale gebruik van de infrastructuur. Algemene aanwijzingen zijn hiervoor niet te geven; de oplossingen hangen af van de lokale situatie en van de eisen van de beheerders van de droge infrastructuur.

De droge infrastructuur en de daarvoor nodige voorzieningen (bruggen etc.) zijn niet alleen bepalend voor het gebruiksstadium; hetzelfde geldt voor de situering van de sluis. Indien bijvoorbeeld een brug nabij het benedenhoofd is geprojecteerd (zie ook punt 3 hierna), kan het nodig zijn tijdens het ontwerp de sluis “dusdanig te verschuiven”, dat het benedenhoofd ter plaatse van de kruising van de vaarweg met de weg komt te liggen. Dit zal zeker het geval zijn bij spoorwegen en in mindere mate bij autosnelwegen. Bij lokale wegen, die veelal soepeler getraceerd kunnen worden (althans indien de bebouwing daar geen beperkingen aan oplegt) is het daarentegen eenvoudiger het wegalignment aan te passen aan de situering van de sluis dan omgekeerd. Uiteraard zullen de gezamenlijke kosten van de natte en de droge infrastructuur daarbij een rol spelen, alsmede de belangen van wegverkeer en scheepvaart. Een goed voorbeeld van de afweging van verschillende oplossingen voor wegkruisingen met schutsluizen vindt men in de projectnota voor de Krabbersgat sluis nabij Enkhuizen (Lit. [2.9]).

In het algemeen moet binnen economische grenzen worden gestreefd naar oplossingen waarbij de kruisende verkeersstromen (land en water) elkaar niet hinderen, dus oplossingen waarbij de verkeersstromen buiten elkaars profiel van vrije ruimte blijven. Voorts moet het uitzicht van het bedienend personeel op het sluisbedrijf niet of zo min mogelijk worden belemmerd. (Bij beweegbare bruggen moet ook het wegverkeer kunnen worden waargenomen.)

Oplossingen voor kruisende verkeersstromen zijn een tunnel, een vaste en een beweegbare brug. Hoewel hiermee het best wordt voldaan aan de gestelde eisen, is een wegtunnel tot nog toe niet toegepast onder een sluis omdat de kosten te hoog zijn. Dit betekent echter niet dat deze mogelijkheid zonder meer terzijde moet worden geschoven. In Lit. [2.9] komt een onderdoorgang onder een schutsluis (Naviduct) als meest aantrekkelijke oplossing naar voren. Hiervoor is dan ook gekozen. Het gaat echter om een zeer gecompliceerde verkeerssituatie (land en water).

Een vaste brug is een goede oplossing maar kan beperkingen aan het zicht opleggen door plaatskeuze van pijlers. Inpassing van een vaste brug is vaak niet mogelijk, onder meer door de vereiste doorvaarthoogte en de daarbij behorende toeritlengten. Bij kanalen met grote vervallen, zoals het Juliana- en het Twenthekanaal, is de inpassing echter geen probleem.

Bij een beweegbare brug is er wel sprake van onderlinge beïnvloeding van de verkeersstromen. In de punten 4 t/m 10 hierna staan aanbevelingen om die beïnvloeding te beperken.

Bij vernieuwing van een schutsluis komt het voor dat de sluisafmetingen vergroot worden waarbij de nieuwe hoofden buiten de oude sluis gebouwd worden om de stremming zoveel mogelijk te beperken. Als de brug weer over een hoofd (voorkeur benedenhoofd) gelegd wordt, moet de bestaande weg ook worden omgelegd. Vaak is dit niet mogelijk of alleen tegen veel kosten en inspanning. Bij de Zuid-Willemsvaart komt dit verscheidene malen voor.

Als een sluis verlengd wordt, kunnen het benedenhoofd en de brug hierover vaak gehandhaafd blijven om de weg niet te hoeven omleggen. Het gevolg is dat het bovenhoofd vernieuwd moet worden buiten de bestaande sluis. Het probleem kan zich dan voordoen dat het weghalen van het bestaande bovenhoofd, als dat voorzien is van woelkelders (Julianakanaal), veel inspanning kost.

De vereiste doorvaarthoogten voor vaste bruggen voor de binnenvaart vindt men in Lit. [2.25]. Zoals in Par. 2.4.1.1 wordt vermeld, worden deze bepaald ten opzichte van de waterstand die 1% van de tijd wordt overschreden. Voor zeevaart zijn er (nog) geen richtlijnen. Het dwarsprofiel c.a. van de kruisende weg moet worden verkregen van de betreffende wegbeheerder.

In Lit. [2.1] worden aanbevelingen gedaan voor bruggen over binnenvaartsluizen. Hieronder volgt een samenvatting daarvan.

1. Situering van een vaste brug boven de kolk heeft niet alleen het nadeel van een kleinere doorvaarthoogte bij het hoge peil en verlies aan nuttige kolk lengte, maar kan bovendien de veiligheid beïnvloeden wanneer bijvoorbeeld tankschepen onder de brug zijn afgemeerd.
2. Bij vaste bruggen mogen brug en pijlers het uitzicht op de voorhavens vanuit de bedieningsruimte niet belemmeren. Tussen pijlers en de kolkwand moet de afstand ten minste 1,5 m bedragen.
3. Bruggen moeten niet over de kolk of voorhavens worden gelegd, maar over het boven- of benedenhoofd buiten de sluisdeuren. In verband met de grotere doorvaarthoogte verdient ligging over het benedenhoofd veelal de voorkeur. Voor beweegbare bruggen over sluizen in tijgebieden is passage over het benedenhoofd niet zonder meer de beste oplossing en zal de situering worden bepaald door de plaatselijke omstandigheden. De brug moet zodanig worden gesitueerd dat vervanging van de sluisdeuren niet wordt bemoeilijkt.
4. De onderkant van beweegbare bruggen moet dusdanig hoog worden gelegd, dat de wachttijden voor weg- en scheepvaartverkeer aanvaardbaar zijn. Bij jachtensluizen waar veel motorboten passeren verdient het voorkeur de doorvaarthoogte dusdanig te kiezen dat motorboten onder de gesloten brug kunnen passeren.
5. De bewegingstijden van de brug moeten kort zijn (niet in Lit. [2.1] vermelde toevoeging: Dit is ook afhankelijk van de lengte van de overspanning. Als regel variëren de tijden tussen 30 en 120 s).
6. Bij grotere verkeersintensiteiten van land- en scheepvaartverkeer kan het gewenst zijn over beide hoofden een beweegbare brug te projecteren.
7. De punten 4 t/m 6 dienen op hun effectiviteit te worden onderzocht door middel van een kosten-effectiviteitsanalyse.
8. Bij geopende brug moet het val van de brug zich zover buiten de dagzijde van de kolkwand bevinden dat schepen het val niet kunnen beschadigen.
9. Bij geopende brug moet het zicht op de voorhaven vanuit de bedieningsruimte zo min mogelijk worden belemmerd.
10. Vormgeving en hoogte van de geleidewerken moeten zodanig zijn, dat de kans op beschadiging van het val zo klein mogelijk is.

Het bovenstaande heeft betrekking op sluizen voor de binnenvaart. Voor andere sluizen (o.a. voor zeeschepen) zullen de aanbevelingen kritisch moeten worden bekeken en aangepast aan de specifieke situatie.

2.3.4.2 Kabels en leidingen

In het algemeen wordt gestreefd naar integratie van de kruisende kabels en leidingen (de kleine infrastructuur) in de sluis en/of voorhavens voor zover dit geen onnodige risico's oplevert voor het sluisbedrijf.

Tijdens de bouw zullen bestaande kabels en leidingen indien noodzakelijk tijdelijk moeten worden verlegd of zullen andere voorzieningen nodig zijn om het functioneren niet of zo min mogelijk te onderbreken. Een en ander gebeurt op aanwijzing van de beheerders van de kleine infrastructuur. Vaak zullen deze beheerders optreden als opdrachtgevers voor de verleggingen of deze in eigen beheer doen uitvoeren. Teneinde kosten te besparen zal er naar gestreefd worden tijdelijke omleggingen etc. dusdanig te traceren, dat ingespeeld wordt op de definitieve situatie.

In de definitieve situatie zal de kruising zelf in het algemeen onder de bodem van de sluis of de voorhavens zijn gelegen.

Indien om bepaalde redenen aan een overbrugging moet worden gedacht, bijvoorbeeld bij later aan te brengen kabels en leidingen, kunnen de vereiste doorvaarthoogten voor binnenvaartsluizen worden ontleend aan Lit. [2.1] en [2.2]. Bepaalde kabels en leidingen van derden kunnen dan worden ondergebracht in, ruimer te maken, kabelschachten en -tunnels voor het sluisbedrijf. Tussen de kabelschachten kunnen in de sluisvloer extra doorvoerbuizen worden opgenomen voor deze kabels en leidingen. Dit is alleen mogelijk als het eigen bedrijf daardoor geen verhoogde risico's loopt of wordt gehinderd. Voor de onderlinge beïnvloeding van kabels en leidingen wordt verwezen naar het NSTT-KIVI-rapport "Integrale leidingen tunnels" (Lit. [2.10]).

Kabels en leidingen die een sluis en/of de voorhavens kruisen en de daarvoor te treffen of te maken voorzieningen, moeten voldoen aan de volgende voorwaarden:

1. De kabels en leidingen mogen geen onaanvaardbaar risico opleveren voor de sluis, het sluisbedrijf en de scheepvaart.
2. Wat onaanvaardbaar is moet worden aangetoond met een risicobeschouwing.
3. Gasleidingen worden niet opgenomen in een sluis.
4. De kabels en leidingen mogen niet beschadigd kunnen worden door de scheepvaart.
5. Waar geen visuele inspectie mogelijk is (en dat zal in het algemeen het geval zijn), moet op andere wijze de toestand van de kabels en leidingen kunnen worden vastgesteld, zeker in die gevallen waarin falen ernstige consequenties heeft.
6. Leidingen en kabels, waarvan falen ernstige consequenties heeft, moeten onmiddellijk kunnen worden afgesloten of spanningsvrij gemaakt.
7. Vervanging, uitbreiding, dan wel onderhoud, moeten kunnen geschieden zonder dat dit langdurige hinder oplevert voor de afwikkeling van de scheepvaart.

Verder moet aandacht worden besteed aan mogelijke hoogspanningskabels die de sluis of voorhavens kruisen.

2.4 Gebruikseisen

2.4.1 Peilen

2.4.1.1 Schutpeilen

Hoogte- en dieptematen voor het passeren van een sluis worden aangegeven ten opzichte van maatgevende waterstanden van het betreffende pand. Deze maatgevende (hoge en lage) waterstanden moeten zodanig worden gekozen, dat enerzijds de scheepvaart gedurende een groot deel van de tijd niet geconfronteerd wordt met een te kleine hoogte of -diepte, en dat anderzijds de kosten van de sluis economisch verantwoord zijn. Naast deze maatgevende waterstanden dienen bij een sluis ook maximale en minimale schutpeilen te worden vastgesteld in verband met de sluisdimensionering.

Bij het bepalen van de maatgevende waterstanden en de schutpeilen verdienen de volgende zaken de aandacht.

- **Situering van de sluis**
Met betrekking tot de keuze en situering van de sluis zijn er in hoofdzaak drie typen sluizen aan te geven. Het onderscheid kenmerkt zich door de variatie in waterstand en de consequenties dienvolgt voor de scheepvaart (duur en frequentie van de stremming). Het onderscheid betreft sluizen:
 - *In kanalen en tussen meren*
In het algemeen geringe variaties in waterstand en vrijwel nooit stremmingen;
 - *In rivieren (gestuwde)*
Vrij grote en onregelmatige variaties en stremmingen gedurende langere perioden bij extreme waterstanden;
 - *In getijdegebieden*
Vrij grote en regelmatige variaties en stremmingen van korte duur bij extreme waterstanden.
- **Toegankelijkheid**
Voor een economisch verantwoord ontwerp dienen de maatgevende waterstanden zo gekozen te zijn, dat de sluis door een geladen maatgevend schip met de toegestane diepgang en ongereduceerde kielspeling of door een ongeladen maatgevend schip met toegestane strijkhogte en ongereduceerde schrikhoogte, nog juist kan worden gepasseerd.
Bij het vaststellen van de maximum- en minimum-schutpeilen kan voor het passeren van de sluis worden uitgegaan van stringenter voorwaarden, zoals snelheids-, diepgang- en hoogtebeperkingen. Bij overschrijding c.q. overschrijding van deze peilen kan er theoretisch niet meer worden geschut en is de scheepvaart gestremd. In de praktijk kan hiervan worden afgeweken doordat bijvoorbeeld een ongeladen of een gedeeltelijk geladen maatgevend schip of een kleiner schip de sluis bij standen beneden minimum-schutpeil kan gebruiken. Algemene richtlijnen voor de schutpeilen zijn niet te geven; vaststelling ervan is een zaak van opdrachtgever en ontwerper.
- **Vlotheid en veiligheid van de verkeersafwikkeling**
Voor onderdelen en voorzieningen die bestemd zijn voor een vlotte en veilige verkeersafwikkeling (bijvoorbeeld aanleghoogten van remmingwerken, geleidewerken, bolders en haalkommen en dergelijke), kan worden uitgegaan van minder strenge voorwaarden ten aanzien van de maatgevende waterstanden, aangezien dergelijk onderdelen en voorzieningen anders zeer kostbaar zouden worden. Dit is met name het geval bij sluizen aan (gestuwde) rivieren waar vrij grote en onregelmatige waterstandvariaties kunnen optreden met incidenteel langdurige stremmingen.

De cvb (Lit. [2.1] en [2.2]) komt tot de in tabel 2.1 gegeven percentages voor de maatgevende waterstanden en schutpeilen.

sluizen in	kanalen, meren	rivieren	getijgebieden
maximum schutpeil	≤ 1 %	≤ 1 %	≤ 1 % ¹⁾
Toegankelijkheid:			
- hoge maatgevende waterstand	1 %	1 %	1 % ¹⁾
- lage maatgevende waterstand	1 %	1 %	1 % ²⁾
Vlotheid/veiligheid verkeersafwikkeling			
- hoge maatgevende waterstand	1 %	10 %	1 % ¹⁾
- lage maatgevende waterstand	1 %	10 %	1 % ²⁾
minimum schutpeil	≤ 1 %	≤ 1 %	≤ 1 % ²⁾

¹⁾ overschrijdingspercentages

²⁾ onderschrijdingspercentages

Tabel 2.1 Percentages over- en onderschrijding van maatgevende waterstanden.

Voor de gebruikseisen van scheepvaart-gerelateerde constructieonderdelen voor de binnenvaart geldt dan het volgende:

- de drempeldiepte van een sluis wordt bepaald ten opzichte van de waterstand die gedurende 1 % van de tijd wordt onderschreden;
- de doorvaarthoogte van hefdeuren en van een eventuele vaste brug over de sluis wordt bepaald ten opzichte van de waterstand die 1 % van de tijd wordt overschreden;
- voor de afmetingen en voorzieningen van geleidewerken, remmingwerken, meerpalen en de hoogte van het sluisplateau, gesitueerd aan de rivierzijde van een sluis, geldt een maatgevende waterstand die gedurende 10 % van de tijd wordt over- of onderschreden. Voor de kanaalzijde van de aan een rivier gelegen sluis, alsmede voor alle overige situeringen, geldt de 1 % waarde.

Voor sluizen met gecombineerd binnenvaart en recreatievaart en sluizen met alleen recreatievaart gelden andere kenmerken met betrekking tot de maatgevende waterstand. Het gaat om:

- **toegankelijkheid**
De hoge/lage maatgevende zomerwaterstand die in de periode mei t/m september gedurende 2 % van de tijd wordt over-/onderschreden aan de kanaal- c.q. getijzijde van de sluis;
- **vlotheid/veiligheid verkeersafwikkeling**
De hoge/lage maatgevende zomerwaterstand die in de periode mei t/m september gedurende 10 % van de tijd wordt over-/onderschreden aan de rivierzijde(n) van de sluis.

NB: Voor verdere details zij naar de CVB (Lit. [2.1] en [2.2] verwezen.

2.4.1.2 Ontwerppeilen

- **Maatgevend Hoogwater (MHW)**
De kering, dat wil zeggen ten minste één deur met het bijbehorende hoofd, wordt gedimensioneerd op MHW met de dan optredende golven zoals is aangegeven in Par. 4.5. Dit is de waterstand behorende bij de in de Wet op de Waterkering vastgestelde ontwerprequentie (norm). Voor de plaats waar de sluis is gelegen of geprojecteerd kan het MHW worden opgevraagd bij RWS-RIKZ (getijdewateren) en RIZA (binnenwateren).
Voor sluizen niet behorend tot waterkeringen, vallend onder de Wet op de Waterkering, moet het MHW worden vastgesteld door de desbetreffende dijk- of vaarwegbeheerder.
In verband met de vervaldrukken over de kering moet ook de laagste binnenwaterstand bekend zijn die gelijktijdig met het MHW kan optreden.
- **Sluitpeil hoogwaterdeur**
Dit peil, dat lager is dan MHW, is van belang voor sluizen die uitgerust zijn met slechts één deur(-stel) gedimensioneerd op MHW. Bij deze waterstand moet die deur worden gesloten. Bij het lagere signaleringspeil wordt de sluisbeheerder gewaarschuwd opdat tijdig maatregelen kunnen worden genomen voor sluiting.

- **Sluitpeil open sluis**

Bij dit peil moet tenminste één deur(-stel) van een open sluis worden gesloten en moet voor het passeren van schepen worden overgegaan op schutbedrijf (bij kleinere waterstandsverschillen geschiedt de passage zonder schutten).

2.4.2 Eventuele voorkeur scheiding scheepsoorten

Bij het gebruik van de opstel- en wachtruimte, fuik en kolk, kunnen specifieke eisen worden gesteld met betrekking tot het scheiden van scheepsoorten. Deze gebruikseisen vloeien onder meer voort uit veiligheidsoverwegingen, wettelijke bepalingen en manoeuvreerbaarheid.

2.4.2.1 Scheiding bij gebruik van opstelruimte, wachtruimte en kolk

Scheiding bij het gebruik van opstel- en wachtruimte, alsmede het gebruik van de kolk, kan worden belicht vanuit de functies schutten respectievelijk overnachten (binnenvaart):

- **Scheiding scheepsoorten tijdens het schutten**

- Bij het plaatsnemen van schepen op de opstelruimte en wachtruimte (binnenvaart en recreatievaart), alsmede bij het indelen in de kolk en/of het toedelen naar kolken (zeevaart, binnenvaart en recreatievaart), verdient het uit veiligheidsoverwegingen de voorkeur om zeevaart, binnenvaart en recreatievaart gescheiden te houden.

Bij de opstelruimte en wachtruimte kan dit plaatsvinden door opstelruimte en wachtruimte apart voor de binnenvaart en daarnaast een gecombineerde opstel-/wachtruimte apart voor de recreatievaart te realiseren.

Bij het schutten hebben aparte kolken voor zeevaart, binnenvaart en recreatievaart de voorkeur. Indien dit economisch niet verantwoord is, valt gecombineerd schutten te overwegen. Combinatie van binnenvaart met zeevaart respectievelijk met recreatievaart is acceptabel, mits de veiligheid gewaarborgd is; combinatie zeevaart met recreatievaart dient te worden vermeden. Bij combinatie van binnenvaart en recreatievaart kan een sluisoplossing worden gevonden, waarbij binnenvaart en recreatievaart in een bredere kolk elk aan één zijde, dan wel in een langere kolk met een zekere veiligheidsmarge (min. 5 m) achter elkaar worden geplaatst (binnenvaart voorin, recreatievaart achterin).

- Indien een redelijk aandeel binnenvaartschepen met gevaarlijke stoffen (3 categorieën kegelschepen) zich in de vloot bevinden, heeft een aparte wachtplaats met eigen voorzieningen voor deze schepen de voorkeur en gelden er specifieke afstanden tot niet-soortgenoten. Bij het indelen in de kolk gelden voor kegelschepen onderling (afhankelijk van aantal kegels) en tussen kegelschepen en niet-kegelschepen specifieke regels ten aanzien van aan te houden tussenafstanden (zie BPR m.b.t. schutten kegelschepen), Lit. [2.4]).

Voor het schutten van zeevaart met gevaarlijk stoffen gelden meestal aparte gebruiksregels, waarbij een categorie-indeling wordt aangehouden die zich onderscheidt naar lading, soort schip en het aanhouden van onderlinge afstanden tussen soortgenoten en andere schepen.

Het schutten van schepen met gevaarlijk stoffen verkleint de schutcapaciteit.

- **Scheiding scheepsoorten tijdens het overnachten**

De sinds januari 1995 van kracht zijnde "Vaartijdenwet" maakt voor binnenschepen een onderscheid naar exploitatievorm, te weten continuvaart, semi-continuvaart en dagvaart.

Laatstgenoemde twee vormen kunnen 's nachts overnachtingsruimte vragen in de voorhaven. Het verschil tussen beide exploitatievormen uit zich in de verschillen in verplichte rusttijden van bemanning en liguren van het schip. Vanwege het verschil in tijdstip van vertrek 's ochtends, dienen schepen van beide vormen op gescheiden locaties af te meren, teneinde onderlinge hinder tijdens vertrek te vermijden (Lit. [2.5]). Soortgenoten kunnen daarbij meer-breed afmeren, onder handhaving van de vereiste breedte voor opstel- en wachtruimte en veiligheidsstroken in de voorhaven (zie ook Par. 4.7). Uitgaande van de verplichte ligtijden voor beide exploitatievormen kunnen, bij lage sluisbelasting 's nachts en in principe afhankelijk van het aantal beschikbare kolken, kolken tijdens de (verplichte) liguren gesloten worden voor het creëren van een rustgebied voor de overnachtende schepen. De resterende schutcapaciteit is dan voor de continuvaart.

Binnenschepen van de semi-continuvaart, die gebruik maken van de tachograaf, kunnen hiermee het aantal vaaruren ten opzichte van het aantal vaaruren in de "Vaartijdenwet" tijdelijk vergroten, waardoor in principe de aankomsttijdstippen uniform over het etmaal verspreid komen te liggen. Voor deze gebruikersgroep dient een aparte, continu beschikbare, ligplaats aanwezig te zijn voor enkel-breed afmerende schepen, teneinde eerder vertrek van binnenliggende schepen te vermijden.

Voor berekening van de benodigde lengte aan overnachtingsruimte, alsmede de lay-out in de voorhaven, zie de hoofdstukken 4 en 5.

2.4.2.2 Scheiding bij het gebruik van de fuik

De scheiding bij gebruik van de fuik kan worden belicht vanuit de verschillen in manoeuvreerbaarheid en de voorkeur voor aparte kolken per onderscheiden scheepscategorie te weten zeevaart, binnenvaart en recreatievaart. Mechanische geleiding van de fuik tijdens het invaren (met name bij dwarswind) is maatgevend en bij langzame convergentie het meest effectief. De hieruit voortvloeiende vormgeving is echter strijdig met de manoeuvreerbaarheid van een leeg, zelfvarend, uitgaand schip (vooral bij dwarswind). Het uitvarende schip zal - indien het niet over een effectieve boegschroef beschikt of niet van sleepboten gebruik maakt - na passeren van het sluishoofd direct voldoende ruimte in de breedte wensen om slaags de sluis uit te kunnen komen. Bij het gebruik van de fuik wordt onderscheid gemaakt naar de drie soorten scheepvaart.

- **Fuik voor zeevaart**

De fuik dient zo kort mogelijk te zijn in verband met eventuele assistentie van sleepboten.

Indicaties: IJmuiden Noordersluis fuiklengte ca. 25 m en Terneuzen Westsluis lengte ca. 40 m. Ook komen sluizen voor zonder fuikconstructie (Zandvliet-, Berendrecht, Boudewijnsluis, België); het sluishoofd is daar beschermd met grote rubber rollen.

- **Fuik voor binnenvaart**

De belijning van de fuik (of geleidewerk) is rechtstandig, respectievelijk parabolisch en sluit geknikt respectievelijk vloeiend aan op een korte rechtstand in het verlengde van de kolkwand. De geknikte vorm is vooral bedoeld voor binnenvaartschepen met conventionele boegvormen. De parabolische vorm verdient de voorkeur wanneer de binnenvaartvloot relatief veel duwvaart of schepen met duwstevens bevat. De fuikhoek bedraagt ca. 1:4 à 1:6. De fuiklengte is afhankelijk van de fuikhoek en de kolkbreedte (CEMT klasse), zie ook de hoofdstukken 4 en 5 en voor details de cvb, (Lit. [2.1] en [2.2]).

Gelet op het functioneren van het geleidewerk, verdient een uitvoering in gordingen de voorkeur. Als hoogte van de bovenste gording, gemeten ten opzichte van de hoge maatgevende waterstand, wordt ten minste aangehouden 1,5 m voor CEMT klasse I, 2 m voor de klassen II, IIa en III en 2,5 m voor klasse IV. Bij klasse V wordt de hoogte afgestemd op die van het sluishoofd. In aansluiting op enerzijds het remmingwerk (of damwand) en anderzijds het sluishoofd en de kolkwand, dient de hoogte van het geleidewerk niet lager te zijn en geleidelijk te verlopen. Dit teneinde het te ver oversteken van de boeg van de schepen en bijgevolg eventuele schade aan nabij gelegen onderdelen te voorkomen. De afstand tussen de onderste gording en de lage maatgevende waterstand mag niet meer dan 0,2 m zijn, en 0,5 m tot het minimum schutpeil. Als afstand tussen de gordingen kan voor conventionele boegvormen maximaal 0,5 m à 0,6 m worden aangehouden; ingeval van relatief veel duwvaart of schepen met duwstevens, dient deze tussenafstand niet meer dan 0,4 m te bedragen.

- **Fuik voor recreatievaart**

De fuikhoek beloopt ca. 1 : 3. De fuiklengte is afhankelijk van de fuikhoek en de kolkbreedte, zie de hoofdstukken 4 en 5 en voor details de cvb (Lit. [2.1] en [2.2]).

Bij gecombineerd gebruik van de kolk door verschillende scheepsoorten, is de fuikvorm behorend bij de soort met de grootste schepen maatgevend.

2.4.3 Afmeervoorzieningen in kolk en voorhaven

2.4.3.1 Kolk

Bolders, haalkommen, haalbuizen en haalpenen zijn bevestigingsmiddelen waaraan de schepen zich kunnen vastmaken tijdens het nivelleren.

Vormgeving, grootte en plaatsing van het vaste dan wel drijvende bevestigingsmiddel is afhankelijk van de scheepsgrootte en de kwetsbaarheid van het scheepstype. Tevens moet tijdens het vastmaken en losmaken een goede geleiding aanwezig zijn ter voorkoming van vastlopen en tijdens het nivelleren moet de hoek tussen tros en kolkwand niet te groot zijn ter voorkoming van losraken.

Maatgevende waterstanden gelden volgens tabel 2.1 onder 'vlotheid/veiligheid verkeersafwikkeling'.

Plaatsing bolders en dergelijke

De onderlinge verticale en horizontale afstanden (symmetrisch aan beide sluiszijden) dienen afgestemd te zijn op het kleinst maatgevende schip. De hoogste respectievelijk laagste bolder/haalkom is afgestemd op de hoge respectievelijk lage maatgevende waterstand. Op het plateau worden tevens bolders geplaatst.

Bolders voor de zeevaart worden in het algemeen alleen op het sluisplateau geplaatst. Bij de zeevaart is de grote verscheidenheid in scheepsgroottes de bepalende factor voor de optimale onderlinge afstanden tussen de bolders. Ter indicatie kan een tussenafstand van 25 m gelden. De afstand van bolder tot dagzijde sluis bedraagt ca. 3 m.

Bij de *binnenvaart* bedraagt de horizontale afstand tussen de bolders ca. 15 m, de eerste bolder komt zo dicht mogelijk bij de stopstreep en tussen de eerste en tweede bolder bij het sluishoofd zit een afstand van ca. 10 m in verband met het vlot kunnen vastmaken van het voorste dan wel het achterste schip. De verticale afstand bedraagt ca. 1,5 m, waarbij de onderste haalkom zich ca. 1,50 m boven de lage maatgevende waterstand bevindt (afstand tot minimum schutpeil is maximaal 1,75 m) en de bovenste zich zo dicht mogelijk onder de sluisrand bevindt.

Voor lege klasse V schepen en duwbakken (diepgang ca. 3,5 m respectievelijk ca. 4 m) aandacht besteden aan vorm (kop) en belasting (trekrichting) bij bolders op het sluisplateau, aangezien bij de hoge waterstand de afstand tussen dek en plateau zo groot wordt dat de steil lopende tros van de bolder kan afglijpen.

Voor *recreatievaart* komen de haalpen(-rijen) op horizontale afstanden van 5 à 6 m, met de eerste rij dicht bij de stopstreep. De verticale afstand bedraagt ca. 1,25 m, waarbij de onderste pen zich ca. 1,25 m boven de lage maatgevende zomerwaterstand bevindt (afstand tot min. schutpeil is maximaal 1,50 m) en de bovenste pen is zo hoog mogelijk aangebracht.

Voor het gebruik bij *gecombineerde binnen- en recreatievaart* wordt verwezen naar cvb (Lit. [2.1]).

Vaste/drijvende bolders

Bij de *binnenvaart* worden drijvende bolders toegepast bij een verval groter dan 6 m en/of een daal-/stijgsnelheid groter dan volgens cvb 2 m/min. In de praktijk is een snelheid van 1 m/min realistischer.

Qua uitvoering zijn in het algemeen twee vormen gangbaar, te weten de hoge en de lage bolder apart op een drijver geplaatst ten behoeve van ongeladen respectievelijk geladen schepen, of de bolder voor beide beladingstoestanden gecombineerd op een drijver geplaatst.

In het eerste geval ligt voor geladen schepen de lage bolder op ca. 1,5 m boven de waterspiegel. Voor ongeladen schepen is de ligging van de lage bolder 2,5 m (klasse I), 3 m (II, IIa, III) en 3,5 m (IV). Voor de onderlinge afstand geldt ca. 15 m, waarbij de hoge en lage bolder om en om worden geplaatst en de afstand bij het sluishoofd maximaal 5 m bedraagt. De hoge bolder dient bij hoge waterstanden boven het plateau uit te steken. Indien dit niet mogelijk is, op het plateau aangeven welke de hoge en de lage bolder is, teneinde vergissingen bij het dalen te voorkomen.

Bij een vlootsamenstelling met klasse V schepen en duwbakken dient de hoogte van de hoge bolder een compromis te zijn tussen de gewenste hoogte voor klasse V (4,5 m) en de hoogte voor de kleinere klassen, echter niet lager dan 3,5 m.

Wordt voor de gecombineerde drijver gekozen dan bedraagt de hoogte boven de waterspiegel 2 m (CEMT I,II) en 2,5 m (tot CEMT II, IV).

Bij de *recreatievaart* en bij een verval groter dan 4 m en een stijg-/daalsnelheid groter dan 1 m/min, worden in plaats van haalpenen een verticale haalbuis of drijvende bolders met horizontale afstanden van

5 à 6 m toegepast.

Voor het *gecombineerd gebruik van binnenvaart en recreatievaart* wordt verwezen naar CVB (Lit. [2.1]).

Grootte van bolders en andere bevestigingsmiddelen

Voor de beroepsvaart worden bolders en haalkommen toegepast; voor recreatievaart haalpennen en haalbuizen. Voor zeevaart worden de bolders gedimensioneerd op 1000 kN, Voor CEMT klasse I en II worden de bevestigingsmiddelen gedimensioneerd op maximaal 100 kN en voor klasse III en IV op 150 kN. Voor klasse Va,b wordt momenteel 200 kN aangehouden en voor klasse VI 300 kN. De haalpennen voor de recreatievaart dienen 40 kN op te kunnen nemen.

2.4.3.2 Voorhavens

In de voorhaven zijn afmeervoorzieningen op de opstel- en wachtruimte denkbaar in de vorm van meerpalen, meerstoelen, vaste of drijvende remmingwerken en of in de vorm van kade- of damwandconstructies, met daarop bevestigd bolders of haalkommen. Hoogten van deze voorzieningen (bovenste bolder of gording) zijn aangegeven ten opzichte van de hoge maatgevende waterstand (tabel 2.1), onder voorbehoud dat in de voorhaven waar het maximum schutpeil kan optreden, de hoogte ten opzichte van dat peil minstens 1 m bedraagt.

Voor constructies met *gordingen* zal de afstand tussen de onderste gording en de lage maatgevende waterstand, niet meer dan 0,2 m bedragen, en 0,5 m tot het minimum schutpeil. De verticale tussenafstand is maximaal 0,5 à 0,6 m om te diep insteken van de schepen te voorkomen.

De hoogte van de onderste *bolders en haalkommen* op alle genoemde constructies bedraagt 1 à 1,5 m ten opzichte van de lage maatgevende waterstand (tabel 2.1) en 1,75 m tot het minimum schutpeil. Als verticale afstand tussen de bolders / haalkommen wordt ca. 1,5 m aangehouden.

Meerpalen, meerstoelen

Deze afmeervoorziening is voor de binnenvaart bedoeld. De hoogte van de bovenste bolder ten opzichte van de hoge maatgevende waterstand bedraagt 2,5 m voor CEMT klasse I, 3 m voor klasse II, IIa en III en 3,5 m voor klasse IV.

De horizontale afstand tussen de palen (tevens afstand tussen de bolders) voor de klassen I t/m IV bedraagt h.o.h. ca. 22 m. Daarbij dient de afstand tot de voorste c.q. laatste paal de halve afstand (ca. 11 m) te bedragen (met de voorste paal op ca. 10 m van het stopbord).

Vrijstaand remmingwerk

Een dergelijk remmingwerk wordt gevormd door horizontale liggers of gordingen, die tijdens het afmeren als doorlopende geleiding functioneren. Dit raamwerk van gordingen kan als vast of drijvend remmingwerk zijn uitgevoerd. Een vast remmingwerk vindt zijn toepassing bij een beperkte variatie in de waterstand, zoals op kanalen. Uitvoering als drijvend remmingwerk is aan te bevelen voor de rivierzijde of getijzijde van een sluis, waar de variatie in waterstand vrij groot kan zijn.

In aansluiting op de fuik (en de kolkwand), dient de hoogte van de bovenste gording geleidelijk te verlopen.

Voor horizontale afstanden tussen de bolders op het remmingwerk kan 15 à 17 m worden aangehouden, met de voorste bolder(s) op 10 m van het stopbord.

Vast remmingwerk

De hoogte van de bovenste gording bedraagt ten opzichte van de hoge maatgevende waterstand 1,5 m voor CEMT klasse I, 2 m voor klasse II, IIa en III en 2,5 m voor klasse IV.

Drijvend remmingwerk

De hoogte van de bovenste gording bij een drijvend remmingwerk is bij normaal gebruik onafhankelijk van de waterstand. Voor vaarwegen t/m klasse V wordt een waarde van 2 m als schorthoogte aanbevolen (Lit. [2.22]). Hierbij is uitgegaan van een voldoende vlotte en veilige verkeersafwikkeling en voldoende gebruikerscomfort.

Kademuur of damwand

Voor de (maaienveld)hoogte van een kade of damwandconstructie ten opzichte van de hoge maatgeven-

de waterstand kunnen aangehouden worden 1,5 m voor CEMT klasse I, II en 2 m voor klasse IIa, III en IV. Deze waarden zijn lager dan bij een remmingwerk, vanwege het geringere bezwaar van oversteken van de schepen.

Als horizontale afstanden tussen de bolders op het remmingwerk kan 15 à 17 m worden aangehouden, met de voorste bolder(s) op 10 m van het stopbord.

2.4.3.3 Fuik

Gelet op de functie en de situering van de fuik is het in principe niet de bedoeling dat schepen tijdens het schutten aan de fuikconstructie gaan afmeren. Voor het uitvoeren van herstelwerkzaamheden aan de sluis, de fuikconstructie of voor het vervangen van een sluisdeur, moeten echter wel afmeervoorzieningen voor werkvaartuigen worden aangebracht. Voor detaillering van verticale en horizontale plaatsing van bolders en haalkommen in deze fuikconstructie wordt verwezen naar Lit. [2.1].

2.4.4 Bedieningstijden (= bedrijfstijden)

De CVB gaat uit van zogenaamde leidraadregimes voor de beroepsvaart, Lit. [2.6]. Deze gewenste bedieningstijden zijn gebaseerd op een economische afweging waarin zowel de kosten van het langer wachten van schepen als de kosten van langere bedieningstijden zijn meegenomen. De regimes geven, afhankelijk van de toegestane CEMT-klasse en het vervoerde tonnage over de vaarweg, aan op welke tijden en hoe lang de bediening op een vaarweg zou moeten zijn (tabel 2.2).

regime	passerend laadvermogen (10 ⁶) ton/jaar	minimum voor CEMT- klasse (indicatief)	ma	di t/m vr	za	zo	uren/week
A	> 35	VI (hoofdtransportassen)	24	24	24	24	168
B	25 - 35	VI	18	24	20	16	150
C	15 - 25	Vb (tweebaksduwvaart)	18	24	20	12	146
D	5 - 15	Va (motorschip)	16	16	12	8 ^{*)}	92 à 100
E	2 - 5	IV	16	16	10	0	90
F	0,5 - 2	IIa + III	12	12	0	0	60
G	< 0,5	I + II	10 à 12	10 à 12	0	0	50 à 60

*) alleen bedienen op vaarwegen met een doorgaand karakter

Opm.: Bij het volgen van de tabel is het passerend laadvermogen het hoofdcriterium; de CEMT-klasse geldt als tweede ingang.

Tabel 2.2 Leidraad bedieningsregimes beroepsvaart (uren/dag)

De leidraad geeft de beheerder enige vrijheid om afhankelijk van de omstandigheden en/of mogelijkheden te komen tot een aanpassing van bedieningstijden. In de geest van de leidraad dient de beheerder wel zoveel mogelijk de uniformiteit van de bedieningstijden op de route na te streven. Op vaarwegen met veel recreatievaart leiden de bedieningstijden waarschijnlijk tot een ruimere bediening. Voor bedieningstijden op vaarwegen met alleen recreatievaart wordt verwezen naar de BRTN (Lit. [2.7]).

2.4.5 Nivelleertijden

De keuze van de nivelleertijd is een economische, waarbij een afweging moet worden gemaakt tussen de belangen van de scheepvaart, die gebaat is bij een korte tijd, en de investeringen in het vul- en ledigingssysteem, waarbij geldt dat een korte tijd kan leiden tot een duur systeem. Richtlijnen zijn er niet, wel is er uitgebreide praktijkroutine, die nader is aangegeven in Par. 6.2.2. Kort samengevat zijn in Nederland de volgende nivelleertijden gebruikelijk:

- 8 tot 10 minuten voor binnenvaartsluizen en kleine zeesluizen met deuropeningen en vervallen van 2 tot 6 m. Voor extra lange sluizen of grotere vervallen kan dit oplopen tot 12 minuten; kleinere vervallen vergen minder dan 8 minuten. Bij omloopriolen met woelkelder (vervallen tussen 6 en 12 m), bedraagt de vultijd niet meer dan 10 minuten;
- 11 tot 15 minuten voor grote zeesluizen met vervallen tussen 1,5 en 5 m.

2.4.6 Bedrijfsvoering

2.4.6.1 Procesbeschrijvingen

De bedrijfsvoering van een sluiscomplex kan worden gezien als een reeks beslissingen (schip toelaten, deuren sluiten etc.) die door middel van bediening (Par. 2.4.7) tot uitvoering moet worden gebracht. De besturing is de fysieke infrastructuur van installaties en bewegingswerken, waarmee de bedieningshandelingen worden gerealiseerd. Het beheer dient om de vereiste conditie van het sluiscomplex in stand te houden. Zie ook hoofdstuk 16 "Besturing en bediening".

Welke beslissingen moeten worden genomen hangt af van de aard van de sluis. Voor elke sluis moeten procesbeschrijvingen worden opgesteld. Daarbij worden onderscheiden:

- **Normaal schutproces**
Het normale schutproces bestaat uit twee onderdelen. Het eerste betreft het realiseren van de doorgang voor de schepen: nivelleren en openen en sluiten deuren. Het tweede omvat het sturen of begeleiden van schepen (toedelen naar kolken, dirigeren naar een bepaalde afmeerplaats etc.), zodanig dat de passage in de pas loopt met de doorgang. Een bijkomend proces kan het openen en sluiten van bruggen met inbegrip van de daarvoor benodigde sturing of begeleiding van het landverkeer zijn. Dit proces dient afgestemd te zijn op de doorgang van de scheepvaart.
- **Stremmingen**
Stremmingen veroorzaakt door hoog of laag water buiten het schutbedrijf, storingen van installaties, aanvaringen en calamiteiten, te hoge windsnelheden, te slecht zicht en onderhoud.
- **Hoogwaterkering**
Het sluiten en later openen van de hoogwaterkering en de daarvoor benodigde maatregelen voor de scheepvaart. De belangen van de hoogwaterkering dienen te prevaleren boven die van de scheepvaart.
- **Inlaten/lozen**
Het eventueel inlaten/lozen van water met (mogelijke) debietbeperkingen om hinder voor de scheepvaart binnen aanvaardbare grenzen te houden.
- **Zout/zoetwater of verontreinigd/schoon water**
Het beperken van de zout-/zoetuitwisseling (aanzetten/uitschakelen luchtbellenschermen etc.) of het tegengaan van vermengen van verontreinigd water in schoon water.

De vijf procesbeschrijvingen dienen een onderling gerelateerd geheel te vormen. Een geheel dat ten grondslag ligt aan de bediening en de besturing van het sluiscomplex. Een voorbeeld hiervan is te vinden in het Programma van Eisen, Renovatie Zuider- en Kleine Sluis (Lit. [2.13]), waarbij ook de bijlagen 4 en 5 aandacht verdienen.

2.4.6.2 Informatie voor de bedrijfsvoering

Om te kunnen bedienen en besturen is informatie nodig. Welke dat is, hangt af van de resultaten van de in de voorgaande paragraaf genoemde procesbeschrijvingen.

De informatie kan van buitenaf komen met als voorbeelden: te verwachten scheepsaanbod, hoogwaterwaarschuwingen, overschrijdingen van de rivierafvoeren waarbij de stuwen gestreken worden. Parallel daarmee, maar ook aanvullend daarop, is informatie nodig die wordt verkregen in en nabij de sluis. Vastgesteld moet worden welke parameters daarvan geautomatiseerd moeten worden opgenomen.

Voorbeelden van noodzakelijke informatie in en nabij de sluis zijn:

- scheepvaartaanbod;
- zichtinformatie;
- waterstanden in kolk en voorhavens;

- posities van deuren, schuiven en ligging beweegbare bruggen;
- stroomsnelheden;
- functioneringsmeldingen van energievoorziening, installaties en signalering.

2.4.6.3 Procedures en voorzieningen voor niet-gewenste bedrijfssituaties

Stroomuitval, storingen, aanvaringen, te lage/te hoge waterstanden, calamiteiten etc., zijn oorzaken die kunnen leiden tot aantasting dan wel blokkering of stremming van de belangrijkste functies van de sluis: schutten en waterkeren. Voor deze niet-gewenste bedrijfssituaties dienen procedures en voorzieningen aanwezig te zijn.

- **Energievoorziening**

Voor vitale installatieonderdelen is een noodstroomvoorziening nodig, die in geval van storing binnen enkele seconden automatisch de energievoorziening kan overnemen in geval van storing. Een no-break voorziening is nodig voor installatie-onderdelen waarbij gegevensverlies kan optreden bij spanningsuitval. Tevens dient er een voorziening voor noodverlichting aanwezig te zijn.

- **Nivelleren**

Voor het geval dat een schip tijdens het nivelleren in de trossen dreigt te gaan hangen, dienen de schuiven van het vul- of ledigingssysteem zo snel mogelijk te kunnen worden gesloten, zonder dat dit aanleiding geeft tot ongewenste translatiegolven. De daartoe benodigde voorzieningen moeten worden aangebracht bij sluizen met vervallen groter dan 1 m.

- **Aanvaringen**

Vitale sluisonderdelen zoals sluisdeuren, die bij een aanvaring niet meer kunnen functioneren, moeten op eenvoudige wijze kunnen worden vervangen door reserve-onderdelen.

Ter voorkoming van aanvaringen van sluisdeuren kan op de deur t.p.v. de sluisas aan de kolkzijde een verticale witte band (ca. 0,30 m breedte) ten behoeve van het afstand schatten tussen schip en gesloten deur worden geleverd en/of een beveiligingsconstructie worden aangebracht. In bijzondere gevallen kunnen beschermingsconstructies van de deuren tegen aanvaring worden overwogen.

Bij sluizen waar een stringente diepgangsbepalking moet worden bewaakt, kan een akoestische dieptemeter op de bodem van de voorhaven op voldoende afstand van de deur worden aangebracht.

- **Te lage/te hoge waterstanden en inspecties**

Wanneer een te hoge of te lage waterstand wordt verwacht kan via de waterstandsregistratie een waarschuwingsfase worden ingelast die zorgt voor tijdige berichtgeving aan de scheepvaart. In de preventieve sfeer dienen regelmatig inspecties te worden uitgevoerd.

- **Ijsbezwaar**

Afhankelijk van het economisch belang van de vaarweg dienen maatregelen getroffen te worden tegen ijsbezwaar bij deuren. Het toepassen van luchtbellenschermen onderaan de wanden of deuren en in de deuren, het onder water injecteren van grote hoeveelheden lucht in de deuren (kasblaasinstallatie) of speciale wandverwarmingen rondom de waterlijn en bij de afdichtingen op de deur, zijn effectieve oplossingen. Zie voor literatuur de nota "Ijsbestrijding Kunstwerken" (Lit. [2.11]) en voor verdere inlichtingen het Centraal Punt Ijsbestrijding van de Bouwdienst Rijkswaterstaat.

2.4.7 Bediening

2.4.7.1 Situering bedieningsgebouw

Bij nieuwbouw voor de beroepsvaart wordt bij voorkeur centrale bediening toegepast. Bij centrale bediening wordt het gebouw voor de bedieningsruimte zodanig gesitueerd, dat enerzijds het zicht op de sluis en voorhavens bij voorkomende waterstanden optimaal is en dat anderzijds beschadiging door de

scheepvaart niet mogelijk is. Eventuele 'dode' hoeken dienen met camera's te worden aangevuld. Indien mogelijk wordt de bedieningsruimte voor een brug gecombineerd met die van de sluis. De bedieningsruimte voor de brug bij voorkeur plaatsen aan andere zijde van de kolk dan die waar het draaipunt van het val is gelegen. Vanuit de bedieningsruimte voor de brug dient goed uitzicht aanwezig te zijn op de brug en op het verkeer dat de brug nadert (al dan niet met hulpmiddelen zoals camera's). Voor de inrichting van bedieningsgebouwen, zie Lit. [2.1].

2.4.7.2 Lokale bedieningsvoorzieningen

Bediening per sluishoofd komt nog voor bij bestaande, kleinere sluizencomplexen en bij nieuwe recreatiesluizen. Ook bij nieuwe sluizen voor de beroepsvaart kunnen lokale bedieningsvoorzieningen worden overwogen, maar dan met het oog op onderhouds- en calamiteitsituaties, als aanvulling op de centrale bediening.

2.4.7.3 Communicatiemiddelen

Elke sluis dient uitgerust te zijn met een marifoon voor de communicatie tussen bedienend personeel en scheepvaart. Ingeval van centrale bediening kunnen praatpalen op de opstel- en wachtruimte en een talk-back systeem zorgen voor de communicatie met de wachtende schepen. Een omroepinstallatie kan worden overwogen, een en ander afhankelijk van de sluisgrootte, scheepvaartintensiteit en aandeel aan recreatievaart. Uit veiligheidsoverwegingen is het plaatsen van een akoestische installatie voor het aangeven van het begintijdstip van nivelleren raadzaam. Uiteraard zijn ook telefoon/telefax/e-mail op een sluis aanwezig. Zie ook Par. 18.4.4.

2.4.7.4 Keuze (gedeeltelijk) geautomatiseerde- en zelfbediening

Teneinde enerzijds de bedieningskosten (onderhoud en exploitatie) te beperken en anderzijds de vlotheid en veiligheid van de verkeersafwikkeling te handhaven c.q. te verbeteren, verdient het aanbeveling om (delen van) het bedieningsproces, daar waar mogelijk en efficiënt, te automatiseren. Hierbij dient te worden gestreefd naar uniformiteit in de bedieningswijze. Voor richtlijnen voor zelf- en geautomatiseerde sluisbediening wordt verwezen naar de CVB (Lit. [2.1]).

2.4.7.5 Afstandsbediening van sluizen

Afstandsbediening komt in Nederland slechts in enkele gevallen voor, bijvoorbeeld voor recreatievaart.

2.4.8 Verlichting, signalering en bebording

2.4.8.1 Verlichting (zie voor details Lit. [2.1])

's Nachts dienen schippers en bedienend personeel rekening te houden met een afname van het comfort tijdens het schutten. Bij een afnemend vermogen tot waarneming en oriëntatie is extra inspanning vereist. Deze moet beperkt blijven teneinde een afname van de veiligheid te voorkomen. Daartoe is een doelmatige en economisch verantwoorde verlichting van het sluiscomplex noodzakelijk.

De verlichting dient afgestemd te zijn op de steeds vaker toegepaste centrale bediening bij sluizen en moet gericht zijn op plaatsen waar acties (manoeuvreren, vast- en losmaken, aan land gaan) worden uitgevoerd. De locaties waar de aandacht van de individuele schipper naar uitgaat, zijn bijvoorbeeld de vrije ruimte, opstel- en wachtruimte, kolkingang, kolk, sluisterrein, kolkuitgang en het uitloopegebied naar de onverlichte vaarweg. De aandacht van het bedienend personeel zal meer in het bijzonder uitgaan naar de schepen op de wacht- en opstelruimte, het invaren van de schepen, de kolk, de deuren, het sluisterrein en het uitvaren van de schepen.

Uitgaande van de noodzaak van verlichting van sluis en voorhavens, is er een aantal algemene minimumvoorwaarden te stellen waaraan de verlichting dient te voldoen en die voor het ontwerp in het verlichtingsplan kunnen worden opgenomen, zoals:

- het sluiscomplex moet voor de oriëntatie vanaf het water overzichtelijk overkomen;
- de verlichting moet voldoende gelijkmatig zijn;
- tijdens het in- en uitvaren moet verblinding, die vaak wordt veroorzaakt door overmatige aanstraling van sluisonderdelen in verband met aanwezige camera's, worden voorkomen;
- in de bedieningsruimte dient de verlichting aan de buitenomgeving te worden aangepast en moeten op tv-vastgelegde beelden zodanig contrastrijk zijn dat het sluispersoneel voldoende informatie krijgt;
- uniformiteit in het verlichtingsplan voor de op te stellen lichtmasten, lichtpunthoogte en lichtkleur is gewenst.

In Lit. [2.1] worden in het verlengde van deze voorwaarden nog een aantal specifieke aanbevelingen gedaan die voor het ontwerp van belang zijn.

- **Vereist lichtniveau**

Voor de gemiddelde waarde van de verlichtingssterkte op de horizontale vlakken van de bovengenoemde sluisonderdelen wordt 10 lux aangehouden. Op verticale vlakken die door de veelal loodrechte kijkrichting opvallender zijn, kan van een lagere waarde van 3,5 lux worden uitgegaan. Bij een aantal kritische onderdelen van de sluis is (zowel voor schipper als sluismeester) een groter contrast gewenst en te bereiken door de vlakken waar het licht op moet vallen sterker te verlichten of van een witte markering te voorzien. Dit laatste heeft de voorkeur. Bij de kritische sluisonderdelen zoals deuren en fuiken, dient de verticale verlichtingssterkte hoger te zijn: 7 lux. Op de kolk en opstelruimte waar nauwkeurig waarnemen mogelijk moet zijn, gelden de eerder genoemde waarden, horizontaal 10 lux respectievelijk verticaal 3,5 lux. Op de wachtplaats en vrije ruimte waar de verlichting vooral oriënterend is, kan met een verlichtingssterkte horizontaal van 5 lux respectievelijk verticaal van 3,5 lux worden volstaan.

- **Omgevingsverlichting en geleiding**

Misleidende omgevingsverlichting kan de schipper een verkeerd beeld geven over het verloop van het vaarwater of de toegang tot de sluis kolk. Dit kan worden vermeden door de vaarweg of het sluiscomplex over voldoende lengte te verlichten of de omgevingsverlichting op het complex aan te passen. Voor de visuele geleiding dient bij overgangen het verschil in de verlichtingssterkte niet meer dan een factor 2 te bedragen.

- **Gelijkmatigheid**

Voor de gelijkmatigheid (E) van de verlichting dient zowel voor verticale als horizontale vlakken een minimale waarde van $E_{\min}/E_{\max} = 0,3$ te worden aangehouden.

- **Verblinding**

Onveilige situaties als gevolg van verblinding dienen te worden vermeden. Hierbij is de juiste combinatie van gekozen armatuur, lamp en opstellingswijze van belang.

- **Kleurherkenning en lampsoort**

De kleur van het licht is een van de factoren bij het herkennen van bebording en beseining. Zowel wit als geel licht kan hiervoor worden gebruikt.

Bij de lampkeuze van de verlichting komen zowel hoge-druk en lage-druk natrium lampen als energiezuinige lampen in aanmerking. Bij toepassing van lage-druk (monochromatisch) natriumlicht is kleurherkenning niet mogelijk. In dat geval is het apart verlichten van verkeersborden aan te bevelen.

2.4.8.2 Markering

Witte markering is een goed en goedkoop hulpmiddel om bij duisternis met weinig licht voor voldoende contrast te zorgen. Het markeren van bijvoorbeeld verticale vlakken, zoals remmingwerken en geleidewerken, ter ondersteuning van de visuele geleiding van de scheepvaart, werkt doeltreffend.

2.4.8.3 Signalering

Signalering dient te worden uitgevoerd conform de bepalingen van het Binnenvaart Politie Reglement (BPR) en het Rijnvaart Politie Reglement (RPR), (Lit. [2.4]). Seinbeelden en sluiskeuzelichten dienen onder andere in verband met kleurherkenning aangepast te zijn aan de terreinverlichting van de sluis; ze moeten voldoende attentiewaarde hebben.

2.4.8.4 Bebording

Bebording dient te worden uitgevoerd conform de bepalingen van het BPR en RPR, (Lit. [2.4]). De kleurherkenning kan door de toegepaste terreinverlichting (sterk) gereduceerd zijn. Hieraan dient de nodige aandacht te worden besteed door aanpassing van de verlichting dan wel aparte bordverlichting.

2.4.8.5 Verlichtingsplan

De gebruikseisen voor de verlichting dienen te worden verwerkt in een verlichtingsontwerpplan. Daarbij zijn de kolkdiepte (afstand tussen lage maatgevende waterstand en sluisplateau) en kolkbreedte van groot belang. In Lit. [2.1] worden voor een aantal categorieën van kolkbreedten (5-13 m, 13-20 m, 20-24 m, groter dan 24 m; kolkdiepte ca. 5 m), voorbeelden gegeven van resulterende verlichtingskenmerken (zoals verlichtingssterkte en gelijkmatigheid), uitgaande van de relatie tussen sluisontwerp en ingegeven kenmerken van de verlichtingsinstallatie (zoals opstelling en inrichting van de verlichting).

2.4.9 Energievoorziening

In principe wordt de stroom betrokken van het openbaar net. In overleg met het lokale energiebedrijf moet worden nagegaan waar dit mogelijk is en of de aansluiting voldoende capaciteit bezit dan wel moet worden aangepast. Voor de te leveren energie zijn onder meer van belang het totaal benodigde vermogen, spanningsvariaties en frequentie. Naast het vermogen voor het sluisbedrijf moet ook het vermogen worden bepaald voor de bouw (civiele en staalbouw). Overwogen kan worden de kabels c.a. voor de bouw later deel te laten uitmaken van die voor het sluisbedrijf.

In het sluiscomplex dienen de nodige ruimten aanwezig te zijn voor hoogspanning, transformatoren en laagspanningsapparatuur. Tevens worden ruimten gereserveerd en voorzieningen gemaakt voor kabeltracés vanuit de laagspanningsruimte naar de verschillende sluisonderdelen (kabelrekken, -goten, -schachten, doorvoerbuizen etc.). Daarbij moet rekening worden gehouden met de andere voor het sluisbedrijf benodigde kabels en leidingen en die voor derden (Par. 2.3.4.2). Voor noodstroomaggregaten en no-breakinstallaties, zie Par. 2.4.6.3.

2.4.10 Beschikbaarheid

2.4.10.1 Inleiding

Bij ontwerp en beheer van een sluiscomplex wordt gestreefd naar een zo groot mogelijke beschikbaarheid voor het schutten van schepen. Om de meer gebruikelijke terminologie te gebruiken: de niet-beschikbaarheid moet aanvaardbaar klein zijn.

Algemene regels zijn daarvoor niet te geven. Enerzijds doordat sommige facetten, die het niet kunnen gebruiken van de sluis mede bepalen, niet of slechts ten dele beïnvloedbaar zijn (voorbeeld: harde dwarswind). Anderzijds doordat het stellen van eisen pas mag geschieden na een afweging tussen de extra investeringskosten en de baten voor de scheepvaart. Deze afweging kan alleen worden gemaakt voor een concrete situatie. Rekening moet worden gehouden met het economisch belang van de scheepvaartroute, de aanwezigheid (of niet) van alternatieve routes, van meerdere kolken etc. Voor deze en andere zaken van beschikbaarheid zij ook verwezen naar de verschenen rapporten van het ONI-project (Lit. [2.14]).

In principe zijn langdurige storingen (tot meerdere dagen), met meestal als oorzaak aanvaringen en onderhoud, ernstiger dan korte, waarop de scheepvaart zich veelal flexibeler kan aanpassen. Bij geplande langdurige stremmingen (onderhoud) kan worden overwogen om zoveel mogelijk gebruik te maken

van perioden (weekeinden, seizoenen) met minder verkeersaanbod. Niet alle stremmingen zijn volledig. Soms kan de scheepvaart onder beperkende bepalingen passeren.

2.4.10.2 Oorzaken niet-beschikbaarheid

Niet-beschikbaarheid kan de volgende oorzaken hebben:

- Waterstanden boven en beneden het schutbereik;
- Teveel (dwars-)wind, te slecht zicht;
- Storingen van installaties, bewegingswerken en bediening;
- Aanvaringen;
- Onderhoud (en renovatie).

Deze punten worden in de volgende paragrafen uitgewerkt.

2.4.10.3 Waterstanden boven en beneden schutbereik

Voor de grenzen van het schutbereik zijn richtlijnen gegeven in Par. 2.4.1.1 (maximum- en minimum-schutpeil). Globaal gesproken resulteert dit in een niet-beschikbaarheid die kleiner is dan 2% van de tijd. De concrete grenzen dienen op economische gronden te worden gekozen.

2.4.10.4 Te veel wind, te slecht zicht

De hierdoor veroorzaakte niet-beschikbaarheid wordt enerzijds bepaald door de lokale klimatologische omstandigheden en anderzijds door de grenzen die aanvaardbaar worden geacht om nog veilig te kunnen schutten. Dat laatste is afhankelijk van het soort schepen en de beladingsgraad. Daarbij komt dat het schutten vaak mogelijk is tot een maximum-windsnelheid om te voorkomen dat windgolven een onevenredig groot deel van de belasting op het bewegingswerk vormen (bij puntdeuren ook bij weinig of geen niveauverschil). Ook globale cijfers over de niet-beschikbaarheid door wind ontbreken (nog). De enige mogelijkheid tot beperking van de niet-beschikbaarheid is een goede vormgeving van de fuiken, waarbij het overigens kan voorkomen dat deze vormgeving juist weer tot hogere windgolfbelastingen op de deuren leidt.

2.4.10.5 Storingen van installaties, bewegingswerken en bediening

Aan de hand van de eerdergenoemde economische afwegingen zullen voor het ontwerp van de sluis of de serie sluizen eisen moeten worden geformuleerd voor de toelaatbare faalkans van deze voorzieningen. Als voorbeeld worden de gehanteerde waarden voor de renovatie van de Zuider- en de Kleine sluis in IJmuiden genoemd (Lit. [2.13]). Niet beschikbaar door:

- storing installaties : $\leq 0,5\%$ van de tijd
- storing bewegingswerken : $\leq 0,5\%$ van de tijd
- storing bediening : $\leq 0,25\%$ van de tijd

Ook het aantal keren dat storing optreedt kan bepalend zijn.

Niet elke storing betekent algehele stremming. Overigens moet worden getracht om de duur van de storing beperkt te houden (alarmering, reageren, reserve-onderdelen).

Voor noodaggregaten en no-breakinstallaties zij verwezen naar Par. 2.4.6.3.

2.4.10.6 Aanvaringen

Voor niet-beschikbaarheid door aanvaringen kan hooguit een prognose worden gemaakt aan de hand van gegevens bij soortgelijke sluizen met overeenkomend scheepsaanbod. Als voorbeeld wordt de Zuiderluis bij IJmuiden (Lit. [2.13]) genoemd waarbij het niet-beschikbaar zijn als gevolg van significante schade door aanvaringen 17 uur per jaar bedroeg (ongeveer 0,2% van de tijd). Andere sluizen kunnen een ander beeld geven. Binnen economisch aanvaardbare grenzen zal men ernaar streven aanvaringen en de gevolgen daarvan te beperken. Het accent ligt daarbij op deuren (en bewegingswerken), beweegbare bruggen en - in mindere mate - op remming- en geleidewerken.

Maatregelen om de kans op aanvaringen te beperken zijn onder andere:

- een goede vormgeving van de fuiken (Par. 2.3.1.3 en 2.4.2.2);
- plaatsing van het val van beweegbare bruggen - in geopende stand - buiten de dagzijde van de sluis (Par. 2.3.4.1);
- vangconstructies ter bescherming tegen aanvaren deuren (Par. 2.4.11.1). Dit is een kostbare voorziening, die alleen in bijzondere gevallen zal worden toegepast;
- bescherming bewegingswerk deuren. Voorkomen van aanvaring van het bewegingswerk kan door het aanbrengen van een staart op de deur en deze te verbinden met het bewegingswerk (Renovatie Oranjesluizen). Ook kan een verlengde bewegingswerkkelder worden gebruikt zodat de kwetsbare cilinderstang niet in de dag van de sluis kan worden aangevaren (Middensluis IJmuiden).

Maatregelen om de duur van de reparatie (stremming) te beperken zijn o.a. het beschikbaar hebben van reservedeuren en -onderdelen (Par. 2.5.2 en 2.5.3).

2.4.10.7 Onderhoud

Evenals bij aanvaringen kan voor onderhoud slechts een prognose worden gemaakt van de hieruit voortvloeiende niet-beschikbaarheid. Als voorbeeld wordt vermeld dat de Middensluis in IJmuiden in verband met onderhoud gedurende ca. 2% van de tijd niet beschikbaar is (Lit. [2.13]). Dit zal uiteraard van sluis tot sluis verschillen. Een aanbeveling kan zijn zo onderhoudsarm mogelijk te construeren (staalbouw en civiele constructies). Overwogen kan worden tijdens onderhoud tijdelijk extra wachtvoorzieningen aan te brengen.

2.4.11 Bescherming constructies tegen beschadigingen

2.4.11.1 Aanvaarbescherming deuren

Punt- en draaideuren moeten in het dagvlak van de geopende deur worden voorzien van wrijfhouten ter bescherming van constructie en conservering tegen beschadiging door in- en uitvarende schepen. Ook bij andere typen deuren kunnen wrijfhouten worden aangebracht op die plaatsen die eventueel door schepen worden geraakt.

In bijzondere omstandigheden (o.a. Wijk bij Duurstede, Tiel, Belfeld, Panheel, Twente-kanaal) worden vóór gesloten deuren opvangconstructies aangebracht die de energie van niet tijdig stoppende schepen absorberen en die voorkomen dat de deur wordt geraakt (zie ook par. 17.3.3). Daarvoor kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van kabels (kabelnetten) en frictietrommels. Voor de omstandigheden van toepassing en voor de opzet van deze constructies wordt verwezen naar Lit. [2.15]. Het gaat hierbij om kostbare constructies, waarvoor de investeringen moeten worden afgezet tegen de faalkans van de waterkering, de belangen van de scheepvaart etc. Opvangconstructies kunnen economisch verantwoord zijn bij sluizen met een groot verval.

2.4.11.2 Aanvaarbescherming beton- en damwandconstructies

Constructievlakken waartegen schepen afmeren of waarlangs zij kunnen schampen, moeten zo vlak mogelijk zijn om goed te geleiden en eventuele schade te beperken (constructie en schip). Voor de binnenvaart voldoet een betonconstructie aan deze eis. Bij andere constructiematerialen zoals damwanden dient het platte vlak zoveel mogelijk te worden benaderd door een systeem van houten of kunststoffen stijlen en regels. Dit systeem kan worden beperkt tot die dagvlakken waarmee schepen in contact komen.

Op die plaatsen waar betonvlakken worden onderbroken of beëindigd door dilatatievoegen, deuren-, laddernissen etc., zijn aanvullende voorzieningen nodig. Bij dilatatievoegen kan worden volstaan met (fors bemeten) vellingkanten, bij nissen etc. moeten stalen hoekbeschermingsprofielen worden toegepast. Ook kan een hoekbescherming van tropisch hardhout worden toegepast, vooral bij ruwe vaart zoals duwbakken en zeevaart). Tegen beschadiging door trossen etc. moeten aan de bovenzijde van de wand stalen dekzerkprofielen worden aangebracht.

In schutsluizen voor de grote zeevaart worden houten drijfrahmen (Nederland) of rubber-wielfenders

(België) toegepast. Deze voorzieningen zijn bedoeld om beschadigingen van schip en constructie te beperken, maar ook om opstuw- en kleeffecten bij het afmeren en wegvaren van schepen met grote zijvlakken te voorkomen, dus om de passeertijd te verkorten.

2.4.11.3 Voorzieningen tegen vandalisme

Hekken en andere afschermingen moeten vitale onderdelen van het sluiscomplex zo min mogelijk toegankelijk maken voor onbevoegden.

2.4.11.4 Bliksembeveiliging c.a.

Ter voorkoming van ondefinieerbare procesbesturingen door bijvoorbeeld bliksem of elektromagnetische interferentie zal de gehele elektrische installatie hierop worden beveiligd. Om dit te bereiken zal de elektrische installatie worden ontworpen volgens de veiligheidseisen gesteld in de NEN 1010, NEN 3140, NBD 4001, NBD's 4003 t/m 4021, NEN 1131 en de SVEI-00-24.

2.4.12 Veiligheid

2.4.12.1 Voorzieningen voor drenkelingen

Voor het redden van te water geraakte personen dienen ladders te worden aangebracht in de kolkwand en op (hoge) vlakke wanden in de voorhaven. Aan de bovenzijde worden deze ladders voorzien van handbeugels. Voor het bieden van hulp vanaf de wal, dienen op en nabij het sluisplateau reddingsmiddelen (boeien, haken) op een duidelijk zichtbare plaats aanwezig te zijn. Ladders hebben in de kolk en voorhaven ook een bereikbaarheidsfunctie, zie voor locaties en afstanden ook par. 2.4.13.2 en 2.4.13.3.

2.4.12.2 Voorzieningen voor veiligheid

Ontwerp en beheer van voorzieningen voor de veiligheid van het personeel zullen geschieden aan de hand van de ARBO-wet, Bouwbesluit, Arbeidsinspectie en veiligheidsvoorschriften (CE-richtlijnen). Een aantal voorzieningen wordt hieronder genoemd.

Op de bovenkant van de deuren worden leuning aangebracht. Ligt het sluisplateau meer dan 2,5 m boven het minimum schutpeil, dan wordt een hekwerk achter de bolders geplaatst. Bij recreatievaart en als toeristen op het sluisplateau wordt toegelaten, is dit hekwerk altijd gewenst.

In technische ruimten, werkplaatsen, bruggen, heftorens, roldeurkassen en dergelijke waar gewerkt en gelopen wordt en hoogteverschillen met de omgeving bestaan, worden leuning aangebracht. Vanaf een niveau van 0,60 m of meer dan de omgeving moet een leuning aangebracht worden met een hoogte van 1 - 1,10 m. Bij hoogteverschillen met de omgeving boven 12 m dient de leuning 1,20 m hoog te zijn. Aanvullend worden vaak vanaf hoogteverschillen boven 2,5 m valbeveiligingen aangebracht met veiligheidslijnen, vanglijnen, harnasgordels en dergelijke.

Stalen ladders dienen niet regelmatig in gebruik te zijn, anders moet een rechte trap, spiltrap of trapladder worden aangebracht. Ladders kunnen tussen verticaal (90°) en 75° worden gebruikt en worden voorzien van enkelvoudige ronde sporten. De ladderbreedte is tussen 0,38 en 0,46 m en de sportafstand is 0,25 - 0,20 m. Bij de aansluiting van de ladder op het bordes (plateau) dient de afstand tussen de ladderbomen vergroot te worden tot 0,60 m en moeten aansluitingen op de leuning worden aangebracht. Ladders moeten van een veiligheidskooi voorzien worden indien ze hoger zijn dan 3,60 m. Deze kooi heeft een binnenmaat van 0,76 m en start vanaf 2,40 m vanaf de vloer. Bij een ladderhoogte boven 6 m moet een tussenbordes worden aangebracht.

Kelders die mogelijk onder water kunnen lopen (bijvoorbeeld die van de bewegingswerken van puntdeuren) moeten voorzien worden van een uitgang die van binnenuit is te openen. Bovendien zal gezorgd worden voor voldoende natuurlijke ventilatie en eventueel dompelpompen.

Het gebied waarbinnen bewegingswerken zich bewegen, moet zo mogelijk afgeschermd worden voor de omgeving zodat het niet mogelijk is dat iemand beklemd raakt tussen machine-onderdelen.

Op het sluiscomplex zullen zich de nodige EHBO-middelen op een duidelijk zichtbare plaats bevinden.

2.4.12.3 Brandbestrijding

De voorzieningen voor brandbestrijding worden bepaald aan de hand van het rapport “Verantwoordelijkheden van Rijkswaterstaat ten aanzien van brandbestrijding op sluizen” (Lit. [2.16]). Uitgangspunt is dat de bestrijding dient plaats te vinden door de brandweer. Aanvullende voorwaarden kunnen onder meer zijn:

- het voorzien in blusmiddelen op de sluis als aanvulling van wat aan boord aanwezig is (poeder-blustoestellen);
- voldoende water met voldoende druk op het sluisplateau. Dit kan inhouden dat wordt aangesloten op de openbare watervoorziening of dat de brandweer zelf het water tot het vereiste niveau opvoert.

Voor schepen met gevaarlijke stoffen (kegelschepen voor de binnenvaart, B-vlag schepen voor de zeevaart) zullen afzonderlijk maatregelen moeten worden getroffen, eveneens in overleg met de brandweer (zie ook par. 2.4.13.4).

Gelet moet worden op een goede bereikbaarheid voor de brandweer vanaf het land en vanaf het water.

2.4.13 Bereikbaarheid sluis en voorhavens

2.4.13.1 Sluisbedrijf

Het sluissterrein krijgt een aansluiting op de openbare weg. De aansluiting wordt niet alleen bemeten op het komen en gaan van bedienings- en onderhoudspersoneel c.a. maar ook op de aan- en afvoer van zware, vervangbare, onderdelen van de sluis en voorhavens voor zover daarin niet is voorzien door aan- en afvoer over water met de bijbehorende loswal. Bepaalde wegen leiden vanaf de aansluiting op de openbare weg en de loswal naar de plaatsen waar deze onderdelen worden gemonteerd/afgevoerd. Voor zover daar niet in is voorzien door vaste traverse-opstellingen c.a., dienen de ruimte en de verharding nabij de montage/demontageplaatsen geschikt te zijn voor mobiele kranen. Dit laatste geldt ook voor de loswal en eventueel voor de opslagplaatsen voor reservedeuren en -onderdelen. Bovendien moeten mobiele kranen en ander bouwmaterieel werkzaamheden kunnen verrichten ter weerszijden van de sluis (onderhoud kolk en hoofden, onvoorziene werkzaamheden aan schepen in de kolk). Deuren van kleine en middelgrote sluizen worden vaak met mobiele kranen uitgewisseld. Bij grote sluizen gebeurt dat door drijvende bokken; zeer grote roldeuren worden zelfdrijvend uitgevoerd.

2.4.13.2 Bereikbaarheid schepen in de sluis

Zowel voor de persoonlijke veiligheid als het comfort dienen ladders in de kolkwand te worden aangebracht om opvarenden tijdens het schutproces van/aan boord te laten gaan (telefoneren, huisvuil wegbrengen, eventueel calamiteit). Ook drenkelingen moeten de ladders kunnen gebruiken. Ladders derhalve aanbrengen aan beide sluiszijden, h.o.h. maximaal 30 m en de eerste ladder op 5 m vanaf de stopstreep (zie voor verdere details Lit. [2.1]).

2.4.13.3 Bereikbaarheid schepen in voorhavens

Vanuit de voorhaven dient de wal in principe bereikbaar te zijn via de opstel- en wachtruimte. Dit kan gebeuren met behulp van ladders en loopbruggen. Een en ander is afhankelijk van de vorm van de afmeergelegenheid, zoals meerpalen/meerstoeien, vrijstaand remmingwerk (eventueel drijvend) of een kade-/damwand en de wenselijkheid ervan in verband met misbruik (vandalisme).

Vanaf meerpalen/meerstoeien dienen loopbruggen geplaatst te worden met een zodanige afstand dat elk gemeerd schip tenminste één verbinding met de wal heeft.

Bij een vrijstaand remmingwerk in de langsrichting een loopbrug aanbrengen en vandaar via een of meer loopbruggen naar de wal, of doorlopend naar het sluisplateau. Dit laatste heeft de voorkeur in een voor

misbruik gevoelige omgeving.

De breedte van loopbruggen moet in overleg met de plaatselijke brandweer worden vastgesteld, zodanig dat brandblusapparatuur en brancards aan boord kunnen worden gebracht.

Bij remmingwerken en damwanden dienen ladders te worden aangebracht met een afstand van ca. 30 m, met de voorste ladder op ca. 10 m vanaf het stopbord.

2.4.13.4 Bereikbaarheid schepen met gevaarlijke stoffen in voorhavens

Voor schepen met gevaarlijke stoffen geldt als regel, los van de reguliere wachtplaats, een aparte wachtplaats, die zijn eigen verbinding met de wal heeft. Deze wachtplaats moet bij uitstek goed bereikbaar zijn voor brandweer en ambulance in verband met de specifieke inhoud van de afgemeerde schepen. Als niet langs de oever maar aan het remmingwerk, meerpalen, meerstoelen moet worden afgemeerd, moeten loopbruggen naar de wal worden aangebracht met een zodanige afstand dat er zowel vanaf het voorschip als vanaf het achterschip een verbinding met de wal is (Lit. [2.1]).

2.4.14 Aanvullende wensen opdrachtgevers

Deze wensen komen veelal voort uit het regionaal gebruikelijke beheer van sluizen en andere kunstwerken. Zo kan er een zekere voorkeur zijn voor een bepaald type deur, bewegingswerk (hydraulisch dan wel mechanisch) of schakelapparatuur.

Nagegaan moet worden of die voorkeur leidt tot de beste aanpak van de totaliteit (te ontwerpen sluis en andere sluizen of kunstwerken).

2.4.15 Levensduureisen

2.4.15.1 Ontwerplevensduur sluiscomplex

Schutsluizen worden in het algemeen ontworpen op een technische levensduur van 100 jaar.

Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen onderdelen die onderhoudsvrij zijn gedurende de levensduur en die welke wel onderhoud of vervanging behoeven. Voor de eerste categorie is de levensduur dus 100 jaar. Voor de tweede wordt de levensduur bepaald op basis van de minimale kosten van investeringen en gekapitaliseerd onderhoud en vervanging gedurende de periode van 100 jaar.

Tot de eerste categorie behoren grosso modo de vaste en moeilijk te onderhouden of te vervangen constructies zoals sluishoofden, -kolken, vaste bruggen, onderbouw van beweegbare bruggen, vleugelwanden, onder- en achterloopsheidsschermen en bedieningsgebouwen.

Tot de tweede categorie behoren onder meer deuren, beweegbare bruggen, bewegingswerken, elektrische installaties, remming- en geleidewerken en eventueel gevelbekledingen en dakbedekkingen.

Voor te renoveren sluizen zoals de Zuider- en Kleine sluis te IJmuiden, wordt uitgegaan van een levensduurverlenging van 50 jaar van de hoofdconstructie waarop de rest wordt aangepast (hoeft dus ook niet meer dan 50 jaar mee te gaan).

2.4.15.2 Stalen onderdelen

De mogelijke oplossingen voor het realiseren van de ontwerplevensduur van deuren, schuiven, beweegbare bruggen etc. zijn:

- overdikte materiaal;
- conservering;
- kathodische bescherming;
- combinaties van het voorgaande.

Primair is dat de constructie niet aan vermoeiing bezwijkt. Het aantal belastingwisselingen en de spanningsrange moet daartoe onder een bepaalde waarde blijven (S-n curve).

Een ander belangrijk punt is de corrosiesnelheid. Als voorbeeld wordt verwezen naar het rapport "Corrosiesnelheden van behandeld en onbehandeld staal voor de zks" (Lit. [2.17]). Dit neemt echter niet weg dat tegenwoordig het accent van de levensduurbenadering meer ligt op het onderhouden van de conservering dan op het geven van overdikte.

2.4.15.3 Elektrische installaties

De levensduur van elektrische installaties bedraagt als regel 15 jaar (kabels 25 jaar), gebaseerd op genormeerde ontwerpcriteria gerelateerd aan specialistisch onderhoud. Voor installatiedelen die niet overeenkomstig hun uitvoering worden ondergebracht in een beschermde of geconditioneerde omgeving is de levensduur als regel maximaal 10 jaar.

2.4.15.4 Hard- en software

Het is bekend dat hard- en software een economische levensduur van 5 à 10 jaar hebben. Ondanks het feit dat de software meestal marginaal aan de nieuwe mogelijkheden van de hardware aangepast moet worden zal het streven zijn de software zodanig universeel uit te voeren, dat hiermee in principe gedurende de levensduur kan worden gewerkt.

2.4.15.5 Damwandconstructies

Rekening moet worden gehouden met materiaalverlies door corrosie. De corrosiesnelheid is afhankelijk van de agressiviteit van het (grond)water, de grondsoort, de zone ten opzichte van de waterlijn (splash-zone, onder water etc.) en de kwaliteit van het staal. Gegevens omtrent de corrosiesnelheid kunnen worden gevonden in EAU 1995 en CUR 166 (Lit. [2.18]). Aan het eind van de levensduur van de sluis dient nog voldoende materiaal aanwezig te zijn voor de voor sterkte en stijfheid benodigde weerstands-, traagheidsmomenten etc. Ook voor de verankering moet corrosieverlies in rekening worden gebracht.

2.4.15.6 Remming- en geleidewerken

Het is niet ongebruikelijk de technische levensduur van deze constructies te ontwerpen op een tijdspanne die korter is dan die van het sluiscomplex. Als voorbeeld dient de Nieuwe Oranjesluis, waar de ontwerp-levensduur van de remming- en geleidewerken 50 jaar bedraagt en die van het sluiscomplex 100 jaar. De afzonderlijke materialen die de remming- en geleidewerken vormen, hebben elk een eigen levensduur. Als voorbeeld zij verwezen naar "Nota 5 van de Ontwerpnota Complex Nieuwe Oranjesluis" (Lit. [2.19]). De hoofdelementen zoals buispalen, buisliggers en schorten met houten wrijfgordingen krijgen daar wel een levensduur van 50 jaar toegewezen.

Voor de dimensionering van de staalconstructies zal ook hier het gesommeerde corrosieverlies gedurende de gehele levensduur in rekening moeten worden gebracht.

2.5 Onderhoudseisen

2.5.1 Onderhoudsstrategie

De onderhoudsstrategie zal vooral gebaseerd zijn op de eisen inzake de veiligheid van de waterkering (par. 2.3.2), de beschikbaarheid voor het schutbedrijf (par. 2.4.10) en de levensduur (2.4.15). Ook het aanzien van de constructie, de welstand, zal een rol spelen. Met uitzondering van de eisen voor de veiligheid, een uitgangspunt waaraan niet te tornen valt, gaat het hierbij om een afweging enerzijds tussen de gesommeerde kosten van investeringen en gekapitaliseerd onderhoud, en anderzijds de belangen van de hinder voor de scheepvaart. Als voorbeeld de afwegingen voor de toepassing van 2 roldeuren per hoofd voor een zeevaartsluis (par. 2.5.2). Hoe binnen een gegeven ontwerp-levensduur van een sluis de materialen-, conserveringskeuzen etc. moeten worden geoptimaliseerd is vermeld in par. 2.4.15. Milieueisen maken het noodzakelijk bepaalde onderhoudswerkzaamheden in gesloten ruimten uit te voeren. Eigen voorzieningen daarvoor kunnen duur uitvallen, waardoor het aantrekkelijk kan zijn deze werkzaamheden bij derden te laten geschieden.

In de totaliteit zal worden gestreefd naar een minimum aan gesommeerde kosten alsook naar een zo groot mogelijke dienstverlening aan de scheepvaart. Tot dit laatste behoren beperking van aantal en duur van stremmingen voor onderhoud (par. 2.4.10.7) en aandacht voor beperkte passage tijdens onderhoud. Verwezen wordt naar de modules van het Raamwerk Onderhoud van Natte Kunstwerken (Lit. [2.20]), die worden opgesteld door de Bouwdienst. Op dit moment zijn beschikbaar de modules "Keuze van onderhoud voor een puntdeur", "Damwanden" en "Ducdalven en remmingwerken". Aan de hand van deze strategie zullen onderhoudsplannen, -boeken en -schema's moeten worden opgesteld voor de verschillende onderdelen. Als aanvulling daarop moeten de maatregelen en procedures voor de scheepvaart tijdens onderhoud worden opgesteld.

2.5.2 Reservedeuren

Voor regelmatig terugkerend onderhoud (zoals conservering met bijvoorbeeld intervallen van 10 jaar) en voor reparaties, dient men te beschikken over reservedeuren. De te onderhouden of te repareren deur wordt dan uitgewisseld tegen de reservedeur. Onderhoud bij hefdeuren kan ter plaatse, in geheven stand, geschieden mits de sluis deel uitmaakt van een complex bestaande uit meerdere kolken, waarbij voldoende schutcapaciteit resteert.

In principe dient er voor elk type deur een reservedeur te zijn. Het aantal kan worden beperkt bij een sluis met meerdere gelijke deuren en nog verder bij een aantal gelijke sluizen in één vaarroute (naast of achter elkaar). Nagegaan dient dan wel te worden of er voldoende reserve beschikbaar is gezien de kans op aanvaring, de geplande onderhoudsintervallen en de duur van dat onderhoud.

De reservedeuren zijn opgesteld in een deurenbergplaats waar als regel ook het onderhoud geschiedt. Bij voorkeur dient de deur zo bedrijfsklaar mogelijk te zijn. Bijvoorbeeld compleet met deurschuifbewegingswerken, met rolwagens etc. De deurenbergplaats moet goed bereikbaar zijn voor het uitwisselen, moet voorzien zijn van de daarvoor benodigde middelen (kantelconstructie etc.) en zodanig ingericht zijn dat onderhoudswerk goed mogelijk is. Gekozen moet worden voor de meest geëigende opslag, horizontaal of verticaal. De reserve- en bedrijfsdeuren zullen worden voorzien van hijspunten, terwijl de nodige hulpmiddelen voorhanden moeten zijn (hijsbalken, -jukken etc.).

In belangrijke scheepvaartroutes kunnen in de hoofden opgenomen deurdokken als deurenbergplaats worden gebruikt. Door middel van droogzetschotten (schotbalken) en pompen wordt het deurdok drooggezet voor onderhoud en reparatie.

Voorbeelden van sluizen met twee roldeuren per hoofd zijn de zeesluis in Terneuzen, die in Zeebrugge en de Zandvliet- en Berendrechtsluis in Antwerpen. Voordeel van deze kostbare oplossingen is dat de reservedeuren bij beschadiging onmiddellijk ingezet kunnen worden en dat de bereikbaarheid van de achterliggende havens in hoge mate verzekerd is. Dit heeft ook een belangrijk public relations-effect voor werving en behoud van reders en andere bedrijven in de betreffende haven.

2.5.3 Reserve-onderdelen en -materialen

Welke reserves op de sluis aanwezig moeten zijn is afhankelijk van de duurzaamheid, de kwetsbaarheid, de gevolgen van eventueel falen en de snelheid van toelevering van de betreffende onderdelen en materialen. Voorbeelden van reserves zijn: schuiven, bewegingswerken (bij de Zuider- en Kleine sluis één set per sluis) en/of grote onderdelen daarvan zoals trek/duwstangen en cilinders, schakelapparatuur, motoren, materialen bodembescherming en reserve schorten (normaal, bolder- en ladderschorten) voor geleide- en remmingwerken. Daarnaast zullen ook kleinere en verbruiksgoederen beschikbaar moeten zijn (bijvoorbeeld pakkingen en smeermiddelen).

2.5.4 Al dan niet droogzetten sluis

Tegenwoordig is het niet meer gebruikelijk voor onderhoud de gehele sluis droog te zetten. De redenen zijn dat dit vaak kostbaar is (maatregelen tegen opdrijving) en dat de hoofdconstructies van kolk en hoofden onderhoudsarm zijn met als uitzonderingen wellicht wrijfhouten voor damwandconstructies en drijfrahmen bij zeesluizen. De laatstgenoemde onderdelen moeten dan ook eenvoudig te vervangen zijn. Incidentele reparaties aan de hoofdconstructies kunnen worden uitgevoerd door duikers of in duikerklokken.

Inspectie en onderhoud concentreren zich op aanslagen, draaipunten en deurgeleidingen, dat wil zeggen onderdelen die zich in de hoofden bevinden. Er zijn in principe twee mogelijkheden:

1. Droogzetten van een hoofd, waarvoor schotbalken of droogzetschotten en sponningen nodig zijn.
2. Taatskuipen en andere lokale stalen droogzetmiddelen voor de draaipunten, aanslagen en deurgeleidingen. Daartoe behoren ook droogzetschotten voor de deuren en -nissen voor hef- en roldeuren.

Ook voor deze droogzetmiddelen zijn aanslagen en sponningen nodig. De droogzetmiddelen worden in de nabijheid opgeslagen op een goed bereikbare plaats en kunnen eventueel voor meerdere sluizen worden gebruikt.

De keuze tussen de twee mogelijkheden hangt af van de frequentie van inspectie en onderhoud, de kosten en de duur van de hinder voor de scheepvaart. Mogelijkheid 1, waarbij in principe teveel ruimte wordt drooggezet, wordt meestal alleen toegepast bij kleinere sluizen.

2.5.5 Bereikbaarheid voor personeel

Er dient naar gestreefd te worden alle onderdelen die inspectie en onderhoud behoeven zo goed en veilig mogelijk bereikbaar te maken voor personeel. Dit kan worden vergemakkelijkt door het installeren van trappen, ladders, klimijzers, bordessen en loopbruggen. Hoge heftoren kunnen worden voorzien van personenliften. Waar vaste opstellingen niet mogelijk zijn of te weinig frequent worden gebruikt, kunnen tijdelijke of mobiele voorzieningen worden overwogen. Voor tijdelijke voorzieningen moeten eventueel bevestigingspunten worden aangebracht. De bereikbaarheid voor materieel wordt besproken in par. 2.4.13.1.

2.5.6 Monitoring

Monitoring is een permanent meet- en registratiesysteem voor parameters die maatgevend zijn voor de staat waarin constructies zich bevinden, de belastingen waaraan zij zijn onderworpen en de mate waarin aantastingsprocessen zijn gevorderd. Alhoewel de toepassingen in de bouw nog maar beperkt zijn, is het volgen van de veelal snelle ontwikkelingen noodzakelijk. Monitoring is zinvol, zeker voor die plaatsen van sluisconstructies die slecht inspecteerbaar zijn (bijvoorbeeld aan de grondzijde) en voor aantastingsprocessen die aan het oppervlak slecht zichtbaar zijn (zoals chloride-indringing). Kathodische bescherming kan tevens als monitorsysteem worden gebruikt.

2.5.7 Elektrische installaties, hard- en software

- Alle materialen en componenten moeten geconditioneerd en toegankelijk worden opgesteld.
- In computerinstallaties worden zowel de hard- als de software modulair opgebouwd voor de optimalisering van correctief onderhoud.
- In computerinstallaties moet door middel van controle-mechanismen ervoor worden gezorgd dat storingen en afwijkend procesgedrag tijdig worden onderkend en getraceerd.

2.5.8 Opslagruimten en werkplaatsen

Afhankelijk van het geplande onderhoud zullen in of bij het sluiscomplex opslagruimten en eventueel werkplaatsen worden gemaakt. Deze kunnen geheel of gedeeltelijk worden gecombineerd met die van nabijgelegen sluizen of centrale regionale opslagruimten en werkplaatsen, voorzover de transportmogelijkheden dit toelaten.

2.6 Omgevingseisen in gebruiksstadium

2.6.1 Esthetica

Een schutsluis wordt grotendeels verzonken beneden maaiveld aangelegd en is daardoor voor het oog niet nadrukkelijk aanwezig in de omgeving. Dit geldt niet voor het bedieningsgebouw, eventuele torens voor hefdeuren, vaste bruggen, hameistijlen, leuningen, boven water uitstekende delen van deuren en de verticale opslag van reservedeuren. Zeker voor deze elementen moet aandacht worden besteed aan de landschappelijke dan wel stedelijke inpassing en aan de vormgeving en kleurstelling. Dit betekent altijd het inschakelen van een architect en meestal ook van een landschapsarchitect.

In de meest extreme vorm kan de toepassing van hefdeuren of een verticale opslag van reservedeuren niet acceptabel zijn, omdat dit als te storend (horizonvervuilend) voor de omgeving wordt ervaren.

Bij renovaties kan het gewenst zijn de in het zicht komende materialen van kolk en hoofden overeen te laten stemmen met het historische karakter van de sluis en zijn directe omgeving door bijvoorbeeld baksteen te gebruiken. De baksteen dient dan zoveel mogelijk gelijk te zijn aan de soort die vroeger werd gebruikt. Het historisch karakter kan ook bepalen dat houten in plaats van stalen deuren worden toegepast.

2.6.2 Milieueisen inzake bouw- en verbruiksmaterialen

Onderscheid kan worden gemaakt tussen bouwstoffen en materialen, die door hun aanwezigheid in de constructie de directe omgeving belasten (door bijvoorbeeld uitloging of vervluchtiging van schadelijke bestanddelen) en die, welke door hun winning en/of productie een zware belasting voor het milieu elders betekenen (aantasting tropisch regenwoud, energiegebruik etc.). Maar er zijn ook mogelijkheden de milieubelasting hier en elders te beperken door vooral in betonconstructies reststoffen te verwerken.

De huidige regelgeving (o.a. het Bouwstoffenbesluit) en het algemene overheidsbeleid, maken het nog niet mogelijk om een volledig overzicht te geven van materialen die niet mogen worden toegepast of van grondstoffen en dergelijke die bij voorkeur moeten worden verwerkt. Hieronder volgen enkele (welbekende) aanwijzingen:

1. Het gebruik van tropisch hardhout moet zoveel mogelijk worden voorkomen. Deze beperking geldt niet voor hardhout afkomstig uit duurzaam beheerde bossen.
2. Voor bodembescherming mogen geen staal-, lood- en fosforlakken worden gebruikt. De voor de bodembescherming te gebruiken materialen moeten geschikt zijn voor hergebruik.
3. De overige materialen voor de sluis dienen na sloop of vervanging zoveel mogelijk voor hergebruik door middel van opwerking in aanmerking te komen.
4. Indien er voor het realiseren van de vereiste levensduur van stalen onderdelen gekozen wordt voor conserveringsmiddelen en eventueel kathodische bescherming, dient er gekeken te worden naar de maatregelen bij opnieuw conserveren (bijv. het eventuele stralen onder geconditioneerde omstandigheden) en naar het directe milieubezwaar van deze materialen (bijv. oplossing anodemateriaal of afschuren conserveringen door zandtransport).
5. In verband met het beleid inzake het hergebruik van afvalstoffen kan bij de samenstelling van beton overwogen worden 20% van het grind te vervangen door betonpuingranulaat.
6. De voor de elektrische apparatuur toe te passen materialen dienen geen C.F.K.'s te bevatten.
7. Bij het onderlopen van bewegingswerkkelders dient zoveel mogelijk te worden voorkomen dat smeermiddelen in het oppervlaktewater terecht komen. Soms worden aparte bakken aangebracht.
8. Bij de keuze van smeermiddelen en hydraulische vloeistoffen moet het gebruik van niet-toxisch, biologisch afbreekbare stoffen worden overwogen.
9. Er is een verbod op het verwerken van PAK-houdende verven (met name carboleum, teerepoxy- en koolteerhoudende producten) en een verbod op asbesthoudende pakkingen, remvoeringen etc.

2.6.3 Recreatie

Waterbouwkundige werken vormen een publieke attractie. Dit maakt het wenselijk ook schutsluizen anders dan die voor de recreatievaart, zoveel mogelijk toegankelijk te maken voor het publiek, althans voor zover dit niet in strijd is met de veiligheid van het publiek en van de scheepvaart en geen hinder oplevert voor het sluisbedrijf. In de praktijk zal dit vaak neerkomen op het aanleggen van een toegangsweg, parkeerterrein, uitzichtsplateau of -terrein, leuningen en hekken en het plaatsen van informatieborden.

2.7 Omgevingseisen in bouwstadium

2.7.1 Beschikbaarheid bouwterrein en definitieve terreinen

In de gebruiksfase bestaat het benodigde terreinoppervlak uit dat voor de sluis, de voorhavens, de sluisgebouwen en -terreinen en dat voor de opslag van reservedeuren. Tijdens de bouw kan een groter ruimtebeslag nodig zijn, zeker indien het kunstwerk wordt gemaakt in een "klassieke" bouwput: een ontgraving tussen taluds met een tijdelijke bemaling. Naast de gebruikelijke ruimte voor de bouw (werk- en opslagterreinen, keten, werkwegen en dergelijke) zal dan ruimte nodig zijn voor taluds en de tijdelijke opslag van grond die later voor de aanaarding van het kunstwerk wordt gebruikt. (Opgemerkt wordt dat de klassieke bouwput één van de goedkoopste methoden is om het sluislichaam te bouwen; alleen de kosten van een door damwanden begrensde kolk zijn vaak nog lager).

Indien de plaatselijke situatie en bebouwing geen groter ruimtebeslag toelaten dan wat benodigd is voor de gebruiksfase, kan dit de reden zijn af te zien van de bouwwijze met de klassieke bouwput. Een andere reden hiervoor kan zijn dat een tijdelijke verlaging van de grondwaterstand door bemaling niet is toegestaan (zie par. 2.7.3).

Een bouwterrein is niet alleen een kwestie van oppervlak maar ook van bereikbaarheid. Zoveel mogelijk moeten bestaande wegen worden gebruikt. In de vergunningen voor het aansluiten op deze wegen kunnen eisen worden gesteld aan het gebruik dat voor het werk van deze wegen wordt gemaakt (aslasten, mors en schoonmaken daarvan bij nat grondtransport etc.). Daarnaast moet aandacht worden besteed aan de bereikbaarheid voor drijvend materieel in de opeenvolgende fasen van het werk (aanbrengen deuren, remmingwerken etc.) alsmede aan de mogelijkheid van energievoorziening uit het bestaande openbare net dan wel uit het net, dat - in een vroeg stadium - is aangepast op de levering voor de voltooide sluis. Overigens kunnen zich ook situaties voordoen waarin reeds energie nodig is voor het bewegen van de deuren c.a. voordat de definitieve aansluiting op het openbaar net is voltooid. Voor deze en andere situaties moet tijdelijk gebruik van aggregaten worden overwogen.

2.7.2 Verontreinigde grond

Voor elke sluis zal onderzoek moeten worden verricht naar de aanwezigheid van verontreinigingen in de bodem en - indien aanwezig - naar de mate van verontreiniging. Bij elke handeling die wordt verricht met verontreinigde grond of baggerspecie, is de Wet Bodembescherming van toepassing. In de notitie "Rijkswaterstaat en de nieuwe Wet Bodembescherming", voorlopige versie oktober 1994 (Lit. [2.21]), wordt hierover informatie verschaft (procedures, bevoegd gezag, bodemonderzoek etc.). Is het terrein in de Tweede Wereldoorlog doelwit geweest van gevechtshandelingen dan moet ook nagegaan worden of er bommen, granaten, mijnen en dergelijke achtergebleven zijn.

Aan de bestemming van schone en nagenoeg schone grond worden geen beperkingen opgelegd: de ontgraven grond mag worden verwerkt in de latere aanaarding van het kunstwerk of worden gebruikt voor de ophoging van terreinen en dergelijke, althans voorzover de fysische eigenschappen dit toestaan. Sterker verontreinigde grond mag alleen worden afgevoerd naar speciaal daartoe ingerichte of in te richten depots.

Afhankelijk van de omvang van de verontreinigingen kunnen de transport- en stortkosten een niet onaanzienlijke bijdrage leveren aan de bouwkosten. Het is daarom zaak reeds in een vroeg stadium terreinonderzoek te verrichten en een grondbalans op te stellen. Een sterk verontreinigde bodem kan mede aanleiding zijn ontgravingen tijdens de bouw zoveel mogelijk te beperken. Dat betekent geen klassieke bouwput toepassen of de bodembescherming in de voorhavens minimaliseren.

2.7.3 Grondwateronttrekking

Voor het verlagen van de grondwaterstand moet worden voldaan aan de eisen die zijn gesteld door de betreffende Provincie voor het gebied waarin de sluis wordt gebouwd. In veel gebieden is grondwateronttrekking slechts in beperkte mate of in het geheel niet toegestaan. In het eerste geval is meestal voorgeschreven dat het te onttrekken debiet beneden een bepaalde waarde, meestal uitgedrukt in m³/jaar,

blijft. De ervaring leert dat de bemaling nodig voor een “klassieke” bouwput voor een gehele sluis deze waarde meestal overschrijdt. Dit in tegenstelling tot een ondiepe bouwput voor bijvoorbeeld een gewapend-betonnen L-muur op een damwandscherm en schoorpalen.

Alvorens een ontwerp wordt gemaakt voor het sluislichaam, zal bekend moeten zijn welke eisen worden gesteld aan grondwateronttrekking. Indien retourbemaling als een variant wordt overwogen, zal men ook moeten beschikken over de eisen die aan een dergelijke oplossing worden gesteld.

2.7.4 Instandhouding weg- en scheepvaartverkeer, kabels en leidingen

Wanneer zich nabij of ter plaatse van de te bouwen sluis natte of droge infrastructuurvoorzieningen bevinden, zal als regel worden geëist dat ook tijdens de bouw geen of zo min mogelijk afbreuk wordt gedaan aan het gebruik van deze voorzieningen.

Dit kan bijvoorbeeld betekenen, dat de nieuwe sluis een zodanige ligging ten opzichte van een bestaande krijgt, dat de laatste zo goed mogelijk kan blijven functioneren. Daarbij moet uiteraard aandacht worden besteed aan de toe te passen bouwmethode, het ruimtebeslag daarvan, de stabiliteit van de bestaande sluis, alsmede aan de optimale positionering van de beide sluizen ten opzichte van elkaar in de gebruiksfase, wanneer de nieuwe sluis ook in gebruik is genomen.

Voor de droge infrastructuur zullen eventueel tijdelijke omleggingen en aanpassingen nodig zijn. Het kan aantrekkelijk zijn te zoeken naar tracé's die zoveel mogelijk passen in de nieuwe situatie, wanneer de sluis is voltooid.

Algemene richtlijnen kunnen niet worden gegeven, daarvoor zijn de situatie en de eisen van de beheerders van de infrastructuur te verschillend. Het verdient aanbeveling al in een vroeg stadium van het ontwerp contact op te nemen met de beheerders.

2.7.5 Instandhouding waterkering

In de TAW-Leidraad Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies (Lit. [2.8]) wordt onder meer het volgende bepaald:

- *de veiligheid van de waterkering tijdens de uitvoering moet gedurende het gesloten seizoen minimaal gelijk zijn aan de oorspronkelijke veiligheid van de waterkering. Bij uitvoering in het open seizoen (15 april - 15 oktober) mag de kruinhoogte worden verlaagd tot het niveau behorend bij de normfrequentie van de zomerhoogwaters;*
- *de uitvoering dient bij voorkeur in het open seizoen plaats te vinden. In de verschillende bouwfasen en overgangen tussen bouwfasen dienen de nodige veiligheidsmaatregelen te worden getroffen om het waterkerend vermogen te waarborgen.*

Uitvoering alleen in het open seizoen verdient volgens de leidraad weliswaar de voorkeur, maar zal vaak - zeker economisch - niet wenselijk zijn, gezien de lange tijdsduur van de uitvoering. In dat geval zal ten genoegen van de dijkbeheerder moeten worden aangetoond dat de tijdelijke voorzieningen voldoen aan de oorspronkelijke veiligheid. Of dit laatste inderdaad nodig is hangt af van de plaatselijke situatie en het voorziene uitvoeringsontwerp: wordt de sluis vóór, ter plaatse van of achter de bestaande waterkering gebouwd?

Een voorbeeld van bouwen vóór de waterkering is de uitvoering van een schutsluis nabij een stuw in een gekanaliseerde of te kanaliseren rivier. De bouwplaats krijgt dan veelal een eigen tijdelijke waterkering, waarvan de veiligheid niet hoeft te voldoen aan de eerder genoemde oorspronkelijke veiligheid, maar moet zijn afgestemd op het risico (= frequentie x schade) van overstromen van de bouwplaats. Vaak wordt voor het ontwerppeil van een dergelijke tijdelijke kering een overschrijdingsfrequentie van 1 keer per 50 jaar aangehouden. Of dit juist is, moet door een risico-beschouwing worden onderbouwd.

2.8 Vergunningen en procedures bij de bouw van een sluis

Bij de aanleg van, of renovatie, reconstructie of soortgelijke activiteiten aan een sluis, dient er naast de technische aspecten ook rekening te worden gehouden met bestuurlijk-juridische aspecten. De opdrachtgever dient er zorg voor te dragen dat de benodigde vergunningen tijdig verkregen zijn en dat de geldende procedures gevolgd zijn. Bij dit laatste kan gedacht worden aan een Tracéwetprocedure, een milieu-effectrapportage, of bijvoorbeeld een bestemmingsplanwijziging. Veel voorkomende vergunningen en procedures zullen kort besproken worden.

2.8.1 Bouw- en aanlegvergunning, bestemmingsplanwijziging

De bouwvergunning moet worden aangevraagd bij de betreffende gemeente(n) in verband met de aanleg van een bouwwerk. Een bouwvergunning kan ook nodig zijn voor het plaatsen van keten en dergelijke. Dit laatste dient door de aannemer geregeld te worden. Burgemeester en wethouders (B & W) beslissen binnen 13 weken op de aanvraag om een bouwvergunning. B & W kunnen deze termijn (bijvoorbeeld in geval van een ingewikkeld bouwwerk) eenmaal met maximaal 13 weken verlengen door het nemen van een verdagingsbesluit. Deze tijden zijn exclusief het benodigde vooroverleg. Ten behoeve van de aanvraag moeten tekeningen, berekeningen, eventueel uitvoeringsgegevens, kosten en dergelijke worden aangeleverd.

De Woningwet, op grond waarvan de bouwvergunning wordt verleend, kent een aantal aanhoudingsgronden op de beslissing op een aanvraag voor een bouwvergunning.

Een veel voorkomende aanhoudingsgrond is een benodigde wijziging van het bestemmingsplan, in verband met de ruimtelijke inpassing van de sluis en/of het bijbehorende dienstengebouw. Indien dit het geval is, wordt de aanvraag om een bouwvergunning mede aangemerkt als een verzoek om vrijstelling van het bestemmingsplan.

Een andere mogelijkheid is de aanhouding krachtens de Wet Milieubeheer. Indien er een WM-vergunning nodig is en deze nog niet is verstrekt, dienen de aanvragen voor de bouwvergunning en de milieuvergunning gelijktijdig te worden ingediend (tenzij de milieuvergunning al eerder was aangevraagd). In dat geval dient een afschrift van deze aanvraag bij de aanvraag van de bouwvergunning te worden bijgevoegd.

Indien uit bovengenoemd onderzoek een bestemmingsplanwijziging nodig blijkt te zijn, dient er een artikel 19-procedure gevolgd te worden. Dit vergt een proceduredtijd van ongeveer 30 weken.

Daarnaast dient onderzocht te worden of een aanlegvergunning nodig is. Deze aanlegvergunning kan uitsluitend betrekking hebben op werken, geen bouwwerken zijnde, of op werkzaamheden. Ook bij deze vergunning is er sprake van een aanhoudingsplicht. In art. 46 van de wet op de Ruimtelijke Ordening staan de verschillende mogelijkheden vermeld wanneer en hoe lang het besluit tot het verlenen van een aanlegvergunning aangehouden dient te worden.

2.8.2 Sloopvergunning

Het is mogelijk dat er voor te verwijderen constructies een sloopvergunning moet worden aangevraagd. In de sloopvergunning kunnen voorschriften opgenomen worden met betrekking tot bijvoorbeeld de veiligheid op de sloopplaats en/of de tijdstippen waarop met het slopen mag worden begonnen. Burgemeester en Wethouders zijn in deze, evenals bij de bouw- en aanlegvergunning, het Bevoegd Gezag. Ook de termijn waarbinnen zij beslissen is 13 weken, met de mogelijkheid dit nog eenmaal met 13 weken te verlengen.

2.8.3 Wet op de waterkering

Indien de sluis een primaire waterkering is, of deel uitmaakt van een dijkkring, is de Wet op de Waterkering van toepassing. De wet heeft enerzijds de bedoeling om de veiligheid te waarborgen bij hoge stormvloed of hoog oppervlaktewater. Anderzijds geeft de wet bijzondere procedurele voorzieningen voor de versnelde aanleg van tweede tranche dijkversterkingen. Art. 7 van de Wet op de

Waterkering stelt dat:

De aanleg van een primaire waterkering en de wijziging in richting, vorm, afmeting of constructie van een primaire waterkering dient te geschieden overeenkomstig een door de beheerder goedgekeurd plan.

Dit plan moet worden ingediend bij de betreffende provincie. De proceduredtijd bedraagt ca. 4 maanden. Het plan dient een aantal zaken te bevatten, waaronder een uiteenzetting waaruit blijkt dat het waterkerend vermogen voor 100% gehandhaafd blijft. Verder bevat het plan de voorzieningen die getroffen worden ter bevordering van het belang van landschap, natuur of cultuurhistorie. Een verdere beschrijving is te vinden in artikel 7 van de Wet op de Waterkering.

Een wijziging in een primaire waterkering is in het Besluit m.e.r. (valt onder de Wet milieubeheer) MER-plichtig gesteld. Als gevolg van Europese regelgeving zou dit in de nabije toekomst kunnen gaan veranderen. Op dit moment is nog niet duidelijk hoe of wanneer deze verandering van kracht wordt.

2.8.4 Wet milieubeheer, m.e.r.

De Wet Milieubeheer stelt dat bepaalde activiteiten belangrijke nadelige gevolgen kunnen hebben voor het milieu en dat daarom een milieu-effectrapportage (MER) moet worden gemaakt. Deze activiteiten zijn vastgelegd in het Besluit MER, dit is een middel dat gebruikt wordt bij de besluitvorming van de overheid. Er dient voldoende milieu-informatie beschikbaar te zijn voordat besluiten genomen worden die nadelige gevolgen voor het milieu kunnen hebben. Daarnaast helpt de m.e.r. de initiatiefnemer van een m.e.r.-plichtig project bij de bewustwording van de milieugevolgen bij de ontwikkeling van het project.

De Wet Milieubeheer kent verder het instrument van de vergunning. Artikel 8.1 creëert een vergunningplicht om een inrichting op te richten, te veranderen of de werking daarvan te veranderen, en/of een inrichting in werking te hebben. Een 'inrichting' is een begrip dat nader uitgewerkt wordt in het Inrichting- en Vergunningenbesluit Milieubeheer. De vergunning dient in de meeste gevallen te worden aangevraagd bij het College van Burgemeester en Wethouders van de desbetreffende gemeente. De proceduredtijd (exclusief vooroverleg) bedraagt 6 à 7 maanden.

Wat betreft de vergunningaanvraag dient er rekening gehouden te worden met een coördinatieplicht ten opzichte van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren (WVO). Door de gelijktijdige indiening van de aanvragen en het gelijktijdig doorlopen van de verschillende fasen in de procedure wordt de procedurele en inhoudelijke afstemming mogelijk gemaakt. Indien de twee benodigde vergunningaanvragen niet binnen 6 weken na elkaar worden ingediend, worden de aanvragen niet-ontvankelijk verklaard.

Er bestaat ook een coördinatieplicht ten opzichte van de bouwvergunning. Deze is geregeld in artikel 52 van de Woningwet. De aanvraag voor een bouwvergunning wordt aangehouden totdat de Wm-vergunning is verleend en er tegen het ontwerp-besluit geen bedenkingen zijn ingebracht. Tot slot geldt er een coördinatieplicht ten opzichte van de Ontgrondingenwet.

Artikel 1.2 van de Wet Milieubeheer schrijft de Provincie voor een Provinciale Milieu Verordening (PMV) op te stellen. De verordening dient regels te bevatten ter bescherming van het grondwater en regels inzake het voorkomen of beperken van geluidhinder. De PMV kan ook m.e.r.-plichtige activiteiten aanwijzen. Het is gebruikelijk dat de PMV een exportverbod kent van bedrijfsafvalstoffen uit en naar een andere provincie. De betreffende stoffen kunnen vermeld zijn in een bijlage van de PMV. Gedeputeerde Staten kunnen een ontheffing van dit verbod verlenen. Daarnaast is het gebruikelijk dat de PMV regels stelt ten aanzien van bodemsanering.

2.8.5 Ontgrondingenwet

De Ontgrondingenwet (O_{gw}) is van toepassing op ontgrondingen op het land, in het water en op het continentaal plat. Gedacht kan worden aan de winning van oppervlaktedelfstoffen of bijvoorbeeld het afgraven van vervallen gedeelten van waterkeringen. In artikel 8 van de O_{gw} staat vermeld dat in geval van ontgrondingen (1) in het water van de Noordzee, (2) in bij Algemene Maatregel van Bestuur aan-

gewezen rijkskanalen en (3) in de ingepolderde gedeelten van het IJsselmeer indien en zolang deze niet provinciaal zijn ingedeeld, de Minister van Verkeer en Waterstaat het Bevoegd Gezag is. Voor ontgroningen op het land of in provinciale wateren is Gedeputeerde Staten van de Provincie het Bevoegd Gezag. De vergunningverlening wordt geregeld in de provinciale Ontgroningenverordening. De proceduretijd is 6 maanden. Ook geldt een coördinatieplicht met de Wet Milieubeheer, Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren, Woningwet (Bouwvergunning), Boswet en provinciale verordeningen.

2.8.6 Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren

De Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren (WVO) heeft tot doel de verontreiniging van de oppervlaktewateren tegen te gaan en te voorkomen. De WVO beschermt eveneens de onderwaterbodem tegen verontreiniging door het storten van afvalstoffen, waaronder verontreinigde baggerspecie. Een lozing, direct of indirect, is in de meeste gevallen alleen nog toegestaan als er een vergunning is verstrekt en de gestelde voorwaarden nageleefd worden. Het Bevoegd Gezag in deze is de beheerder van het desbetreffende oppervlaktewater. De proceduretijd voor deze vergunning is 6 à 7 maanden. Er is een verplichte coördinatie met de Wet Milieubeheer-vergunning en de Ontgroningenwet (Coördinatie is reeds besproken in pa. 2.8.4). Ten behoeve van de aanvraag moeten gegevens worden aangeleverd betreffende de hoeveelheden te lozen water, de kwaliteit van het water, de kwaliteit van de te storten grond, de kwaliteit van de toe te passen materialen, uitvoeringswijzen en dergelijke.

2.8.7 Grondwaterwetvergunning

De Grondwaterwet (GWW) stelt regels ten aanzien van het onttrekken en infiltreren van grondwater. Bij de aanleg en reconstructie van sluizen kan als vergunningplichtige activiteit bijvoorbeeld gedacht worden aan het onttrekken van grondwater in en om bouwputten en het ter compensatie infiltreren van grondwater in de bodem. Uitgangspunt is dat zowel elke onttrekking als elke infiltratie vergunningplichtig is. Voor dit kwantiteitsbeheer is Gedeputeerde Staten van de Provincie het Bevoegd Gezag. De totale proceduretijd bedraagt 6 à 7 maanden (exclusief benodigd vooroverleg). Bij provinciale verordening kunnen bepaalde kleinere onttrekkingen van de vergunningplicht worden uitgezonderd. De hoogte van de grenzen waaronder de onttrekkingen zijn vrijgesteld van registratie of vergunningplicht verschilt aanzienlijk per provincie. Het is daarom belangrijk de provinciale grondwaterverordening te raadplegen. Ook wordt hierin bepaald welke gegevens en bescheiden een aanvrager van een vergunning moet indienen. Tevens stelt de verordening regels voor de wijze waarop onderzoeken moeten worden verricht ter beoordeling van de vergunningaanvraag.

2.8.8 Wet op de Waterhuishouding

De Wet op de Waterhuishouding (WWH) vult de WVO en de GWW en andere wetgeving op het gebied van de waterhuishouding aan door aan te geven hoe er tot planvorming gekomen kan worden op dit vlak (Nota voor de waterhuishouding, provinciale waterhuishoudingsplannen etc.). Ook geeft het een regeling voor het operationele kwantiteitsbeheer van het oppervlaktewater (registratie, vergunning, peilbesluit etc.). In de meeste gevallen is de proceduretijd 3 à 4 maanden. Het Bevoegd Gezag is in de meeste gevallen de waterkwantiteitsbeheerder.

2.8.9 Wet bodembescherming

Artikel 13 van deze wet kent een zorgplichtbepaling:

Een ieder die op of in de bodem handelingen verricht als bedoeld in art. 6 tot en met 11 en die weet of redelijkerwijs had kunnen vermoeden dat door die handelingen de bodem kan worden verontreinigd of aangetast, is verplicht alle maatregelen te nemen die redelijkerwijs van hem kunnen worden geveerd, teneinde die verontreiniging of aantasting te voorkomen, dan wel indien die verontreiniging of aantasting zich voordoet, de bodem te saneren of de aantasting en de directe gevolgen daarvan te beperken en zo veel mogelijk ongedaan te maken.

De Wet bodembescherming kent 6 instrumenten:

1. melding (bij verontreiniging);
2. beschikking (vergunning) bij ernstige verontreiniging;
3. goedkeuring saneringsplan;
4. sanerings- en onderzoeksbevel;
5. vrijstelling;
6. ontheffing.

Afhankelijk van de ernst van de verontreiniging zal een van de bovenstaande instrumenten van toepassing zijn. Het Bevoegd Gezag is Gedeputeerde Staten van de Provincie.

2.8.10 Natuurbeschermingswet

Deze wet heeft tot doel gebieden met een grote natuurwaarde (natuurmonumenten) te beschermen tegen activiteiten die schade kunnen toebrengen aan deze gebieden. Voor handelingen in een beschermd natuurmonument is een vergunning op grond van deze wet nodig. Gedeputeerde Staten van de Provincie is het Bevoegd Gezag in deze. De proceduredtijd is 6 maanden.

2.8.11 Wet beheer RWS-werken

Deze wet dient te verzekeren dat er op een veilige en doelmatige manier omgegaan wordt met Rijkswaterstaatswerken. Artikel 2.1 van deze wet luidt:

Het is verboden zonder vergunning van Onze Minister van Verkeer en Waterstaat gebruik te maken van een waterstaatswerk door anders dan waartoe het is bestemd:

- a. daarin, daarop, daaronder of daarover werken te maken of te behouden;
- b. daarin, daaronder of daarop vaste stoffen of voorwerpen te storten, te plaatsen of neer te leggen, of deze te laten staan of liggen.

Het derde lid van ditzelfde artikel luidt:

Het eerste lid is niet van toepassing op:

- a. het uitvoeren van gewoon onderhoud;
- b. gedragingen in het zomer- of winterbed van een rivier of stroom in de zin van de Rivierenwet.

De Minister van Verkeer en Waterstaat is het Bevoegd Gezag in deze. De proceduredtijd is 3 à 4 maanden.

2.8.12 Wet Geluidhinder

Globaal kan als uitgangspunt genomen worden dat de geluidbelasting niet de grens van 50 dB(A) mag overschrijden tussen 7.00 uur en 18.00 uur. 's Avonds en 's nachts ligt deze grenswaarde nog iets lager. Er dient rekening mee gehouden te worden dat op het gebied van geluid en trillingen de gemeente en de provincie ook bevoegdheden hebben.

2.8.13 Provinciale Wegenverordening

Voor de werkzaamheden (aanpassen, tijdelijk omleiden etc.) van een provinciale weg is een ontheffing van de wegbeheerder noodzakelijk. De ontheffing moet worden aangevraagd bij de provincie. De totale proceduredtijd bedraagt ca. 2 maanden. Hierover dient overleg plaats te vinden met de provincie.

2.8.14 Bouwstoffenbesluit

Het Bouwstoffenbesluit dat ter bescherming van bodem- en oppervlaktewateren regels stelt ten aanzien van het gebruik van steenachtige bouwstoffen (en grond) is op 1 januari 1999 volledig in werking getreden. Daarnaast kan de Provinciale Milieuverordening ook eisen stellen aan het gebruik van secundaire grondstoffen.

2.8.15 Overige vergunningen en ontheffingen

Ter plaatse van de bouwlocatie kunnen bijvoorbeeld kabels en leidingen aanwezig zijn met vergunning of ontheffing. Het komt ook regelmatig voor dat er visvergunning(en) verleend zijn aan (beroeps)vissers. Met betrekking tot alle verleende vergunningen zullen tijdig de nodige wijzigingen, intrekkingen en dergelijke moeten zijn geregeld.

2.9 Normen en richtlijnen

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de voornaamste normen en richtlijnen die bij het technisch ontwerp van een schutsluis gehanteerd worden. In de hierna volgende hoofdstukken van het boek Ontwerp van Schutsluizen worden in de betreffende literatuurverwijzingen deze normen en richtlijnen eveneens genoemd en verder aangevuld met andere normen, richtlijnen, handboeken, en dergelijke. Ook in de voorgaande paragrafen van dit hoofdstuk is een aantal daarvan vermeld.

2.9.1 Normen

Constructie algemeen

NEN 6700	Technische grondslagen voor bouwconstructies, TGB 1990, Algemene basiseisen
NEN 6701	Technische grondslagen voor bouwconstructies, TGB 1990, Namen en symbolen voor grootheden
NEN 6702	Technische grondslagen voor bouwconstructies, TGB 1990, Belastingen en vervormingen

Betonconstructies

NEN 6720	Voorschriften beton TGB 1990, Constructieve eisen en rekenmethoden (VBC 1995)
NEN 6722	Voorschriften Beton Uitvoering (VBU 1988)
NEN 5950	Voorschriften Beton Technologie, Eisen, vervaardiging en keuring (VBT 1995)
NEN 6723	Voorschriften Beton, Bruggen (VBB 1995)

Funderingstechniek

NEN 6740	Geotechniek TGB 1990, Basiseisen en belastingen
NEN 6741	Geotechniek, Uitvoering houten paalfunderingen
NEN 6742	Geotechniek, Uitvoering van funderingen met geprefabriceerde betonnen palen
NEN 6743	Geotechniek, Berekeningsmethode voor funderingen op palen, drukpalen
NEN 6744	Geotechniek, Berekeningsmethode voor funderingen op staal

Houtconstructies

NEN 6760	Houtconstructies TGB 1990
----------	---------------------------

Staalconstructies

NEN 6770	Staalconstructies TGB 1990, Basiseisen en rekenregels voor overwegend statisch belaste constructies
NEN 6771	Staalconstructies TGB 1990, Stabiliteit
NEN 6772	Staalconstructies TGB 1990, Verbindingen
NEN 6788	Ontwerpen van stalen bruggen, Basiseisen en eenvoudige rekenregels, VOSB 1995
NEN 6706	Bruggen (Eurocode 1, deel 3)
NEN 2008	Voorschriften voor het vervaardigen van stalen bruggen, VVSB 1977
NEN 2062	Booglassen, Rekenregels in overwegend statisch belaste constructies
NEN 2063	Booglassen, Rekenregels voor dynamisch belaste constructies
NEN 2018	Hijskranen, Belastingen en belastingcombinaties
NEN 2019	Hijskranen, Rekenregels
NBD	Normen ontwikkeld door de Bouwdienst, voornamelijk op het gebied van staal- en werktuigbouw

Steenconstructies

NEN 6790	Steenconstructies TGB 1990
----------	----------------------------

Werktuigbouwkunde

NEN 3560	Staalkabels, Eisen en beproevingsmethoden voor de keuring van staaldraad en staalkabels
NEN 6786	Voorschriften voor het ontwerpen van beweegbare bruggen (VOBB)
DIN19704	Stahlwasserbauten: Berechnungsgrundlagen, Bauliche Durchbildung und Herstellung, Elektrische Ausrüstung
-	Machine-richtlijn Nederlands Normalisatie Instituut, 1996
NBD	Normen ontwikkeld door de Bouwdienst, voornamelijk op het gebied van staal en werktuigbouw

Electrische installatie

NEN 1010	Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties
NEN 1041	Veiligheidsbepalingen voor hoogspanningsinstallaties
NEN 3040	Veiligheidsvoorschriften met betrekking tot werkzaamheden aan of in de omgeving van laagspanningsinstallaties
NEN 1890	Functionele eisen binnenverlichting
NEN 1014	Bliksembeveiliging
NEN-EN 40	Lichtmasten
	Laagspanningsrichtlijn, EMC-richtlijn

Bouwkunde (wettelijke voorschriften)

-	Woningwet 1991 (Staatsblad 1991, nr. 439)
-	Bouwbesluit inclusief aanvullingen (Staatsblad 1991, nr. 680) met Administratieve bepalingen, Welstandsbevestigingen, Stedebouwkundige voorschriften, Bouwverbod op verontreinigde grond, Sloopvoorschriften en afvalbeleid, Uitvoeringseisen van bouw werkzaamheden, Brandveiligheid, Toegankelijkheid
-	Ministeriële Regelingen behorende bij het Bouwbesluit
-	Wet- en regelgeving inzake milieu
-	Voorschriften Liftinstituut
-	Model Bouwverordening 1992 (MBV 1992)
-	Plaatselijk geldende brandweer-verordeningen

2.9.2 Richtlijnen*Waterbouwkunde*

TAW	Technische Adviescommissie Waterkeringen met: • Leidraad Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies, 1997 (inclusief basisrapport) • Leidraad voor het Ontwerpen van Rivierdijken, deel 1 (bovenrivierengebied en deel 2 benedenrivierengebied) • Technisch rapport Zandmeevoerende wellen, 1999
EAU 1996	Empfehlungen des Arbeitsausschusses Ufereinfassungen, Hafen und Wasserstraßen
CUR 151	Geokunststoffen in de civiele techniek
CUR 161	Filters in de waterbouw
CUR 174	Geotextielen in de waterbouw
CUR 190	Kansen in de civiele techniek, Probabilistisch ontwerpen in theorie
RWS	• Rekenregels voor waterbouwkundig ontwerpen (Bouwdienst, Hoofdafdeling Waterbouw, 1990) • Handboek uitvoering bodemverdedigingsconstructies van losgestorte granulaire materialen (Bouwdienst, Hoofdafdeling Waterbouw, 1991) • IJsbestrijding kunstwerken (Bouwdienst 1993) • Dynamisch gedrag van waterbouwkundige constructies (Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 1996)

Scheepvaart

CVB	Commissie Vaarweg Beheerders, Richtlijnen vaarwegen, 1996, en supplement 1998
BPR	Binnenvaart Politie Reglement, 1983
ONI	Beschikbaarheidseisen

Funderingstechniek

CUR 162	Construeren met grond
CUR 166	Damwandconstructies
CUR 189	Cement-bentoniet schermen
CUR 98-9	Ontwerpregels voor trekpalen

Betontechniek

CUR 37	Hoge sterkte beton
CUR 85	Scheurvorming door krimp en temperatuurswisselingen in wanden
CUR 128	Koelen van beton

Werktuigbouwkunde (RWS - Bouwdienst)

NBD 06000	Eisen voor hydraulische bewegingswerken
NBD 08002	Richtlijn voor het ontwerpen van tandwielkasten en open tandwieloverbrengingen
NBD 08003	Richtlijn berekenen machineonderdelen van beweegbare bruggen
NBD bladen	Richtlijnen voor conservering en verf, electro-technische installaties en onderdelen, electrisch lassen, eisen aan materialen (gietstaal, smeedstaal, keramische bedekkingen, kunststof), tandwielkasten, staalkabels, niet-destructief onderzoek etc.

Electrische installaties

CVB	Commissie Vaarweg Beheerders, Richtlijnen voor bediening van kunstwerken, 1996
ARTO	Algemene richtlijnen tunnelontwerp, 1990
RVV	Reglement verkeersregels en verkeerstekens, RVV 1990

Bouwkunde

-	Handboek voor toegankelijkheid (Geboden toegang), 1998, Elsevier
---	--

Wegontwerp

RONA	Richtlijnen voor het ontwerp van niet-autosnelwegen
SATO	Handboek Specifieke Aspecten Tunnel Ontwerp

Algemeen

RWS	• Leidraad Energiezuinig Ontwerpen (LEO, Bouwdienst 1995) • Leidraad Duurzaam Ontwerpen (DUBO, Bouwdienst 1996) • Leidraad Afvalstoffen Rijkswaterstaat • Handboek onderhoud kunstwerken NI (Bouwdienst 1995) • Documentatiemap Beheer- & Onderhoudssystematiek voor Kunstwerken (Bouwdienst, 1999)
-----	---

2.10 Checklist

2.10.1 Inleiding

In de voorgaande paragrafen is een zo volledig mogelijk beeld gegeven van het Programma van Eisen, nodig voor de algehele opzet van een schutsluis met bijbehorende voorhavens. In een later stadium van het ontwerpproces, dus na het voorontwerp, zullen programma's van eisen, die zijn toegesneden op specifieke onderdelen van het complex, zoals deuren en remming-/geleidewerken, worden opgesteld. In die programma's kunnen meer gedetailleerde punten aan de orde komen dan de in dit hoofdstuk vermelde algemene randvoorwaarden en eisen, terwijl ook uitgangspunten kunnen worden toegevoegd die specifiek zijn voor het betreffende onderdeel.

De in de paragrafen 2.2 t/m 2.7 vermelde randvoorwaarden en eisen zijn samengevat in de checklist in par. 2.10.3. Niet meegenomen zijn de vergunningen en normen uit par. 2.8 en 2.9.

2.10.2 Toelichting checklist

In de eerste kolom is voor het gemak van de gebruiker, die zelf na zal moeten lopen over welke gegevens hij moet beschikken en met welke uitgangspunten (eisen) hij rekening moet houden, aan elk daarvan een item-nummer gegeven.

In de tweede kolom is voor elk item een korte omschrijving opgenomen. Sommige items komen enkele malen voor. Dit is gedaan om te voorkomen, dat de gebruiker een bepaald item mist in een opeenvolging van overeenkomstige gegevens/eisen. In die gevallen is in de kolom "Opmerking" vermeld dat het item al eerder onder een ander nummer is opgenomen.

In de derde kolom wordt verwezen naar het paragraafnummer, waar het ontwerp van de omschrijving uitvoeriger wordt behandeld. Meestal gaat het daarbij om een paragraaf van hoofdstuk 2, in sommige gevallen om een paragraaf uit een ander hoofdstuk. Waar een uitvoeriger omschrijving ontbreekt, is in de kolom een horizontale streep opgenomen.

In de vierde kolom is vermeld of het item al dan niet nodig is voor het voorontwerp. Nogmaals wordt opgemerkt, dat in dit hoofdstuk alle gegevens/eisen aan de orde komen, die nodig zijn voor de algehele opzet van een sluiscomplex. Voor een voorontwerp zijn deze echter niet alle nodig. In de kolom is daarom vermeld:

- X, indien het item nodig is voor het voorontwerp
- , indien niet alles van het item nodig is voor het voorontwerp, dus bijvoorbeeld slechts enkele representatief te achten gegevens uit de randvoorwaarden of alleen enige richtinggevende indicaties uit de eisen (zie "Voorbeelden van " aan het eind van de paragraaf).
- indien niets is ingevuld, is het item niet nodig voor het voorontwerp.

In de vijfde en laatste kolom zijn opmerkingen geplaatst inzake nadere toelichting, verwijzing naar andere item-nummers etc.

Voorbeelden van :

- Item 7a: "Grondmechanische gegevens (resultaten van terrein- en laboratoriumproeven)". Voor het voorontwerp kan als regel worden volstaan met een beperkt aantal sonderingen en boringen. Voor het ontwerp zullen veel meer gegevens nodig zijn.
- Item 15: "Eventuele eisen betreffende schut- en of lekverliezen". Voor het voorontwerp kan ten aanzien van bijvoorbeeld het lekverlies worden volstaan met de indicatie, dat de eis al dan niet streng zal zijn. Eventuele numerieke waarden voor de na te streven lekverliezen kunnen later, lopende de verdere uitwerking, nader worden gekwantificeerd.

Checklist

Item nr.	Omschrijving	Zie par. nr.	Voor-ontwerp	Opmerkingen
	RANDVOORWAARDEN	2.2		
1	Topografie: Beschrijving geometrie van de omgeving met inbegrip van voorziene wijzigingen aan de hand van kaartmateriaal, zoals land-, water-, rivier-, zee- en eigendomskaarten alsmede streek- en bestemmingsplannen.	2.2.1	X	
2	Eventuele bestaande sluis , die blijft functioneren of moet worden gerenoveerd:	2.2.2		
2a	Geometrie en toestand;	id.	X	
2b	Huidig en voorzien gebruik;	id.	X	
2c	Toegestane beperkingen gebruik tijdens bouw/renovatie.	id.	X	
3	Eventuele andere nabije waterbouwkundige kunstwerken:	id.		
3a	Geometrie en toestand;	id.	X	
3b	Huidig en voorzien gebruik;	id.	X	
3c	Toegestane beperkingen gebruik tijdens bouw/renovatie.	id.	X	
4	Waterstanden c.a.:	2.2.3		
4a	Waterstanden met frequenties van over-/onderschrijding	id.		Voor MHW etc, zie ook item 12
4b	Waterstandsverlopen (getijkromme etc.) binnen het schutbereik	id.		oa. Voor vullen/ledigen; zie ook item 20
4c	Stijg- en zaksnelheden	id.		oa. voor overbelasting bewegingswerken
4d	Lange termijngegevens waterstanden en hun duur in droge en natte seizoenen	id.		oa. voor lozen/inlaten
4e	Waterstromingen	id.		oa. voor lay-out van voorhavens
4f	Rivierafoeren/stuwregime	id.		
4g	Waterkwaliteit (chloridegehalten, "agressiviteit")	id.		oa. voor volumegewicht, corrosie
4h	Watertemperatuur	id.		oa. voor verlenging / verkorting stalen onderdelen
4i	Deining en golfgegevens	id.		oa. voor belasting constructie en schepen
5	Windgegevens (snelheid, richting, frequenties)	2.2.4		idem plus opwaaiing
6	Morfologische gegevens (o.a. bodem- en zwevend transport) en prognoses	2.2.5		
7	Bodemgesteldheid:	2.2.6		
7a	Grondmechanische gegevens (resultaten van terrein- en laboratoriumproeven)	id.		
7b	Geohydrologische gegevens (o.a. Stijghoogten als functie van tijd, grondwaterstromingen, resultaten pompproef bij eventuele bemaling)	id.		
7c	Bodemverontreinigingen t.p.v. ontgravingen sluis en voorhavens alsmede in de ruimere omgeving bij een eventuele bemaling	id.		zie ook item 51
	FUNCTIONELE EISEN	2.3		
	<i>Functionele eisen betreffende de scheepvaart</i>	2.3.1		
8	Algemeen: Het sluiscomplex dusdanig ontwerpen, bouwen en beheren, dat schepen van de gegeven vaarwegklasse vlot en veilig kunnen passeren:	2.3.1.1		
8a	• Maatgevende schip (lengte, breedte, diepgang, (strijk-)hoogte)	id.	X	Nu en in de toekomst
8b	• Maatgevende combinatie van schepen	id.	X	id.
8c	• Maatgevend aanbod en de vlootsamenstelling van schepen, rekening houdend met de spreiding in de tijd van aankomsten	id.	X	Nu en in de toekomst. Een keuze zal moeten worden

9	Voorhavens:	2.3.1.2		gemaakt tussen 8b en 8c, waarbij 8c is te prefereren.
9a	Per kolk en per zijde (boven-, beneden-) is een opstelruimte nodig, die zodanig wordt gesitueerd, dat afgemeerde schepen geen obstakel vormen voor uitvarende schepen, terwijl de afgemeerde schepen later via de fuik de kolk vlot kunnen invaren.	id.	X	
9b	De grootte van de opstelruimte wordt afgestemd op een volledige kolkvulling (bij bestaande sluizen met een klein verkeersaanbod is dit niet nodig). De breedte is gelijk aan die van de kolk.	id.	X	
9c	Wachtruimten zijn nodig indien wordt verwacht dat op drukke dagen de opstelruimten te klein zijn. Per zijde van het sluiscomplex wordt een wachtruimte gemaakt (een gemeenschappelijke ruimte indien er meerdere kolken zijn).	id.	X	zie ook items 22b, f en g
9d	Op de wachtruimte moet minimaal het maatgevende schip kunnen afmeren.	id.	X	
9e	Met het oog op afstoppen en afmeren krijgt de vrije ruimte een lengte van ca. 2,5 maal de maatgevende scheeps lengte (binnenvaart) afhankelijk van aansluitend vaarwater.	id.	X	
9f	Worden de voorhavens ook gebruikt als overnachtings-, vlucht- of dwanghavens?	id.	X	zie ook item 22g
10	Fuiken:	2.3.1.3		
10a	Fuiklengten en -vormen zijn een functie van de scheepvaart (zee-, binnen-, recreatievaart). Bij gecombineerd gebruik door verschillende categorieën is de vorm behorend bij de categorie met de grootste schepen maatgevend.	2.4.2.2	X	
10b	De opeenvolgende natte dwarsprofielen in de overgang fuik-kolkingang dienen zoveel mogelijk (hydraulisch) symmetrisch te zijn.	2.3.1.3		
11	Kolk en hoofden:	2.3.1.4		zie ook items 22c, d en e
11a	De hoofdafmetingen volgen uit de vereiste vlotte en veilige verkeersafwikkeling (item 8) de max. en min. schutpeilen (item 20), de waterkeringseisen (item 12), alsmede uit constructieve integratie van deze elementen (par. 4.6).	id.	X	
11b	Bij nieuwbouwsluizen krijgen kolk en hoofden dezelfde nuttige breedte.	id.	X	
11c	Indien de sluis merendeels functioneert als openstaande sluis, dient rekening te worden gehouden met grotere vaarsnelheden bij het passeren van de sluis.	id.	X	bijv. een groter nat dwars-profiel
	<i>Functionele eisen betreffende de waterkering:</i>	2.3.2		
12	Overloop en overslag: Voor de bepaling van de bovenzijde van de deurbeplating en dekerhoogte spelen een rol:			
12a	MHW (Maatgevend Hoogwater)	4.5.3	X	
12b	Zeespiegelrijzing	4.5.4	X	
12c	Klink en zettingen	id.		
12d	Verhoging waterstand door lokale opwaaiing	id.	X	
12e	Verhoging waterstand door seiches, bui-oscillaties en -stoten	id.	X	
12f	Waakhoogte	4.5.5	X	
12g	Beschikbare komberging	id.	X	Bij overlopen is de waakhoogte een functie van de komberging
13	Sterkte en stabiliteit: Moeten voldoen aan de in par. 2.3.2 onder 2 genoemde normen en leidraden.	2.3.2		
14	Betrouwbaarheid sluiting deuren:	id.		
14a	Indien de deuren in beide hoofden voldoende hoogwaterkerend zijn (item 12): geen eisen.	id.		
14b	Indien alleen een voldoende hoge deur in het buitenhoofd, dan moet de betrouwbaarheid van sluiting van deze deur voldoen aan de eis genoemd in par. 2.3.2 onder 3.	id.		
	<i>Functionele eisen betreffende waterbeheer:</i>	2.3.3		
15	Eventuele eisen betreffende schut- en/of lekverliezen	2.3.3.2		

16	Eventuele eisen betreffende scheiding zout- en zoetwater	2.3.3.3 en hfdst.21	X	
17	Waterlozen of inlaten door of langs de sluis? Zo ja, dan rekening houden met voor de scheepvaart ongunstige stroombeelden en toelaatbare stroomsnelheden zoals geschetst in par. 2.3.3.4.	2.3.3.4		
	<i>Functionele eisen betreffende de kruisende droge infrastructuur:</i>	2.3.4		
18	Wegen:	2.3.4.1		
18a	Tijdens bouw: vereiste (tijdelijke) aanpassingen van voorzieningen voor eventuele bestaande wegen.	id.		eventueel zijn 18a en b gedeeltelijk te combineren
18b	Voorziende wegverbindingen in gebruiksfase.	id.	X	
18c	Dwarsprofielen (profielen van vrije ruimte) voor 18a en b.	id.		profiel van vrije ruimte bij ondertunneling en ophaalbruggen
18d	(Strijk-)hoogte scheepvaart.		X	
18e	Is periodiek, tijdelijk stoppen weg-, scheepvaartverkeer acceptabel?		X	keus tussen vaste en beweegbare brug
18f	Uitzicht-eisen.			brugpijlers en val etc. kunnen zicht belemmeren
19	Kabels en leidingen:	2.3.4.2		
19a	Tijdens bouw: vereiste (tijdelijke) aanpassingen/voorzieningen eventueel bestaande kabels en leidingen.	id.		Eventueel zijn 19a en b gedeeltelijk te combineren
19b	Gebruiksfase: onder sluislichaam of voorhavens of via overbrugging? Met de daaraan te stellen eisen.	id.		
19c	Combineren doorvoer kabels/leidingen voor sluisbedrijf met die van derden?	id.		
19d	Eisen ten aanzien van onderlinge beïnvloeding (afstanden) kabels en eisen inzake risico's van leidingen van het sluisbedrijf.	id.		
19e	Visuele inspectie nodig/mogelijk.	id.		
	GEBRUIKSEISEN	2.4		
	<i>Peilen:</i>	2.4.1		
20	Schutpeilen:	2.4.1.1		
20a	Maximum schutpeil.	id.	X	
20b	Minimum schutpeil.	id.	X	
20c	Hoge en lage maatgevende waterstand met het oog op de vlotheid/veiligheid van de verkeersafwikkeling (10% over- resp. onderschrijding) aan de rivierzijde van een binnenvaartsluis.	id.	X	Alleen voor de geleide-, remmingwerken, meerpalen en dekzerhoogte aan de rivierzijde
20d	Hoge en lage maatgevende zomerwaterstanden (mei/sept.) met het oog op toegankelijkheid (2% over- resp. onderschrijding) aan de kanaal- c.q. getijdezijde van een sluis met recreatievaart (eventueel in combinatie met binnenvaart).	id.	X	
20e	Hoge en lage maatgevende zomerwaterstanden (mei t/m sept.) met het oog op vlotheid/veiligheid (10% over- resp. onderschrijding) aan de rivierzijde van een sluis met recreatievaart (eventueel in combinatie met binnenvaart).	id.	X	
21	Ontwerppeilen (waterkering)	2.4.1.2		
21a	MHW (Maatgevend Hoogwater)	id.	X	al vermeld onder item 12a
21b	Sluitpeil hoogwaterdeur	id.		
21c	Sluitpeil open sluis	id.		overgang op schutbedrijf
	<i>Eventuele voorkeur scheiding scheepsoorten</i>	2.4.2		
22	Eventuele scheiding bij gebruik van opstel-, wachtruimte en kolk	2.4.2.1		
22a	Bij het plaatsnemen van schepen op de opstel-/wachtruimten (binnen- en recreatievaart), alsmede bij het indelen in de kolk en/of het toedelen naar kolken (zee-, binnen- en recreatievaart), verdient het uit veiligheidsoverwegingen de voorkeur om de scheepsoorten gescheiden te houden.	id.	X	
22b	Is het met het oog op de veiligheid gewenst/nodig aparte opstel-/wachtruimten te maken voor de binnenvaart en voor de recreatievaart?	id.	X	

22c	Uit veiligheidsoverwegingen hebben aparte kolken van zee-, binnen- en recreatievaart de voorkeur.	id.	X	
22d	Indien 22c economisch niet acceptabel is, dan gecombineerd schutten, waarbij de combinatie van zee- en recreatie in een kolkvulling dient te worden vermeden.	id.	X	
22e	Voor de combinatie van binnen- en recreatievaart kan worden overwogen. • een brede kolk met beide soort elk aan één zijde; • een lange kolk, waarin beide soorten met een veiligheidsmarge (min. 5 m) achter elkaar worden geplaatst (binnenvaart voorin).	id.	X	
22f	Aparte wachtplaatsen en indeling in de kolk (met onderlinge veiligheidsafstanden) nodig voor schepen met gevaarlijke stoffen?	id.	X	
22g	Overnachtingsruimte voor semi-continu- en dagvaart nodig en/of continu beschikbare ligplaatsen voor semi-continuvaart (bij binnenvaart)?	id.	X	
23	Vorm van de fuik als functie van de scheepsoort (zee-, binnen-, recreatievaart)	2.4.2.2.	X	
	<i>Afmeervoorzieningen in kolk en voorhavens</i>	2.4.3		
24	Kolk:	2.4.3.1		
24a	Vereist patroon voor plaatsing van bolders, haalkommen, -pennen en buizen als functie van de scheepsoort (zee-, binnen- en recreatievaart).	id.		
24b	Keuze tussen vaste en drijvende bolders als functie van de scheepsgrootte, verval en daal-/stijgsnelheid tijdens nivelleren. Vereist patroon van plaatsing bij drijvende uitvoering.	id.		
24c	Grootte van de krachten waarop de afmeermiddelen (bolders etc.) moeten worden gedimensioneerd als functie van de scheepsgrootte.	id.		
25	Voorhavens: De afmeervoorzieningen kunnen bestaan uit meerpalen, meerstoelen, constructies met gordingen (vaste of drijvende remmingwerken) en kade- of damwandconstructies, voorzien van afmeermiddelen (bolders, haalkommen).	2.4.3.2		
25a	Vereiste afstanden tussen meerpalen en meerstoelen.	id.		
25b	Vereiste hoogte gordingen ten opzichte van maatgevende hoge en lage waterstanden.	id.		
25c	Keuze tussen vast en drijvend remmingwerk als functie van de waterstandsvariaties.	id.	X	
25d	Vereist patroon van plaatsing van de afmeermiddelen.	id.		
25e	Grootte van de krachten waarop de afmeermiddelen moeten worden gedimensioneerd.	-		
25f	Grootte van de afmeer-energie van de schepen waarop de afmeervoorzieningen gedimensioneerd moeten worden.	15.4		
26	Fuik:	2.4.3.3		
26a	Een beperkt aantal bolders, haalkommen aanbrengen voor werkvartaal.	id.		
26b	Grootte van de aanvaar-/afmeer-energie van de schepen, die door de fuikconstructie moet worden opgenomen.	15.4		
27	Bedieningstijden (= bedrijfstijden):	2.4.4		
27a	Gewenste bedieningstijden (uren/dag, onderscheiden naar ma, di, t/m vr., zat en zo) voor binnenvaart als functie van passerend laadvermogen en CEMT-klasse.	id.	X	
27b	Gewenste bedieningstijden voor zeevaart.	-	X	
27c	Gewenste bedieningstijden voor recreatievaart.	2.4.4	X	
28	Nivelleertijden: Nagestreefde nivelleertijd als functie van soort sluis (zee-, binnen-, recreatievaart), verval, hor. afmetingen en type vulling (deuropening, riolen).		X	
	<i>Bedrijfsvoering:</i>	2.4.6		
29	Procesbeschrijvingen: Analyse van de bedrijfsvoering ten behoeve van later op te stellen	2.4.6.1		

	procesbeschrijvingen (normaal schutproces, stremmingen, hoogwaterkering, inlaten/lozen en zout-/zoetwater).			
30	Informatie voor bedrijfsvoering: Vaststellen benodigde informatie voor bedienen en besturen, zoals scheepsvaartaanbod en waterstanden, alsmede van de daarvoor benodigde voorzieningen, c.a.	2.4.6.2		
31	Vereiste voorzieningen en procedures voor gewenste bedrijfssituaties:	2.4.6.3		
31a	Voor welke installatie (onderdelen) is een noodstroomvoorziening nodig en voor welke een no-break voorziening?	id.	X	
31b	Bij vervallen groter dan 1 m moeten de schuiven van het vul- en ledigingssysteem snel kunnen worden gesloten (zonder dat ongewenste translatiegolven ontstaan), indien een schip in de trossen dreigt te gaan hangen.	id.		
31c	Is een aanvaarbeschermingsconstructie van de deuren gewenst / noodzakelijk?	id.	X	
31d	Bij sluizen met een stringente diepgangsbeperking kan worden overwogen een akoestische dieptemeter aan te brengen op de bodem van de voorhaven op voldoende afstand van de deur.	id.		
31e	Zijn maatregelen tegen ijsbezwaar gewenst?	id.	X	Afhankelijk van economisch belang vaarweg
	<i>Bediening:</i>	2.4.7		
32	Situering bedieningsgebouw	2.4.7.1		
32a	Centraal bedieningsgebouw zodanig situeren dat zicht op sluis en voorhavens optimaal is. Indien mogelijk bedieningsruimte eventuele brug, met goed uitzicht op naderend wegverkeer, combineren met die van de sluis. Bedieningsruimte brug bij voorkeur plaatsen aan zijde kolk tegenover draaipunt val.	id.	X	
32b	Eventuele "dode zichthoeken" met camera's ondervangen.	id.		
33	Locale bedieningsvoorzieningen: Bediening per hoofd overwegen bij recreatiesluizen, evenals - maar dan alleen voor onderhouds- en calamiteitsituaties - bij beroepsvaartsluizen.	2.4.7.2		
34	Communicatiemiddelen:	2.4.7.3		
34a	Bij elke sluis: marifoon voor communicatie tussen bedienend personeel en scheepvaart.	id.		
34b	Bij centrale bediening: meestal praatpalen op opstel- en wachttruimte en een talk-back-systeem, eventueel omroepinstallatie.	id.		
34c	Raadzaam: akoestisch signaal begin nivelleren.	id.		
35	Keuze (gedeeltelijk) geautomatiseerde en zelfbediening: Aanbevolen wordt om (delen van) het bedieningsproces te automatiseren met het oog op bedieningskosten en de vlotheid/veiligheid van de verkeersafwikkeling.	2.4.7.4	X	
36	Afstandsbediening sluizen: Niet erg gebruikelijk, met uitzondering van recreatiesluizen.	2.4.7.5	X	
37	Verlichting, signalering en bebording:	2.4.8		
37a	Vereist <i>verlichtingsniveau</i> op nader aan te geven plaatsen van het sluiscomplex, waarbij onder andere rekening moet worden gehouden met eventuele misleidende omgevingsverlichting, vermijden van verblinding, de gewenste gelijkmatigheid van de verlichting en met de kleur van het licht voor de herkenning van bebording en beseining.	2.4.8.1, 2.4.8.5		
37b	Aangeven welke vlakken <i>gemarkeerd</i> moeten worden. Wit is een goede kleur om de contrastwerking bij een laag verlichtingsniveau te bevorderen, bijvoorbeeld verticale vlakken van remmingwerken en geleidewerken ten behoeve van geleiding van de scheepvaart.	2.4.8.2		
37c	<i>Signalering</i> volgens BPR en RPR.	2.4.8.3		
37d	<i>Bebording</i> volgens BPR en RPR.	2.4.8.4		
38	Energievoorziening:	2.4.9		
38a	Mogelijkheden die het openbaar net biedt voor stroomafname tij-		X	

	dens de bouw en exploitatie. Indien onvoldoende capaciteit van het net, aanpassen of - bijvoorbeeld tijdens de bouw - aggregaten plaatsen.		X	
38b	Noodstroomaggregaten en no-break installatie.		X	Al vermeld onder item 31a
39	Beschikbaarheid:	2.4.10		
39a	Analyseren oorzaken van niet-beschikbaarheid en aangeven van in het ontwerp na te streven grenzen (in procenten van de tijd) voor zover deze economisch verantwoord zijn en de oorzaken beïnvloedbaar zijn. De oorzaken kunnen zijn:	2.4.10.1, 2.4.10.2		Streven naar een zo klein mogelijke totale niet-beschikbaarheid
39b	Waterstanden boven maximum- en beneden minimum-schutpeil.	2.4.10.3, 2.4.1.1		De hier resulterende niet-beschikbaarheid (< 2%) ligt besloten in de vaststelling van deze peilen. Zie ook items 20a en b
39c	Te veel wind: onder welke omstandigheden kan nog veilig geschut worden?	2.4.10.4	X	De hierdoor veroorzaakte niet-beschikbaarheid is moeilijk aan te geven.
39d	Storingen van installaties, bewegingswerken en bediening. Voor het ontwerp van deze onderdelen dienen niet-beschikbaarheids-grenzen te worden gegeven.	2.4.10.5		
39e	Aanvaringen (hooguit is een prognose van de hierdoor veroorzaakte niet-beschikbaarheid mogelijk) kunnen zijn. Maatregelen om aanvaringen te beperken kunnen zijn:	2.4.10.6		
	• goede vormgeving fuiken;	2.3.1.3, 2.4.2.2	X	Al vermeld onder items 10 en 23
	• geopende val van beweegbare brug buiten dagzijde sluis;	2.3.4.1	X	
	• eventueel aanvaarbeschermingsconstructies voor deuren;	2.4.11.1	X	Al vermeld onder item 31 c
	• duur stremming beperken, onder andere door beschikbaar hebben van reservedeuren en -onderdelen.	2.5.2, 2.5.3	X	Zie ook items 46b en c
39f	Onderhoud (hooguit is een prognose van de hierdoor veroorzaakte niet-beschikbaarheid mogelijk).			Zie ook item 46
40	Bescherming constructies tegen beschadigingen:	2.4.11		
40a	Deuren voorzien van wrijfhouten op plaatsen die door schepen kunnen worden geraakt.	2.4.11.1		
40b	Overwegen of aanvaarbeschermingsconstructies voor deuren zinvol en economisch verantwoord zijn (eventueel bij grote vervallen).	id.	X	Al vermeld onder item 31c
40c	Betonvlakken die kunnen worden geraakt door schepen ter plaatse van dilatatievoegen en beëindigingen, voorzien van vellingkanten, stalen hoekbeschermings- en dekzerkprofielen etc.	2.4.11.2		
40d	Bij schutsluizen voor de grote zeevaart drijfrahmen (of fenders) toepassen.	id.	X	
40e	Bij damwandconstructies het platte afmeer- (aanvaar-)vlak zoveel mogelijk benaderen door plaatsen van houten of kunststoffen stijlen en regels.	id.		
40f	Ter voorkoming van vandalisme vitale onderdelen van het sluiscomplex moeilijk toegankelijk maken door hekken etc.	2.4.11.3		
40g	Ter voorkoming van ondefinieerbare procesbesturing door bijv. bliksem of elektromagnetische interferentie, elektrische installaties ontwerpen volgens de veiligheidseisen gesteld in de in art. 2.4.11.4 genoemde normen.	2.4.11.4		
41	Veiligheid:	2.4.12		
41a	Voor eventuele drenkelingen ladders aanbrengen in kolk en voorhavens.	2.4.12.1, 2.4.13.2, 2.4.13.3		
41b	Volgens ARBO-wet en veiligheidsvoorschriften voorzieningen treffen voor de veiligheid van het personeel (leuning, bordessen, vluchtwegen, voldoende ventilatie, EHBO-middelen etc.).	2.4.12.2		
41c	Voorzieningen van brandbestrijding aanbrengen volgens voorschriften Rijkswaterstaat en in overleg met brandweer. Aanvullende voorzieningen voor schepen met gevaarlijke stoffen.	2.4.12.3, 2.4.13.3, 2.4.13.4		Zie ook item 42b
42	Bereikbaarheid sluis en voorhavens:	2.4.13		
42a	Wegverbindingen maken tussen openbare weg, eventueel loswal, reservedeuren-opslag enerzijds en essentiële delen van het sluisbedrijf anderzijds. Waar nodig wegverharding geschikt maken voor zwaar transport en mobiele kranen.	2.4.13.1		
42b	Voor de bereikbaarheid van schepen in de sluis en voorhavens laden	2.4.13.2,		

	ders en loopbruggen aanbrengen. Voor brand- en hulpverlening rekening houden met de wensen van de desbetreffende autoriteiten.	2.4.13.3, 2.4.13.4		
43	Aanvullende wensen opdrachtgevers: Deze wensen moeten bekend zijn in een vroeg stadium van het opstellen van het Programma van Eisen. (Het kan bijvoorbeeld gaan om voorkeur voor een bepaald type deur, bewegingswerk of schakelapparatuur.)	2.4.14	X	
	<i>Levensduureisen:</i>	2.4.15		
44	Ontwerplevensduur sluiscomplex: Voor nieuwbouw als regel 100 jaar, voor renovatie 50 jaar. Daarbij worden onderscheiden: • niet-vervangbare gedeelten, zoals het sluislichaam, vaste bruggen, onder- en achterloopsheidschermen, met een vereiste levensduur van 100 resp. 50 jaar. • Wel onderhoudbare/vervangbare gedeelten zoals deuren, beweegbare bruggen, bewegingswerken, elektrische installaties, remming- en geleidewerken, waarvan de levensduur wordt bepaald op basis van de minimale kosten van investeringen plus de netto contante waarde van onderhoud en vervanging gedurende 100 resp. 50 jaren.	2.4.15.1	X	
45	Levensduur van enkele onderdelen:			
45a	Elektrische installaties hebben als regel een levensduur van 25 jaar bij genormeerde ontwerp-criteria gerelateerd aan specialistisch onderhoud. Bij installatiedelen die niet overeenkomstig hun uitvoering worden ondergebracht in een beschermende of geconditioneerde omgeving, is de levensduur als regel 10 jaar.	2.4.15.3		
45b	Hard- en software hebben als regel een levensduur van 5 à 10 jaar.	2.4.15.4		
45c	Bij damwandconstructies en hun verankering dient - rekening houdend met het optredende corrosieverlies - aan het eind van de vereiste levensduur nog voldoende materiaal aanwezig te zijn voor de voor sterkte en stijfheid benodigde weerstands- en traagheidsmomenten.	2.4.15.5		
45d	De elementen, waaruit remming- en geleidewerken zijn opgebouwd, behoeven niet noodzakelijkerwijs dezelfde technische levensduur te hebben. Zeker de gemakkelijk vervangbare elementen kunnen een kortere levensduur hebben.	2.4.15.6		
	ONDERHOUDSEISEN	2.5		
46	Onderhoud	2.5		
46a	De <i>onderhoudsstrategie</i> dient gebaseerd te zijn op de eisen inzake de veiligheid van de waterkering, de beschikbaarheid voor het schutbedrijf alsmede de levensduur.	2.5.1, 2.3.2, 2.4.10, 2.4.15		
46b	In principe dient er voor elk type deur een <i>reservedeur</i> te zijn. Reservedeuren worden horizontaal of verticaal opgesteld in een deurenbergplaats, waar als regel ook het onderhoud (van een verwisselde deur) geschiedt. Hefdeuren kunnen in geheven stand worden onderhouden, mits de scheepvaart dit toelaat. In belangrijke scheepvaartroutes kunnen in de hoofden opgenomen deurdokken (voor onderhoud) ook als bergplaats worden gebruikt. Bij voorkeur dient een reservedeur zo volledig mogelijk te worden opgesteld.	2.5.2	X	
46c	Bij een sluis dienen voldoende <i>reserve-onderdelen en -materialen</i> aanwezig te zijn.	2.5.3		
46d	Beslist moet worden of - ten behoeve van de inspectie en het onderhoud van ingestorte onderdelen voor de deuren, <i>de hoofden drooggezet</i> moeten kunnen worden of dat wordt gewerkt met taatskuipten of andere lokale droogzetmiddelen.	2.5.4	X	
46e	Onderdelen die inspectie en onderhoud behoeven, moeten zo <i>goed mogelijk bereikbaar</i> worden gemaakt, bijv. met behulp van trappen, klimijzers en loopbruggen. Hoge heftoren kunnen worden voorzien van liften.	2.5.5		
46f	<i>Monitoring</i> overwegen van parameters die de staat beschrijven waarin constructiedelen en/of de belastingen die daarop werken,	2.5.6		

46g	en/of de mate van aantasting verkeren. <i>Voor elektrische installaties, hard- en software:</i>	2.5.7		
	• Materialen en componenten geconditioneerd en toegankelijk opstellen; • Hard- en software modulair opbouwen voor optimalisering correctief onderhoud; • In computerinstallaties controle-mechanismen inbouwen voor tijdig onderkennen en traceren van storingen en afwijkend proces gedrag.			
46h	Afhankelijk van het geplande onderhoud <i>opslagruimten en eventuele werkplaatsen</i> op of bij het sluiscomplex maken (eventueel combineren met andere nabije sluizen c.a.).	2.5.8		
	OMGEVINGSEISEN IN GEBRUIKSSTADIUM	2.6		
47	Esthetica:	2.6.1		
47a	Met het oog op de vormgeving, kleurstelling en inpassing in de omgeving altijd een architect, en soms een landschapsarchitect, in een vroeg stadium inschakelen.	id.	X	
47b	Hefdeuren, verticale opslag van reserve-deuren en hoge, vaste bruggen kunnen minder acceptabel zijn (horizonvervuiling).	id.	X	
47c	Bij renovaties kan het gewenst zijn in het zicht komende materialen overeen te laten stemmen met die van een historische omgeving. Bijvoorbeeld kolk en hoofden afwerken met bakstenen en toepassen van houten deuren.		X	
48	Milieu-eisen inzake bouw- en verbruiksmaterialen: In par. 2.6.2 zijn enkele aanwijzingen opgesomd voor het niet toepassen van bepaalde materialen c.a.	2.6.2		
49	Recreatie: Overwegen of delen van het sluiscomplex toegankelijk kunnen worden gemaakt voor recreërend publiek, voorzover dit geen veiligheidsrisico's (publiek en schepen) en hinder voor het sluisbedrijf veroorzaakt.	2.6.3		
	OMGEVINGSEISEN IN BOUWSTADIUM	2.7		
50	Beschikbaarheid bouwterrein en definitieve terreinen:	2.7.1		
50a	De terreinen moeten tijdig beschikbaar zijn. De bouw vraagt meer oppervlak dan in de gebruiksfase nodig is, zeker bij uitvoering in een bouwput met taluds. Dit kan een reden zijn om een andere bouwmethode te kiezen, bijvoorbeeld in een bouwkuip (tussen damwanden). Beperkt oppervlak kan reden zijn van roldeuren af te zien.	id.	X	
50b	De bouwterreinen moeten tijdig bereikbaar worden gemaakt (aansluiting op de openbare weg en eventueel op een loswal) en worden aangesloten op het openbaar stroomnet (indien niet tijdig mogelijk aggregaten overwegen). Aan het gebruik van de openbare weg door werkverkeer kunnen door de beheerder eisen worden gesteld.	id.	X	
51	Verontreinigde grond: De wet bodemsanering is van toepassing. Het aanwezig zijn van verontreinigingen en de mate waarin, zijn in sterke mate bepalend voor de grondbalans (hergebruik in het werk of in andere projecten, afvoeren naar speciaal daartoe ingerichte of in te richten depots) en daarmee voor de kosten. De kosten kunnen reden zijn bouwmethoden met veel grondverzet niet te kiezen. Gifdepots, ook op grote afstanden, kunnen beperkingen opleggen aan een eventuele bemaling.	2.7.2		
52	Grondwateronttrekking: Het niet, in beperkte mate, of wel toegestaan zijn van grondwateronttrekking, is in sterke mate bepalend voor de toe te passen bouwmethode en daarmee voor de kosten. Retourbemaling kan een oplossing zijn, indien beperkingen worden opgelegd aan de onttrekking, maar ook daarvoor is een vergunning van de provincie	2.7.3	X	

53	nodig. Instandhouding van weg- en scheepvaartverkeer, kabels en leidingen: Bekend zal moeten zijn welke eisen de beheerders stellen aan tijdelijke aanpassingen en omleggingen van de bestaande infrastructuur tijdens de bouw.	2.7.4		zie ook items 2, 3, 18a en 19a
54	Instandhouding waterkering: Alle ingrepen in en wijzigingen voor de bestaande waterkering behoeven de goedkeuring van de dijkbeheerders. In par. 2.7.5 is vermeld wat in de TAW-Leidraad Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies is bepaald over de uitvoering van werken in en nabij de waterkering tijdens het open en het gesloten seizoen (resp. 15 april - 15 oktober en 15 oktober - 15 april)	2.7.5	X	

Literatuur

- [2.1] 'Richtlijnen vaarwegen', Commissie Vaarweg Beheerders, juni 1996, Rotterdam.
- [2.2] 'Klasse V vaarwegen', sluizen, richtlijnen voor afmetingen en vormgeving, deel IX, Interim rapport, WL, april 1993.
- [2.3] 'Afmeerkeuze wachtende schepen voor sluizen', P.A. Kluytenaar, 6 april 1994.
- [2.4] 'Binnenvaart Politie Reglement 1994', oktober 1992 en 'Rijnvaart Politie Reglement 1983', maart 1994.
- [2.5] 'Actualisering van de benodigde remmingwerklengte voor sluizen op de Maasroute', fase 1, Rijkswaterstaat Bouwdienst, nota MMVHBD-D-93.008, januari 1994.
- [2.6] 'Leidraad voor de bedieningstijden van kunstwerken', Commissie Vaarweg Beheerders, februari 1993.
- [2.7] 'Beleidsvisie recreatiotoervaart in Nederland 1990', Min. van V&W, VROM, EZ en Interprovinciaal overleg III, december 1990.
- [2.8] 'TAW-Leidraad Waterkerende Kunstwerken en bijzondere constructies', juni 1997.
- [2.9] 'Projectnota Krabbersgatsluis', Directie Flevoland Rijkswaterstaat, Lelystad, september 1994.
- [2.10] 'Integrale Leidingen Tunnel', NSTT-KIVI, Breda, april 1994.
- [2.11] 'Ijsbestrijding Kunstwerken; adviezen en aanbevelingen', Bouwdienst Rijkswaterstaat, Utrecht, mei 1995.
- [2.13] 'Programma van eisen renovatie Zuider- en Kleine sluis', Bouwdienst Rijkswaterstaat, Utrecht, mei 1995.
- [2.14] 'Rapporten project ONI'
- [2.15] 'Rapport aanvaarbescherming deuren'
- [2.16] 'Verantwoordelijkheden van de Rijkswaterstaat ten aanzien van brandbestrijding op sluizen', Overleggroep Scheepvaart van de Rijkswaterstaat, 28 mei 1992, RN-ZS-93112, Bouwdienst 1993.
- [2.17] 'Corrosiesnelheden van behandeld en onbehandeld staal', RN-ZS-94046, Bouwdienst 1994.
- [2.18] 'Overzicht corrosiesnelheden damwanden', Stichting Postacademisch Onderwijs Civiele Techniek, Cursus damwandconstructies 1995, Beheer en onderhoud.
- [2.19] 'Ontwerpnota complex Nieuwe Oranjesluis, nota nr. 5', Bouwdienst Rijkswaterstaat, Utrecht, 12 december 1992, NOS-A-P-DC 92,139a.
- [2.20] 'Handboek onderhoud van natte kunstwerken', Bouwdienst Rijkswaterstaat, Utrecht, 1995.
- [2.21] 'Notitie Rijkswaterstaat en de nieuwe Wet Bodembescherming', voorlopige versie oktober 1994.
- [2.22] 'Voorhavens/wachtplaatsen Maasroute, fase 1', voorontwerpnota modulenbouw, Technisch programma van eisen, Bouwdienst Rijkswaterstaat, 12 januari 1994.
- [2.23] 'Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken; deel I-bovenrivierengebied', TAW, september 1985.
- [2.24] 'Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken; deel II-benedenrivierengebied', TAW, september 1989.
- [2.25] 'Richtlijnen voor de afmetingen en vormgeving van vaste en beweegbare bruggen over vaarwegen van de CEMT-klassen I t/m IV', Commissie Vaarwegbeheerders, maart 1985.



Foto 3.1 Bouwdienst Rijkswaterstaat, vestiging Utrecht



Foto 3.2 Bouwdienst Rijkswaterstaat, vestiging Zoetermeer

Hoofdstuk 3 **Ontwerpproces**

3.1 Inleiding

Het doel van het ontwerpproces is, via een gestructureerde procedure, te komen tot een technisch, economisch en ruimtelijk gezien optimaal ontwerp van een schutsluis met voorhavens, dat voldoet aan het programma van eisen. In dit proces is een aantal fases te onderscheiden, die nader worden toegelicht in par. 3.2. Aan het eind van elke fase vindt een toetsing plaats aan het programma van eisen op grond waarvan een beslissing wordt genomen over de verdere stappen. Ook zou kunnen blijken dat het programma van eisen moet worden bijgesteld: een ontwerpproces is in beginsel een cyclisch proces waarmee het resultaat van het proces wordt geoptimaliseerd.

In het voorgaande wordt gesproken over “economisch optimaal”. Het programma van eisen zal veelal de economische baten van het sluiscomplex bepalen. Dit geldt zeker voor de functionele eis betreffende de scheepvaart. Daartegenover staan de kosten. De ontwerper moet ernaar streven dat de som van de investeringskosten en de contante waarde van exploitatie (met inbegrip van onderhoud) en vervanging gedurende de levensduur en de contante waarde van slopen aan het eind van de levensduur minimaal zijn. In de investeringskosten zijn mede begrepen de engineerings- en onderzoekskosten. Het minimaliseren van de totale kosten blijft gedurende het gehele ontwerpproces het doel van de ontwerper. Daarnaast kunnen hoge totale kosten reden zijn bepaalde facetten van het programma van eisen bij te stellen.

Van het ontwerpproces wordt in dit boek voornamelijk het voorontwerp belicht. Daarom wordt in par. 3.3 uitvoeriger ingegaan op deze fase van het ontwerpproces.

In dit hoofdstuk wordt de traditionele aanpak van het ontwerp van een schutsluis behandeld. In hoofdstuk 22 “Nieuwe ontwikkelingen” wordt een alternatieve ontwerpmethode gepresenteerd - het zgn. “functioneel ontwerpen” - die uitgaat van de hoofdfuncties die de sluis moet kunnen vervullen en daarbij naar een economisch optimum zoekt over de levensduur. Bij deze ontwerpmethode worden naast de bestaande eisen ten aanzien waterkerende en constructieve veiligheid ook formele betrouwbaarheidseisen ontwikkeld voor het schutten, het peilbeheer en de oeververbinding. Al deze eisen worden dan op een integrale wijze meegenomen in het ontwerpproces.

3.2 Fasen van het ontwerpproces

3.2.1 Overzicht fasen

Een schutsluis doorloopt achtereenvolgens de volgende fasen:

1. Initiatieffase
2. Definitiefase
3. Voorontwerpfase
4. Ontwerpfase
5. Voorbereidingsfase
6. Realisatiefase
7. Gebruiksfase
8. Renovatiefase (eventueel)
9. Sloopfase

Het naleven van de indeling in stappen van de eerste zes fasen is gewenst omdat anders meestal onbeheersbare afwijkingen in tijd en technische projectorganisatie ontstaan, die de opdrachtgever extra geld kosten.

Overigens is hierboven wel het maximaal aantal stappen opgesomd. Om praktische redenen kan hiervan onderbouwd worden afgeweken, zoals bij planstudies, waarbij alleen voorontwerpen op grof niveau worden gemaakt (met de bijbehorende onnauwkeurigheden).

In principe vormen de fasen 1 t/m 5 het ontwerpproces, maar ook tijdens de uitvoeringsfase speelt de ontwerper een belangrijke rol (bij het maken van de werktekeningen en bij het voeren van de directie). Eigenlijk kunnen de fasen 8 en 9 worden onderverdeeld in de subfasen 1 t/m 6, waarbij weer het gehele proces van initiatief t/m uitvoering wordt doorlopen, terwijl na een eventuele renovatie het gebruik volgt.

In de Paragrafen 3.2.2 t/m 3.2.7 wordt nader ingegaan op de fasen 1 t/m 6 die tezamen het ontwerpers-traject vormen. Het voorontwerp krijgt daarbij een wat uitvoeriger beschrijving omdat in dit boek het accent op deze fase ligt.

Voor de beschrijvingen is mede gebruik gemaakt van CUR-publicatie 166 "Damwandconstructies" (Lit. [3.1]) en "Programma van Eisen, tweede sluis Lith" (Lit. [3.2]). Bepaalde tekstgedeelten hieruit zijn letterlijk overgenomen.

3.2.2 Initiatieffase

Nadat door de initiatiefnemer of opdrachtgever is vastgesteld dat een schutsluis een mogelijke oplossing is, zal deze het initiatief nemen voor het doen uitvoeren van een studie waaruit de haalbaarheid van het project in de gegeven situatie zal moeten blijken. Bij de haalbaarheid kan het gaan om een sluisencomplex (één sluis of enkele parallelsluizen) of om een scheepvaartroute in zijn totaliteit met daarin één sluis of meerdere opeenvolgende sluisen. Is het project haalbaar, dan zal aan de hand van de resultaten van de studie een globaal programma van eisen worden opgesteld.

Vaak zijn kunstwerken een vervolg op beleidsnota's, zoals op het gebied van Verkeer en Vervoer en Water, en/of strategienota's voor planologische ontwikkeling. Hierop volgt dan een kosten-batenanalyse met afwegingen op basis van functionele analyse. In sommige gevallen is het verplicht dat het initiatief een Milieu Effect Rapportage-procedure doorloopt. Aan de hand van de resultaten van de haalbaarheidsstudie c.a., beslist de initiatiefnemer of de opdrachtgever over doorgaan of stoppen. Bij de beslissing "doorgaan" gaat vervolgens de definitiefase in.

3.2.3 Definitiefase

Aan de hand van gedetailleerde analyses van de eisen en wensen van de opdrachtgever, die mede afkomstig kunnen zijn uit de planstudieresultaten, wordt in deze fase een programma van eisen voor het sluiscomplex opgesteld door de ontwerper. In hoofdstuk 2 is aangegeven over welke randvoorwaarden

en eisen moet worden beschikt alvorens kan worden begonnen met de volgende fase, die van het voorontwerp. Zoals eerder vermeld zullen bepaalde gegevens en eisen pas nodig zijn in de ontwerpfase.

3.2.4 Voorontwerpfase

In deze fase wordt een aantal mogelijke oplossingen (varianten) van het sluiscomplex ontwikkeld tot globale ontwerpen. De uitwerking dient dusdanig te zijn dat een gefundeerde keuze tussen de gegeneerde oplossingen mogelijk is. Hiervoor is een uitwerkingsniveau noodzakelijk dat voor alle oplossingen gelijkwaardig is. Bij de globale ontwerpen dienen alle voor de keuze bepalende aspecten in beschouwing te worden genomen. Sterkte, stabiliteit en vervormingen moeten aan dezelfde ontwerpcriteria worden getoetst als later bij het definitieve ontwerp het geval is, ook al gaat het veelal nog maar om globale berekeningen. Daarnaast moet aandacht worden geschonken aan uitvoering, bouwtijd, bouwkosten alsmede aan de andere kosten (exploitatie met inbegrip van onderhoud, vervanging en sloop).

Aan de hand van toetsingscriteria voor de gehele constructie wordt een keuze uit de verschillende oplossingen (varianten) gemaakt. Tot de toetsingscriteria kunnen behoren: de mate waarin aan de scheepvaart- en andere eisen wordt voldaan, bouwtijd, kosten en duurzaamheid. In sommige ontwerp-handboeken wordt ook de technische uitvoerbaarheid als criterium genoemd. Het lijkt echter zinnig in de variantennota alleen die oplossingen te vergelijken die uitvoerbaar zijn. Hooguit kan een onderscheid worden gemaakt tussen constructies, waarmee ervaring bestaat en die welke nieuw zijn. Aan deze laatste kan een risico-beschouwing worden gewijd, waarvan de uitkomsten worden meegenomen in de variantenafweging.

De voorontwerpfase bestaat uit de volgende activiteiten:

1. Met het oog op beheersing van de ontwerpqualiteit wordt aan de hand van een Lijst met Kritische Onderdelen en Eigenschappen (LKO's en LKE's) een productkwaliteitsplan opgesteld, dat van voorontwerp tot en met uitvoering "levend" moet blijven.
2. Verder uitwerken van de overall-projecteisen, geformuleerd in het Programma van Eisen - in eisen per discipline.
3. Inventariseren van de mogelijke technische oplossingen voor hoofdzaken zoals geometrie, vul- en ledigingssysteem, deuren en bewegingswerken, hoofden, kolk en remmingwerken.
4. Onderzoek van de technische oplossingen in constructief, technisch en financieel opzicht.
5. Schetsen van haalbare oplossingen nader uitwerken tot varianten met inbegrip van globale ontwerpberekeningen.
6. Kostenramingen maken voor haalbare oplossingen met een bandbreedte van + tot - 20% conform "Uitgangspunten bij het opstellen van ramingen" uit het Project Ramingen Infrastructuur (PRI) van Rijkswaterstaat (Lit. [3.3]).
7. Aanvullende gegevens verzamelen voor de ontwerpfase.
8. Opstellen van een globaal bedieningsplan.
9. Opstellen variantennota voor het beslisdocument "Voorontwerpnota". Een dergelijke nota wordt in ieder geval voor de deurkeuze gemaakt.
10. Gegevens leveren voor vergunningen en procedures.
11. Het maken van het beslisdocument "Voorontwerpnota", waarmee deze fase wordt afgesloten. Het document omvat:
 - nadere uitwerking overall-projecteisen per discipline;
 - criteria voor de beoordeling van varianten;
 - de kansrijke varianten met kostenramingen;
 - gemotiveerd voorstel voor de keuze van één der varianten.

3.2.5 Ontwerpfase

Nadat de beslissing door de opdrachtgever is genomen, wordt de gekozen variant in deze fase verder uitgewerkt. Globaal gesproken betekent dit de volgende activiteiten:

1. Kwaliteitsnota maken in verband met de productkwaliteit van het ontwerp.
2. Uitgangspunten voor ontwerpberekeningen vaststellen.
3. Optimaliseren gekozen variant.

4. Definitieve ontwerpberekeningen maken.
5. Ontwerptekeningen maken.
6. Kostenraming bijstellen (nu met een bandbreedte van + tot - 10%).
7. Beheers- en onderhoudsplan maken.
8. Uitvoeringsstrategie aangeven (inclusief maatregelen, voorzieningen etc.) in de vorm van een uitvoeringsplan met productkwaliteitsnota voor de beheersing van de kwaliteit tijdens de uitvoering.
9. Plan van aanpak opstellen voor de voorbereidingsfase.

3.2.6 Voorbereidingsfase

In deze fase worden het bestek met bijbehorende bouwtekeningen gemaakt. Deze dienen als contract-documenten van de overeenkomst tussen aannemer en opdrachtgever.

Vervolgens worden aanbesteding en gunning voorbereid. Ook tussen deze twee tijdstippen in kan de ontwerper nodig zijn om door de aannemer ingebrachte alternatieven te beoordelen of - indien het om een prestatiebestek gaat - de ingediende ontwerpen in hun totaliteit te beoordelen.

Meestal wordt ernaar gestreefd het bouwen van de gehele sluis in één contract onder te brengen. Het is ook denkbaar meerdere bestekken te maken, die achtereenvolgens worden opgedragen. Daarbij kan er een indeling in bestekken zijn naar disciplines (bijvoorbeeld civiele techniek, staalconstructies, bewegingswerken) maar ook binnen een discipline (bijvoorbeeld civiele techniek opgedeeld in sluislichaam en geleidewerken). De keuze tussen de verschillende contractsoorten is afhankelijk van de strategie van de opdrachtgever: bij één contract berust de coördinatie van de zeer uiteenlopende werkzaamheden bij de opdrachtnemer, bij meerdere bestekken is dit de taak van de opdrachtgever.

3.2.7 Realisatiefase

De taken van de ontwerper kunnen in deze fase bestaan uit het maken van detailberekeningen en werktekeningen (of indien deze zijn uitbesteed, het controleren daarvan) en het voeren van de directie. Namens de opdrachtgever houdt hij in dat laatste geval tot en met de oplevering toezicht op de kwaliteit van het uitgevoerde werk, waarbij ook kosten en tijden worden bewaakt.

Indien het werk onder kwaliteitsborging wordt uitgevoerd, zal het toezicht van de ontwerper zich beperken tot toetsing van de in het kwaliteitsplan van de aannemer opgenomen controles op vooraf vastgestelde punten in het uitvoeringsprogramma. Deze toetsingen kunnen ook door onafhankelijke externe deskundigen uit te voeren "audits" zijn.

Aan het einde van de uitvoering dient een documentatie aanwezig te zijn hoe het sluiscomplex met alle details werkelijk is gemaakt (revisietekeningen, nul-meting etc.). Bovendien worden alle tijdens het ontwerpproces en de realisatiefase ontwikkelde onderhoudsregels verwerkt in een onderhoudsconcept (zie par. 19.5).

3.3 Proces voorontwerp

3.3.1 Inleiding

Tijdens de voorontwerpfase wordt een aantal varianten ontwikkeld en onderling vergeleken. Uit deze vergelijking moet één variant als meest geschikte naar voren komen om in de ontwerpfase te worden uitgewerkt.

De varianten zijn vertalingen van het programma van eisen in concrete, globale ontwerpen van het sluiscomplex. Concreet en globaal in die zin dat kan worden nagegaan in welke mate wordt voldaan aan het programma van eisen, of wordt voldaan aan de eisen van sterkte, stabiliteit en vervormingen en een kostenberekening met een marge van + en - 20%.

Benadrukt wordt dat het gaat om globale ontwerpen die onderling kunnen worden vergeleken en een kostenindicatie geven met relatief ruime marges. Dit betekent bijvoorbeeld dat voor wanden en vloeren van betonconstructies geen wapeningstekeningen moeten worden gemaakt, maar wel dikten moeten worden bepaald waarmee de maximum momenten en dwarskrachten economisch verantwoord kunnen worden opgenomen.

In par. 3.3.2 wordt aan de hand van een stroomschema beschreven hoe het voorontwerp in opeenvolgende stappen wordt doorlopen. Stappen zijn bijvoorbeeld het vul- en ledigingssysteem, de deuren en bewegingswerken. De meeste stappen zijn onderverdeeld in sub-stappen. Voor elke sub-stap is aangegeven welke voorwaarden en gegevens uit het programma van eisen bij het ontwerpen van dit onderdeel moeten worden gebruikt voor zover deze niet zijn vastgelegd door en in de voorgaande stappen.

Par. 3.3.2 heeft betrekking op een sluiscomplex zonder additionele functies ten aanzien van het waterbeheer (beperking waterverliezen, scheiding zout en zoet water, waterlozen en -inlaten). In par. 3.3.3 is aangegeven welke extra voorwaarden en gegevens uit het programma van eisen moeten worden gebruikt voor de verschillende sub-stappen, indien het complex wel een waterbeheerfunctie krijgt.

In veel van de stappen zijn alternatieven mogelijk voor het desbetreffende sluisonderdeel. Par. 3.3.4 geeft voorbeelden wanneer deze alternatieven binnen de betreffende sub-stap met elkaar kunnen worden vergeleken en wanneer het noodzakelijk is om ook de consequenties voor volgende sub-stappen in de vergelijking te betrekken (de vergelijking van bijvoorbeeld twee typen deuren is slechts mogelijk indien ook aandacht wordt besteed aan de hoofden, die voor elk type verschillend zullen zijn).

Par. 3.3.5 vermeldt algemene keuzecriteria voor de selectie van alternatieven, terwijl in par. 3.3.6 enkele indicaties worden gegeven om de hoeveelheid werk bij de selectie te beperken ("meenemen" van verschillende varianten voor een bepaalde sub-stap naar alle volgende stappen kan veel werk betekenen).

3.3.2 Stroomschema voorontwerp sluiscomplex zonder eisen inzake het waterbeheer

In de fig. 3.1 t/m 3.4 is aangegeven hoe in opeenvolgende stappen een voorontwerp wordt ontwikkeld en welke elementen uit het programma van eisen als uitgangspunten worden gebruikt voor elke stap.

Het volledige ontwerp is daartoe ingedeeld in de blokken 1 t/m 12 (van geometrie t/m besturing), waarbij de meeste blokken weer een onderverdeling kennen in opeenvolgende (sub-)stappen, bijvoorbeeld 1a t/m 1l. Voor blokken waarvoor in de voorontwerpfase meestal wordt volstaan met een zeer globale benadering, is geen onderverdeling in sub-stappen gemaakt.

Het ontwerpproces loopt de volgorde van opklimmende cijfers en letters af, tenzij een pijl aangeeft dat moet worden overgestapt naar of teruggekomen van een ander blok of een andere sub-stap in dat blok. Om fig. 3.1 niet al te vol (onoverzichtelijk) te maken is daar niet aangegeven, wáár moet worden afgestapt naar de blokken op de fig. 3.2 t/m 3.4. In de laatste drie figuren is wel vermeld, welke stap op

fig. 3.1 beëindigd moet zijn alvorens hier kan worden begonnen, als ook na welke (sub-)stappen weer moet worden toegeleverd aan bepaalde stappen van fig. 3.1.

De meeste blokken eindigen via een pijl richting "Eindproduct-onderdeel". Door alle onderdelen te verzamelen en optimaal samen te voegen beschikt men over een volledig voorontwerp. Ook blok 2, waarvoor in fig. 3.1 geen "Eindproduct-onderdeel" is aangegeven, omdat de pijlen doorverwijzen naar de blokken 1 en 3, behoort uiteraard tot dat voorontwerp.

In veel van de stappen zijn verschillende oplossingsprincipes mogelijk. Die zullen onderling moeten worden vergeleken alvorens met één oplossing verder te gaan. In sommige gevallen kan deze keuze echter nog niet worden gemaakt omdat de verschillende oplossingsprincipes leiden tot verschillende uitwerkingen (en vooral verschillende kosten) in de daarop volgende stappen. Bij deze varianten-selectie wordt stilgestaan in par. 3.3.4 t/m 3.3.6.

Onder geometrie (blok 1 in figuur 3.1) wordt in eerste instantie verstaan de vormgeving en de horizontale en verticale maatvoering van het sluiscomplex, nodig voor het functioneren. Maar in een volledige maatvoering horen niet alleen de nuttige, te gebruiken afmetingen (zoals de doorvaartbreedte) thuis maar ook de dikten van constructiedelen zoals wanden en vloeren. Dit betekent dat de volledige geometrie pas ontstaat indien aan de uit blok 1 ook die uit de blokken 5 t/m 8 en 10 worden toegevoegd (die uit 2 t/m 4 zijn volgens fig. 3.1 reeds ingevoerd). Dit kan bijvoorbeeld betekenen dat voor het bepalen van de langsstabiliteit van de hoofden (1h) eerst de constructiedikten van vloeren en wanden bekend moeten zijn uit 6b. Echter bij een voorontwerp wordt voor een dergelijke aftastende berekening vaak volstaan met een schatting, die later tijdens het voorontwerp of ontwerp wordt geverifieerd. Al de aan dergelijke activiteiten verbonden volgorde-richtingpijlen zijn niet in de figuren weergegeven. Ontwerpen is nu eenmaal een cyclisch proces, waarbij afmetingen vaak in eerste instantie worden geschat, later geverifieerd op sterkte en stijfheid, en vervolgens zo nodig aangepast. Daarbij wordt opgemerkt dat het er bij een voorontwerp niet om gaat de wapening te bepalen, maar om de constructie een zodanige dikte te geven, dat de maximale momenten en dwarskrachten nog economisch kunnen worden opgenomen. Optimalisering volgt bij het ontwerp. Nu gaat het erom de kosten met een marge van + en - 20% te bepalen.

In de figuren zijn de in te voeren randvoorwaarden en eisen slechts met trefwoorden aangegeven.

In werkelijkheid is bijvoorbeeld in het trefwoord "scheiding scheepsoorten" (bij 1a) opgenomen datgene wat in par. 2.4.2 en in hoofdstuk 4 in zijn algemeenheid daarover is vermeld en dat wat voor het te ontwerpen sluiscomplex meer specifiek is opgenomen in het programma van eisen.

3.3.3 Invloed waterbeheerseisen op het stroomschema

In par. 2.3.3 zijn de volgende eventuele functionele eisen betreffende het waterbeheer onderscheiden:

- a. beperking waterverliezen;
- b. scheiding zout- en zoetwater;
- c. waterlozen en -inlaten.

In het volgende zullen deze functies achtereenvolgens de revue passeren.

a. Beperking waterverliezen

Indien deze eis wordt gesteld zal deze moeten worden meegenomen bij de volgende stappen (zie fig. 3.1 t/m 3.4):

1a en 1b (één sluis of meerdere sluisen naast elkaar resp. al dan niet een tussenhoofd):

in perioden van klein scheepsaanbod (aantal en/of afmetingen) kan het aantrekkelijk zijn te beschikken over kleine sluisoppervlakken teneinde de schutsluiz te beperken.

2 (vullen/ledigen):

bij grote vervallen en strenge eisen aan het waterverlies, kunnen spaarbekkens worden overwogen, die geïntegreerd worden in het vul- en ledigingssysteem. De hoge kosten van een dergelijk systeem moeten worden afgezet tegen die van het terugpompen van water van het lage naar het hoge pand. Door de kleine vervallen in ons land zal een spaarbekkensysteem eigenlijk niet in aanmerking komen tenzij in de toekomst de waterverlies-eisen zouden worden aangescherpt. Een goedkoper systeem is aangelegd bij Maasbracht, waar de halve inhoud van de schutschijf van een kolk via een riool kan worden geleidigd in de ernaast gelegen kolk. Toepassing van dit besparingssysteem betekent gelijktijdig op- en afschutten en zal dus niet altijd in het aanbod passen.

3a (keuze deurtype):

Hefdeuren omsluiten de nuttige ruimte voor de schepen nauwer dan puntdeuren, waardoor de schutschijf wordt beperkt. Ook roldeuren zijn ongunstig door het extra gedeelte van de schutschijf dat zich in de deurkas bevindt. Dit kan worden vermeden door de deur in de richting van de sluisolk aan te drukken (Krammer). Het gaat dan echter om een dure oplossing.

Zeker bij negatieve vervallen veroorzaken puntdeuren grotere lekverliezen dan de meeste andere deurtypen.

b. Scheiding zout- en zoetwater

Deze eis, en trouwens ook de mate waarin de scheiding wordt gewenst, kan van invloed zijn op de volgende stappen:

1a en 1b (één sluis of meerdere sluisen naast elkaar resp. al dan niet een tussenhoofd):

Ook hier kan het aantrekkelijk zijn te beschikken over kleine sluisoppervlakken in perioden van beperkt scheepsaanbod.

1d (drempeldiepte):

Zoals in hoofdstuk 21 wordt uiteengezet kunnen vaste drempels bij sluisen tot 6 m breedte en beweegbare drempels bij grotere sluisen tot de alternatieven voor deze probleemstelling behoren.

2 (vullen en ledigen):

Bij strenge eisen ten aanzien van de mate van zout/zoetscheiding ontstaan systemen die het nivelleerproces volledig bepalen, zoals het Duinkerken-systeem. Deze zeer kostbare systemen zullen ook consequenties hebben voor de geometrie van het sluislichaam en de voorhavens (bijvoorbeeld verdiepte bodems, voldoende breed voor een zoute liftbak en riolen). Voor de beschrijving zie hoofdstuk 21.

c. Waterlozen en -inlaten

Waterlozen en -inlaten moet worden meegenomen bij de volgende stappen:

1a (één sluis of meerdere sluisen naast elkaar):

Bij meerdere sluisen naast elkaar is het mogelijk in perioden van beperkt scheepsaanbod één sluis te gebruiken voor het schutten en de andere(n) voor het spuien van water, bijvoorbeeld via de deuropeningen voor het vullen en ledigen.

2 (vullen/ledigen):

Voor het spuien kan worden overwogen de vul- en ledigingsvoorzieningen voor het normale nivelleerregime te gebruiken (bij één sluis buiten de normale bedrijfstijden of bij geen scheepsaanbod). Het is denkbaar de maximale doorstroomcapaciteit van de nivelleervoorzieningen te vergroten met het oog op het spuidebiet. Bij grotere te spuien debieten dan wel bij een zeer intensief door de scheepvaart benutte sluis zullen aparte riolen of waterlopen voor het spuien worden gemaakt. Deze zullen vooral invloed hebben op de geometrie van de voorhavens. Voor de restricties die met het oog op de hinder voor de scheepvaart worden gesteld aan de stromingsbeelden en -snelheden wordt verwezen naar par. 2.3.3.4.

3.3.4 Varianten

In veel van de stappen zijn variantoplossingen mogelijk voor de gestelde eisen. Daarbij kan een onderscheid worden gemaakt tussen alternatieven die binnen de desbetreffende stap onderling kunnen worden vergeleken en de meer voorkomende waarbij de varianten mee moeten worden genomen naar één of meerdere van de volgende stappen omdat de alternatieven ook daar consequenties hebben. In het navolgende worden enige voorbeelden gegeven van beide categorieën.

Voorbeelden van alternatieven die binnen één stap kunnen worden vergeleken:

5a *Kolk, keuze van de bouwwijze.*

Behoudens de afstemming op de bouwwijze van de hoofden kan de keuze worden gemaakt zonder dat dit grote consequenties heeft voor de daaropvolgende stappen. De oplossingsprincipes en de keuzecriteria worden beschreven in hoofdstuk 9.

7 *Remmingwerken.*

Behoudens de afstemming op de vleugelwanden kan binnen dit projectgedeelte een keuze worden gedaan uit de mogelijke oplossingsprincipes zonder dat dit de andere stappen beïnvloedt.

Voorbeelden van alternatieven, waarvoor ook volgende stappen moeten worden onderzocht:

1a *Geometrie, één sluis of meerdere parallelsluizen?*

De keuze kan niet worden gemaakt dan nadat een verdere uitwerking (van de volgende stappen) heeft plaatsgevonden. Daarbij wordt opgemerkt dat meerdere parallelsluizen in het algemeen slechts in aanmerking komen bij een groot scheepsaanbod of bij een nadrukkelijke voorkeur voor het scheiden van scheepsoorten.

1b *Geometrie, tussenhoofd?*

Toepassing van een tussenhoofd zal onder meer consequenties hebben voor het programma van het vul- en ledigingssysteem en eventueel voor het aantal reservedeuren.

1d *Geometrie, dekzerk- en deurhoogten, drempeldiepten.*

In hoofdstuk 4 wordt uiteengezet dat naast de oplossing waarbij de dekzerkhoogte en de drempeldiepte voor de gehele sluis gelijk zijn, terwijl de bovenkanten van alle deuren zich op hetzelfde niveau bevinden, nog een groot aantal alternatieven kan worden gegenereerd (verschillende niveaus per hoofd etc.). Worden deze varianten onderling vergeleken, dan kan men zich niet beperken tot het sluislichaam maar moeten ook de kosten van deuren, extra reservedeuren etc. in de beschouwing worden betrokken. Bij sluizen met niet te grote vervallen, zowel tijdens het schutbedrijf als tijdens het keren van extreme waterstanden, zal als regel de voorkeur uitgaan naar gelijke hoogte- en diepteliggingen. Voor het overige zie hoofdstuk 4.

1g *Geometrie, schotbalken?*

Schotbalken zijn synoniem met droogzetten. De keuze voor droogzetten kan alleen worden gemaakt nadat de constructieve en financiële consequenties voor het sluislichaam zijn onderzocht. Opgemerkt wordt dat droogzetten van de kolk weinig zinvol is en dat voor onderhoud van draaipunten, aanslaglijsten c.a. in de hoofden, tegenwoordig vaak wordt gekozen voor tijdelijke, lokale droogzetmiddelen (taatskuipen etc.).

2a *Vullen/ledigen, keuze systeem.*

Een keuze kan slechts worden gemaakt indien ook de bouwkosten van de verschillende mogelijkheden bekend zijn. Dit betreft vooral de deuren en de hoofden (bij riolen en woelkelders). Zoals in par. 6.2.2 is vermeld wordt om economische redenen bij vervallen tot 6 m de voorkeur gegeven aan deuropeningen.

3a *Deuren, keuze type.*

De keuze van het type is onlosmakelijk verbonden met de vormgeving en daarmee met de kosten van de hoofden.

3.3.5 Keuzecriteria

In de voorgaande paragraaf zijn voorbeelden gegeven van stappen, waarin variantoplossingen kunnen worden gegenereerd. Variantoplossingen waaruit, in de betreffende stap of nadat meerdere volgende stappen eveneens globaal zijn uitgewerkt, een keuze moet worden gemaakt. Keuzecriteria daarbij zijn:

1. De mate waarin wordt voldaan aan het programma van eisen.
In bepaalde oplossingen zullen niet alle eisen volledig tot hun recht komen. Zo is een kruisende tunnel of in bepaalde gevallen een hoge brug voor het landverkeer in de meeste gevallen de beste oplossing voor de afwikkeling van het scheepvaart- en het landverkeer. Op grond van andere toetsingscriteria (zoals kosten) worden veelal beweegbare bruggen gekozen, waarbij aan beide soorten verkeer zekere beperkingen worden opgelegd. Andere voorbeelden van conflicterende eisen - waarvoor in het algemeen een compromis moet worden gevonden - zijn:
 - Scheepvaart (vlotheid van afwikkeling) versus morfologie (beperking sedimentatie) bij de vormgeving van voorhavens. Een voorbeeld vindt men bij de uitwerking van de mond (vorm en grootte) van de voorhavens van Lith (Lit. [3.4]).
 - Vlotheid schutten versus waterbeheereisen (beperking waterverliezen en zoutindringing). Voorbeelden ter zake van waterverliezen vindt men in de nota's voor de sluizen in de Zuid-Willemsvaart en het Twenthe-Mittellandkanaal (Lit. [3.5] en [3.6]).
 - Veilig en vlot afmeren versus spuistroming in de voorhavens. Aanwijzingen hoe om te gaan met deze tegenstrijdige eisen zijn vermeld in par. 2.3.3.4 en 5.3.4.Ook in par. 5.2 wordt een aantal conflicterende eisen behandeld.

In wezen betekent het vinden van compromissen bij conflicterende eisen evenals het aanpassen van eisen in verband met te hoge kosten, dat het programma van eisen wordt bijgesteld.

2. Het voldoen aan de eisen van sterkte, stabiliteit en toelaatbare vervormingen.
Veelal worden deze eisen ontleend aan de normen, richtlijnen en aanbevelingen (par. 2.9), maar bij bepaalde sluisonderdelen zullen hiervoor aanvullende eisen moeten worden gesteld, zoals de toelaatbare vervormingen van de hoofden met het oog op de beweging en de afdichting van de deuren.
3. Het voldoen aan de eisen van duurzaamheid als geformuleerd in par. 2.4.15, levensduureisen.
In wezen valt dit onder criterium 1, de mate waarin wordt voldaan aan het programma van eisen. Voor de duurzaamheid geldt echter dat in een kostencompris niet mag worden gekozen voor een levensduur korter dan de geëiste, behoudens voor die onderdelen waar vervanging wenselijk, mogelijk en financieel aantrekkelijk is (zie par. 2.4.15.1).
4. De uitvoerbaarheid.
Zoals eerder opgemerkt, is dit eigenlijk geen punt voor de variantenvergelijking: het gaat niet aan om varianten die naar alle waarschijnlijkheid niet gemaakt kunnen worden te vergelijken met varianten die wél uitgevoerd kunnen worden. Indien getwijfeld wordt aan het kunnen uitvoeren van een bepaalde variant behoort dit in een aparte studie te worden onderzocht. Dat de uitvoerbaarheid hier toch als criterium wordt opgevoerd, is gedaan omdat dit punt in veel boeken en rapporten wordt vermeld.
5. De ervaring met de voorgestelde oplossing.
Nieuwe ideeën brengen de bouw en de maatschappij vooruit. Anderzijds bestaan er, in vergelijking met bekende oplossingen, zekere risico's. Deze kunnen ten dele worden ondervangen door studies en onderzoek waarvoor financiële middelen moeten worden gereserveerd. Daarnaast bestaat de mogelijkheid dat niet-voorzien, ongewenste effecten optreden, voor de oplossing waarvan kosten moeten worden gemaakt. Hiervoor is een risico-beschouwing nodig, die resulteert in een

gewogen kostenbegroting van het desbetreffende “nieuwe” onderdeel. Daarbij speelt ook een rol dat voor de raming van kosten bij traditionele oplossingen kan worden teruggevallen op ervaringscijfers, terwijl dit bij geheel nieuwe constructies niet mogelijk is.

6. De bouwtijd kan een rol spelen bij de keuze alsook bij het financieringsschema. Zo zal bijvoorbeeld een grondverbetering onder het sluislichaam leiden tot een langere bouwtijd dan een fundering op palen. Een langere bouwtijd, ook van onderdelen, kan hogere bouwrente en/of een latere ingebruikneming veroorzaken.
7. Gestreefd moet worden naar een minimum aan totale kosten, dus de som van investeringen, van de contante waarde van exploitatie (met inbegrip van onderhoud), vervanging gedurende de levensduur en sloop. De kosten van engineering en onderzoek moeten worden meegeteld.

Per onderdeel zullen, eventueel in relatie tot de andere onderdelen (c.q. stappen in het ontwerpproces), naast deze algemene keuzecriteria, meer toegesneden beoordelingsmaatstaven worden aangehouden.

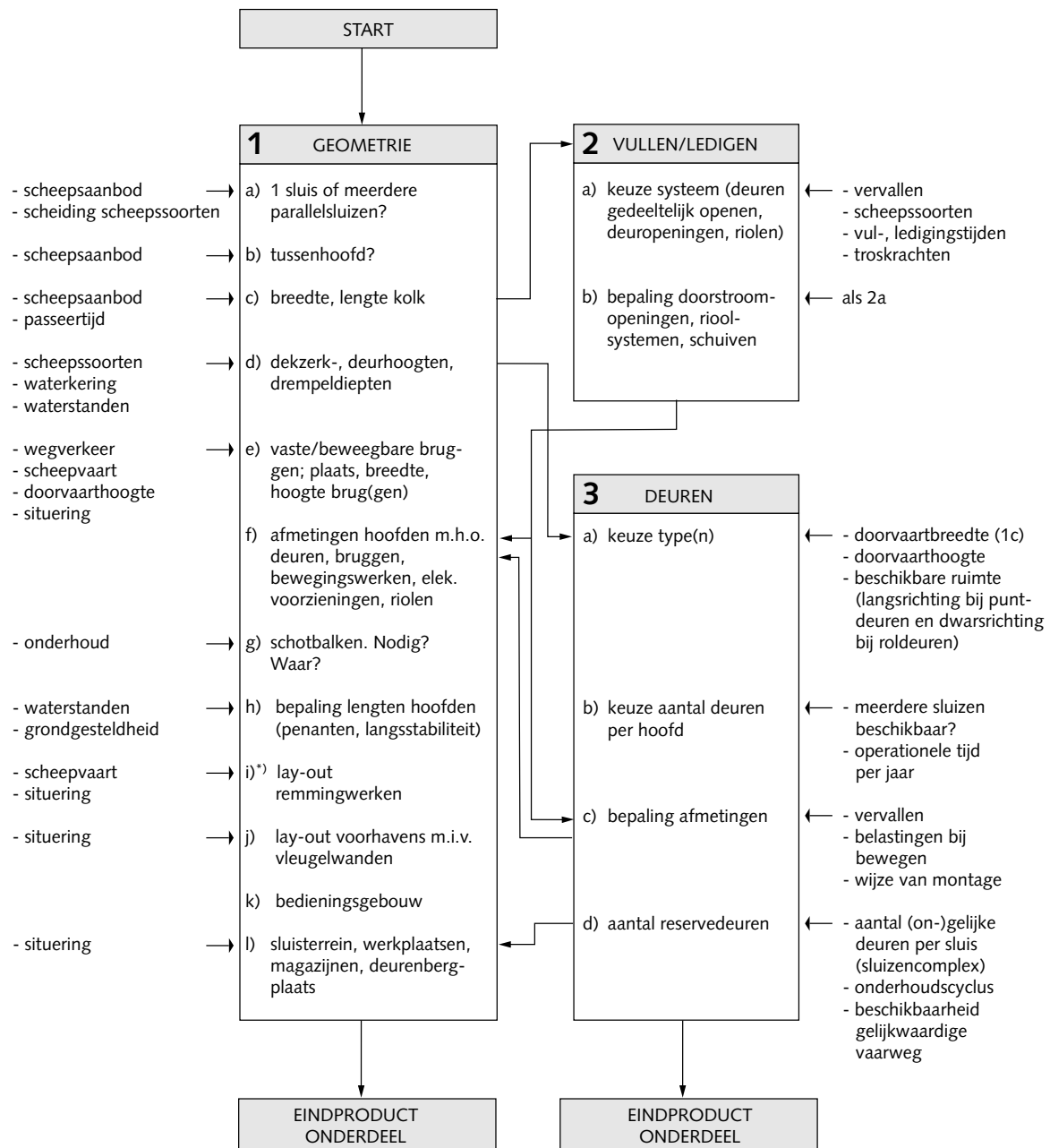
3.3.6 Selectie

Zoals in par. 3.3.4 is vermeld, zijn binnen vrijwel elke stap van het ontwerpproces varianten mogelijk. Om die varianten onderling te kunnen vergelijken, moeten ze vaak meegenomen worden naar volgende stappen (puntdeuren vragen om andere hoofden dan roldeuren).

Vooraf door deze “meeneem-noodzaak” kan het gevaar voor een n-faculteit-lawine aan varianten voor het gehele sluiscomplex ontstaan. Het grootste gevaar zit hem in de daaraan verbonden ontwerp- en beoordelingswerkzaamheden. De hoeveelheid werk wordt echter sterk beperkt doordat niet elke variant uit een bepaalde stap technische en financiële consequenties heeft voor alle daarop volgende stappen (de keuze van het deurtype heeft bijvoorbeeld geen invloed op het bedieningsgebouw en de constructie van kolk en remmingwerken etc.).

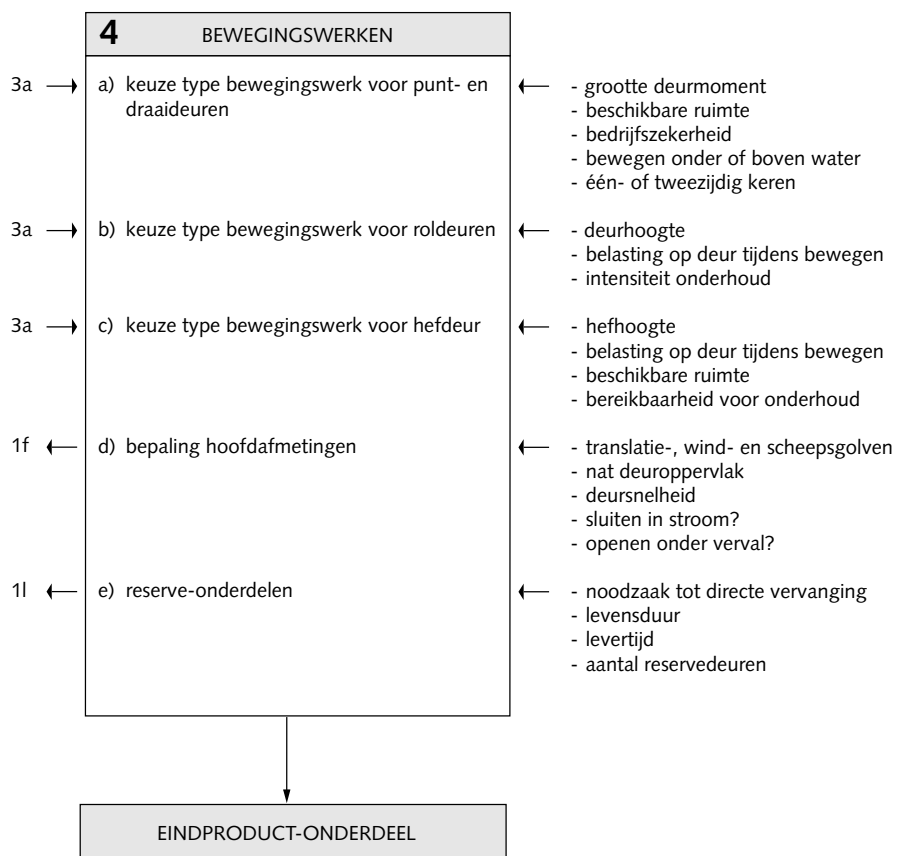
Toch zal men ernaar streven de hoeveelheid ontwerpwerk te beperken. Mogelijkheden hiervoor zijn:

- Zoveel mogelijk een keuze maken per stap (dit voorkomt het n-faculteit-effect).
- Waar dit niet mogelijk is - omdat de invloed op navolgende stappen te groot is - kan vaak worden volstaan met grove afschattingen van de technische en financiële consequenties voor de volgende stappen voor zover deze van belang zijn.
- Bij de vergelijking van alternatieven alleen die opvolgende stappen in de (kosten-)beschouwing betrekken, die door de alternatieven worden beïnvloed. De andere stappen kunnen dan buiten beschouwing worden gelaten.



*) = kan beginnen ná 1d

Figuur 3.1 Eerste blad stroomschema voorontwerp

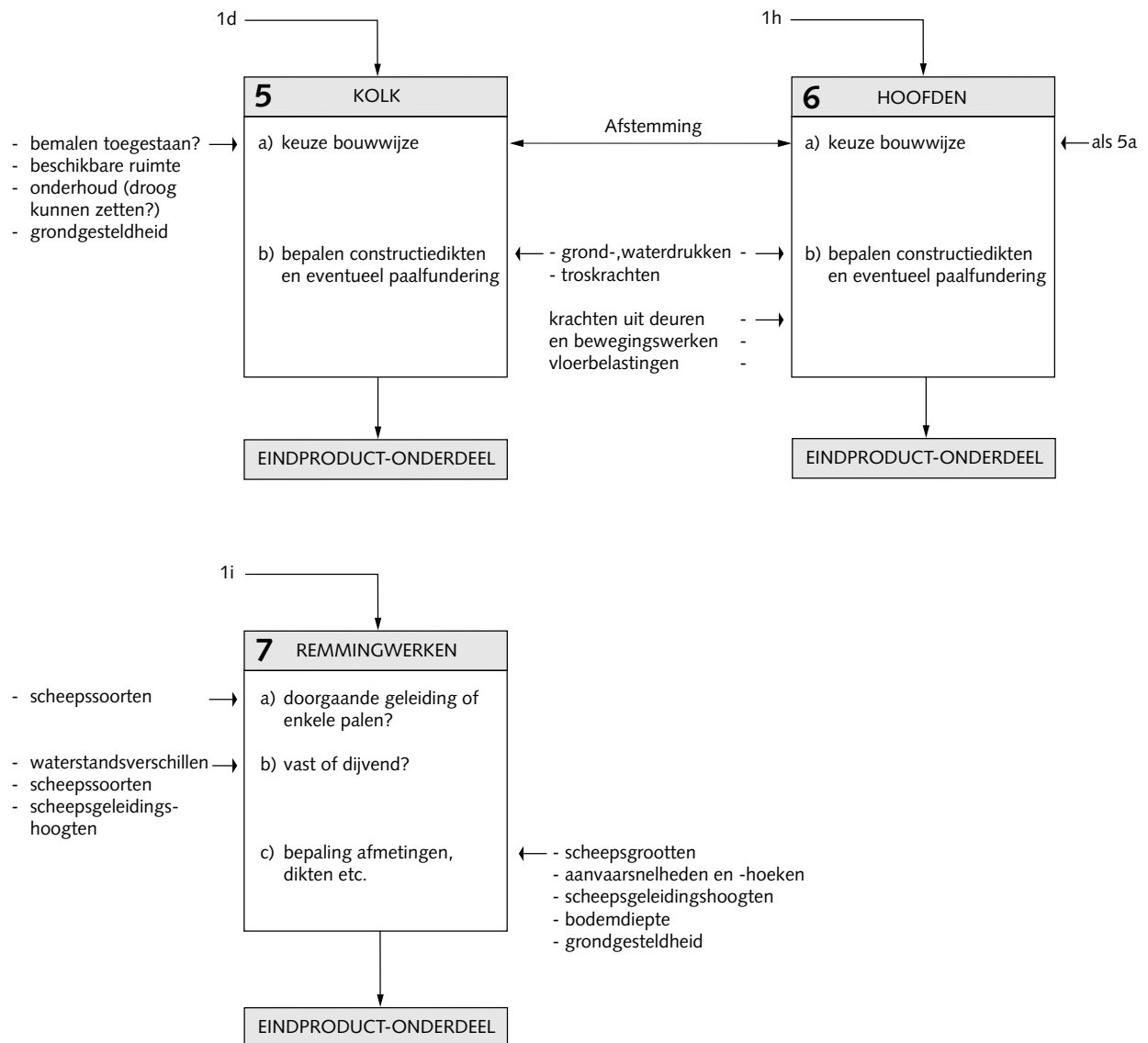


Legenda:

"3a → " betekent: 4a t/m c gerelateerd aan 3a uit fig. 3.1

"1f ← " betekent: resultaat 4d nodig voor 1f uit fig. 3.1

Figuur 3.2 Tweede blad stroomschema voorontwerp



Legenda:

"1d →" betekent: blok 5 volgt na 1d uit fig. 3.1

Figuur 3.3 Derde blad stroomschema voorontwerp

8 ONDER- EN ACHTERLOOPSHEIDSCHERMEN

Aansluiten : ná 1 h
Invoer uit P.v.E. : - vervallen
- grondgesteldheid
Relatie met : 1j (vleugelwanden)

9 VERLICHTING, MARKERING, SIGNALERING, BEBORDING, COMMUNICATIEMIDDELEN

Aansluiten : ná 1i
Invoer uit P.v.E. : - voorschriften dienaangaande (par. 2.4.8)
- situering
Relatie met : 1l (sluisterrein)

10 BODEM- EN OEVERBEKLEDING VOORHAVENS

Aansluiten : ná 1j
Invoer uit P.v.E. : - waterstanden, windgolven
- golven en stromingen, turbulenties door scheepvaart
- vul- en ledigingsstromen

11 ENERGIEVOORZIENING

Aansluiten : ná 9
Invoer : - energiebehoefte uit 1e, 1k, 1l, 2b, 4 en 9
- aansluitmogelijkheden openbaar net
- noodstroombehoefte
- uitvoeringsbehoefte

NB: Soms is het beschikbaar vermogen van het openbaar net uitgangspunt (randvoorwaarde) voor het ontwerp en is er dus geen sprake van "Aansluiten: n· 9"

12 BESTURINGSSYSTEEM (ELEKTRISCHE INSTALLATIES, SOFTWARE)

Aansluiten : ná 11
Invoer uit P.v.E. : - procesbeschrijvingen (par. 2.4.6.1)

NB: Ook de blokken 8 t/m 12 eindigen in een EINDPRODUCT-ONDERDEEL

Figuur 3.4 Vierde blad stroomschema voorontwerp

Literatuur

- [3.1] 'Damwandconstructies', CUR-publicatie 166, Gouda, mei 1994 (2e druk).
- [3.2] 'Programma van Eisen tweede sluis Lith', Bouwdienst Rijkswaterstaat, Utrecht, december 1993.
- [3.3] 'Uitgangspunten bij het opstellen van ramingen', Project Ramingen Infrastructuur (PRI), Rijkswaterstaat (uitgangspunten worden jaarlijks bijgesteld).
- [3.4] 'Voorhavens tweede sluis Lith', Hydraulisch/morfologisch nautisch onderzoek', WL Q 568, april 1994.
- [3.5] 'Sluizen in de Zuid-Willemsvaart; Sluis Schijndel/Sluis Helmond', WL Q 389, november 1990.
- [3.6] 'Twenthe-Mittellandkanaal, projectnota', Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 1994.



Foto 4.1 Invaren van Princess of Scandinavia in Middensluis te IJmuiden, 1 juli 1992

Hoofdstuk 4 **Hoofdafmetingen van Schutsluis en Voorhavens**

4.1 **Inleiding**

Al in een vroeg stadium van het ontwerpproces moeten de hoofdafmetingen van de sluis en de voorhaven bepaald worden om te kunnen beslissen over de economische haalbaarheid en de technische uitvoering van het project. Met hoofdafmetingen worden bedoeld de horizontale afmetingen (lengte en breedte) van de kolk en voorhaven en de peilmaten van de sluis (drempel, bodem, dekzerk, bovenkant deurbepaling, doorvaart etc.).

Uitgangspunt voor de ontwerper is het programma van eisen waarin voor het ontwerp de randvoorwaarden, de functionele eisen en de eisen qua gebruik, onderhoud en omgeving voor het ontwerp vastliggen (hoofdstuk 2). De functionele eisen betreffen behalve de functies voor de scheepvaart (par. 2.3.1) ook die van de waterkering, het waterbeheer en de kruising met het landverkeer (par. 2.3.2 t/m 2.3.4). De ontwerper zal als onderdeel van het voorontwerp eerst een aantal varianten van de sluis genereren (par. 3.3). Er zijn veel factoren en overwegingen die al snel richting geven aan de keuze van mogelijk goede oplossingen. Zaken die daarbij aan de orde komen zijn de hoofdafmetingen van de sluis, of de keuze voor meerdere sluizen, of de sluis aparte voorzieningen moet hebben zoals een tussenhoofd, spaarbekkens, spuumogelijkheden of een zout/zoet-bestrijdingssysteem etc. Dit hoofdstuk is bedoeld om de ontwerper regels en methoden aan te reiken voor het bepalen van de hoofdafmetingen van de sluis en de voorhaven. Enige aandacht wordt ook geschonken aan de eventuele noodzaak van meerdere kolken. Er wordt vanuit gegaan dat de sluis geen aparte voorzieningen nodig heeft, in de zin zoals hiervoor vermeld.

Omdat de sluis gezien moet worden in samenhang met de infrastructuur waarvan hij deel uitmaakt en de schepen die de sluis moeten kunnen passeren, worden eerst de belangrijkste karakteristieken van vaarwegen en schepen beschreven (par. 4.2).

De sluis zal een bepaald verkeersaanbod van schepen vlot en veilig moeten kunnen verwerken, m.a.w. een bepaalde schutcapaciteit hebben. Het te verwerken verkeersaanbod volgt uit prognoses van het toekomstige goederenvervoer en de ontwikkelingen in de vloot, vooral qua afmetingen (par. 4.3). Uit dit verkeersaanbod volgt de vereiste schutcapaciteit van de sluis die in sterke mate wordt bepaald door de *horizontale afmetingen van de schutsluis* en de snelheid van het verkeersafwikkelingsproces. In par. 4.4.2 wordt een aantal methoden gepresenteerd waarmee voor een bepaalde schutcapaciteit deze horizontale afmetingen bepaald kunnen worden.

De *verticale afmetingen van de schutsluis* (waterdiepten en peilmaten sluis) bepalen mede de capaciteit van de sluis als die wordt uitgedrukt in tonnen vervoer. Bij een grotere diepgang en een grotere doorvaarthoogte kunnen per schip (en dus per schutting) meer goederen de sluis passeren. De verticale afmetingen uit nautisch oogpunt (niveau van drempels, sluisplateau en geleidewerken) worden behandeld in de paragrafen 4.4.3 t/m 4.4.5. De belangrijkste niet-nautische functie van de sluis is die van waterkering. Deze bepaalt de kerende hoogte van minimaal één sluishoofd met deuren (par. 4.5).

Aan de hand van de in de vorige paragrafen bepaalde nautische en waterkerende afmetingen alsmede constructieve overwegingen, worden in par. 4.6 de *resulterende horizontale afmetingen en peilmaten* van de schutsluis bepaald.

Om de vereiste schutcapaciteit te realiseren moet de ontwerper ook de *horizontale afmetingen van de voorhavens* bepalen. Dit om een veilige en vlotte afwikkeling van de invarende, uitvarende en wachtende schepen mogelijk te maken (par. 4.7). Het gebruik van voorhavens voor overnachten/rusten is

door het in werking treden van de 'vaartijdenwet' steeds belangrijker geworden. Dit kan tot gevolg hebben dat er (veel) extra ligplaatsen in de voorhaven moeten worden ingericht die de horizontale afmetingen van de voorhaven verder bepalen (par. 4.8).

In het volgende hoofdstuk (Hfdst. 5, Lay-out van het sluiscomplex) worden de verschillende horizontale afmetingen en peilmaten samengebracht en ingepast in de bestaande infrastructuur zodat een compleet beeld van het sluiscomplex verkregen wordt. Opgemerkt wordt verder dat in de hoofdstukken 4 en 5 onderscheid gemaakt wordt in zeevaart, binnenvaart en recreatievaart. Er wordt weinig aandacht aan de economische afweging gegeven.

4.2 Algemeen

4.2.1 Classificatie van vaarwegen

Vaarwegen kunnen worden onderscheiden naar gebruikersgroep: zeevaart, binnenvaart en recreatievaart. Per vaarweg zijn vaak meerdere gebruikersgroepen te vinden, zoals zeevaart met binnenvaart of binnenvaart met recreatievaart. De vaarweg is per gebruikersgroep ingedeeld in een vaarwegclassificatie, bijvoorbeeld in CEMT klassen. De classificaties zijn als volgt samen te vatten

gebruikersgroep	vaarwegclassificatie
zeevaart	bepaalde classificatie (Lit. [4.2])
binnenvaart	CEMT (Lit. [4.1])
recreatievaart	CVB richtlijn (Lit. [4.3]), indeling BRTN

Tabel 4.1 Gebruikersgroep en vaarwegclassificatie

Zeevaarwegen

Voor vaarwegen bestemd voor grote zeeschepen is voor de Nederlandse situatie geen zinvolle classering bekend. Voor de internationale scheepvaart is een bekende standaard het Panamakanaal waarbij het grootste schip dat dit kan passeren de 'Panamax' (afmetingen 235 x 32,2 x 13,5 m³) is.

Door PIANC (International Navigation Association) is voor zee/binnenschepen een aantal standaardschepen gedefinieerd (zie Tabel 4.4 en Appendix A4.5). Deze sluit goed aan bij de CEMT vaarwegclassificatie van binnenvaarwegen en kunnen voor een vaarwegclassificatie gebruikt worden.

Binnenvaarwegen

De meest bekende classificatie van vaarwegen is die van de ECMT (European Conference of Ministers of Transport, of CEMT (Conference Europeene des Ministres de Transport), Lit. [4.1]. De CEMT classificatie (Tabel 4.4 en Appendix A4.5, met klassen I t/m VII) is in feite een toegankelijkheidsclassering voor een aantal standaard binnenvaartschepen. Als standaardschepen kunnen genoemd worden Spits (I), Kempenaar (II), DEK-schip (III), RHK-schip (IV), GRS-schip (Va), duweenhed (Va,b, 1 bak breed en VIa,b,c, > 1 bak breed).

In Nederland zijn door de CVB (Commissie Vaarweg Beheerders) Richtlijnen van Vaarwegen opgesteld (Lit. [4.3]). In deze richtlijnen zijn op basis van de CEMT classificatie afmetingen van vaarwegvakken opgesteld voor vaarwegklassen I t/m Vb. Voor reconstructieprojecten is nog een klasse IIa toegevoegd. In de richtlijnen zijn de afmetingen van vrije ruimte voor rechte vaarwegen gepresenteerd voor een normaal tweestrooks, krap tweestrooks en eenrichtingsprofiel met breedtetoeslagen voor wind en bochten. De afmetingen betreffen de bodembreedte, de breedte bij een waterdiepte gelijk aan de diepgang van het geladen standaardschip plus breedte in ongeladen kielvlak, de waterdiepte en de doorvaarthoogte. De waterdiepte bij het normale profiel komt overeen met 1,4 maal de diepgang van het standaardschip, bij het krappe profiel is dat 1,3.

Voor de Nederlandse situatie verdient het sterk aanbeveling uit te gaan van deze eenduidige classificatie van de CVB voor de vaarwegen tot en met klasse V. De beheerder zal alleen op het punt van toegestane diepgang en doorvaarthoogte hiervan wel eens afwijken op grond van beleidsoverwegingen (economisch belang), internationale afspraken of technische mogelijkheden: bijvoorbeeld vaart met 3 of 4 lagen containers of Rijnvaarthoogte van 9,10 m boven Maatgevend Hoogwater.

Vaarwegen worden in de praktijk ook wel aangeduid als geschikt voor een bepaalde "laadvermogen klasse". Voor dimensionering van vaarwegen en kunstwerken is dat echter geen goede grootheid als er niet bij vermeld is welke scheepsafmetingen daar bij horen. De fysieke toegankelijkheid zal immers meestal beperkt worden door een of meer van die afmetingen.

Op de CD-Rom 'Vaarwegkenmerken in Nederland' (VIN) (Lit. [4.12]) worden voor elke vaarweg in Nederland eenduidig de maximaal toegelaten scheepsafmetingen gegeven. Dit is daardoor een zeer praktische informatiebron.

Recreatievaarwegen

De CVB heeft in de Richtlijnen (Lit. [4.3]) ook de recreatievaarwegen in klassen onderverdeeld, te weten ZM1 t/m ZM4 (zeil-/motorboten), M1 t/m M4 (motorboten) en BV1 en BV2 (bruine vloot). De klassen horen bij standaardafmetingen van zeilboten, motorboten en de bruine vloot. Voor verschillende vaarwegklassen zijn afmetingen van de vaarwegvakken gegeven voor het normale en het krappe profiel. Verder is ook sprake van een intensiteitsprofiel bij druk verkeer. Afgezien van deze richtlijnen wordt aangeraden van geval tot geval maatgevende schepen en combinaties daarvan te bepalen, omdat de (toekomstige) vlootsamenstelling plaatselijk zeer verschillend kan zijn.

Vaarwegvakken van gemengd verkeer (beroeps- en recreatievaart) volgen voor de hoofdafmetingen in principe de regels voor vaarwegvakken bij alleen beroepsvaart. Voor de inrichting en uitrusting wordt in de CVB met beide gebruikersgroepen rekening gehouden.

4.2.2 Classificatie van schepen

Zeeschepen

Tot de groep zeeschepen behoren zeer uiteenlopende schepen zoals grote zeeschepen (tankers, bulkcarriers, containerschepen, vrachtschepen, ro-ro-schepen, passagiersschepen etc.), bagger- en werkvaartuigen, coasters, bevoorradingschepen, marineschepen, vissersschepen, zee/binnenschepen (lengte tot orde 135 m), zeesleepboten etc. Bij grote sluizen aan de kust moet op al deze soorten gerekend worden.

Voor zeeschepen is geen echte classificatie beschikbaar, afgezien van de eerder genoemde zogenaamde Panamax schepen. Overzichten van afmetingen van zeeschepen zijn te vinden in het Lloyds Register of Ships.

Alleen voor kleine zeeschepen die ook aan de binnenvaart deelnemen, de zogenaamde zee-/binnenschepen, kan de classificatie van het PIANC gebruikt worden (Lit. [4.2]). Voor de standaardisatie van deze schepen is in 1996 door PIANC een aanzet gegeven door drie scheepsklassen te definiëren die nauw aansluiten bij de CEMT classificatie voor de binnenvaart. Tabel 4.2 geeft daarvan een overzicht.

CEMT klasse	R/S klasse (River/Sea)	scheepsafmetingen (m)			minimum brug- passage hoogte (m)
		lengte	breedte	diepgang	
Va	1	80-90	11,4	3,5-4,5	7,0
VIb	2	110-120	15,0	3,5-4,5	9,1
VIb	3	135	22,8	4,0-4,5	9,1

Tabel 4.2 River/Sea klasse schepen

Deze schepen, in de praktijk ook wel kruiplijncoasters genoemd, zijn over het algemeen wat breder en dieper dan binnenschepen met dezelfde lengte. De scheepsafmetingen volgens deze Tabel kunnen goed gebruikt worden voor renovatieprojecten. Voor het bouwen van sluizen in nieuwe vaarwegen beveelt PIANC echter wat grotere scheepsafmetingen aan, zoals samengevat in Tabel 4.3.

R/S klasse (River/Sea)	maximum toelaatbare scheepsafmetingen (m)			minimum brug- passage hoogte (m)
	lengte	breedte	diepgang	
1	90	13,0	3,5 of 4,5	7,0 of 9,1
2	135	16,0	3,5 of 4,5	≥ 9,1
3	135	22,8	4,0 of 4,5	≥ 9,1

Tabel 4.3 River/Sea klasse schepen voor sluisontwerp

Binnenvaartschepen

Voor de binnenvaartschepen zijn in Nederland drie classificaties in gebruik:

- De CEMT vaarwegclassificatie is in feite een scheepsclassificatie voor de binnen(-vracht)vaart. De klassen worden met Romeinse cijfers I t/m VI aangeduid (zie Tabel 4.4 en Appendix A4.5). Zolang het om enkelvoudige motorschepen gaat is het vrij duidelijk wat voor schip bij een bepaalde lengte x breedtemaat hoort. Bij de klassen V en groter komen echter uiteenlopende vaartuigen voor. Er zijn aanwijzingen dat in de nabije toekomst een 'tussenklasse' ontstaat van motorschepen van 135 x 17 m², die nu zijn aangewezen op CEMT klasse VI vaarwegen. De verscheidenheid van schepen is een complicerende factor bij het bepalen van de benodigde kolkafmetingen.

CEMT klasse	type schip	lengte L (m)	breedte B (m)	diepgang T (m)		strijkhogte H (m)
				leeg	geladen	
I	Spits	39	5,1	1,2	2,2	5,0
II	Kempenaar	55	6,6	1,4	2,5	6,0
(IIa) **)	Hagenaar	56 of 67	7,2	1,4	2,5	6,3
III ***)	Dortmunder	67 of 80	8,2	1,5	2,5	6,3
IV	Rijn-Hernekanaalschip	85	9,5	1,6	2,8	6,7
Va	Groot Rijnschip 1-baks duwstel	110	11,4	1,8	3,5	6,7/8,8 *)
Vb	2-baks duwstel	186,5	11,4	1,8	4,0	8,8
Vla	2-baks duwstel	110	22,8	1,8	4,0	8,8
Vlb	4-baks duwstel	186,5	22,8	1,8	4,0	8,8

*) 6,7 m is voor vaarwegen met weinig containervaart, 3 lagen containers; tevens hoog genoeg voor 70% van de ongeladen schepen.

8,8 m Is voor vaarwegen met veel (> ongeveer 10.000 TEU per jaar) containervaart, vier lagen containers; tevens hoog genoeg voor 90-95% van de ongeladen schepen

**) (IIa) alleen bij reconstructie van bestaande vaarwegen of kunstwerken

***) III lengte 80 m is CEMT-klasse IIIa

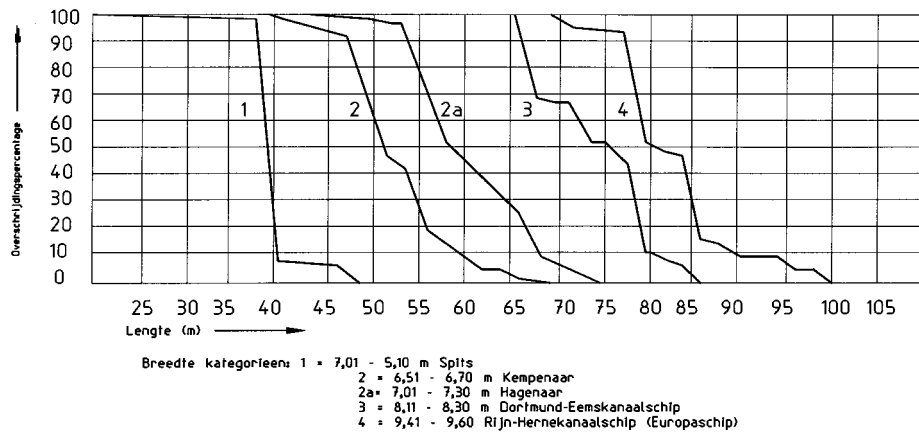
Tabel 4.4 CEMT-klasse schepen

- In het Verkeerstoeelingsmodel dat gebruikt wordt voor prognoses van het verkeersaanbod (VTM, zie par. 4.3.3) wordt een classificatie gebruikt, gebaseerd op tien laadvermogenklassen. In Appendix A4.5 staat een tabel die het verschil en de overeenkomst met de CEMT klassen toont. Per laadvermogenklasse is ook een 'standaardschip' gedefinieerd, omdat voor dimensionering concrete scheepsafmetingen nodig zijn. In het VTM zelf wordt voor de berekening met uniforme 'normaalschip-equivalenten' (fictief schip van 125 ton) gewerkt.
- Voor scheepvaartstatistieken worden op diverse telpunten gegevens verzameld in het IVS (Informatie Verwerkend Systeem) van Rijkswaterstaat. Daarbij worden naast andere kenmerken van de schepen, ook het laadvermogen, de afmetingen en het scheepstype genoteerd. Voor dat laatste wordt een codering gebruikt (1 t/m 89, zie Appendix A4.5). Het is van belang het scheepstype te kennen met het oog op scheepseigenschappen (zoals manoeuvreervermogen, kwetsbaarheid, etc), die invloed hebben op het sluisontwerp.

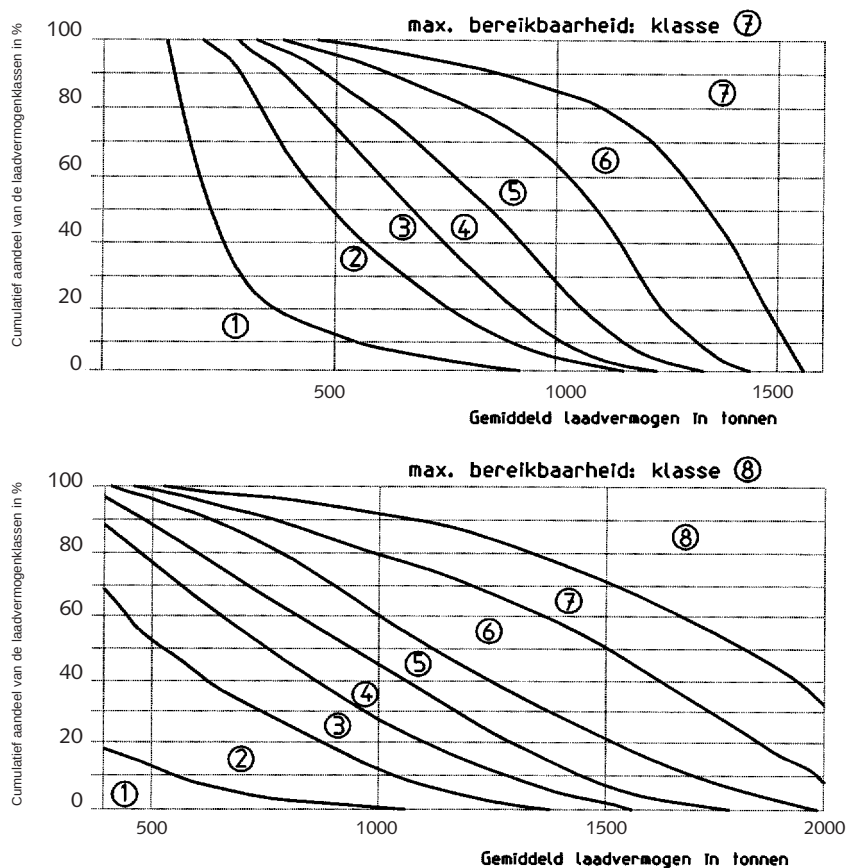
De Nederlandse binnenvloot omvat schepen met allerlei afmetingen die vrij goed in nauwe breedteklassen zijn onder te brengen, nagenoeg overeenkomend met de breedtes van de CEMT standaardschepen. Bij die (standaard-)breedte vertonen lengte (zie Figuur 4.1) en diepgang veel spreiding. Op kleine vaarwegen (CEMT klassen I en II) komen meestal de oude standaardschepen Spits en Kempenaar voor. Op de grotere vaarwegen komen naast grote schepen ook veel schepen uit de kleinere klassen voor. Al met al is op de grotere vaarwegen de verscheidenheid aan scheepsafmetingen groter dan op de kleine vaarwegen.

Figuur 4.2, ontleend aan Lit. [4.9] geeft een voorbeeld van de vlootsamenstelling zoals die in Nederland

voor kan komen: de eerste grafiek geldt voor een vaarweg met een maximale bereikbaarheid van laadvermogenklasse 7 (CEMT IV), de tweede grafiek voor klasse 8 (CEMT V). De belangrijkste karakteristieken voor de vlootsamenstelling zijn dus het maatgevende schip in de vaarwegklasse ("bereikbaarheid") en het gemiddeld laadvermogen. Voor vrachtschepen wordt als maximum-lengtemaat 110 m en als maximum-breedtemaat 11,40 m aangehouden. De maximale lengte van een koppelverband bedraagt 180 - 185 m. (NB. Ontwikkelingen staan niet stil, zie het hiervoor genoemde schip van 135 x 17 m²).



Figuur 4.1 Overschrijdingskrommen van scheepslengte



Figuur 4.2 Cumulatief aandeel van de laadvermogenklassen als functie van het gemiddeld laadvermogen voor toegankelijkheid klasse 7 (CEMT-klasse IV) en toegankelijkheid klasse 8 (CEMT-klasse V)

De schaalvergroting in de binnenvaart wordt vaak gekarakteriseerd door de toename van het gemiddeld laadvermogen. Figuur 4.2 illustreert hoe dat samenhangt met de vlootsamenstelling:

- bij gelijkblijvende vaarwegklasse neemt het gemiddeld laadvermogen (horizontale as) toe, doordat het aandeel *grotere* schepen in de vloot toeneemt en het aandeel kleinere schepen afneemt;
- bij vergroting van de vaarweg van laadvermogenklasse 7 naar laadvermogenklasse 8 neemt het gemiddeld laadvermogen belangrijk toe en is het 1e punt weer aan de orde.
Ter oriëntatie: op de Maasroute (geschikt voor CEMT klasse Va en Vb beperkt, laadvermogen klasse 8) was het gemiddeld laadvermogen in 1996 al ruim 1000 ton.

De chartervloot (ook wel aangeduid als de 'bruine vloot') behoort in feite tot de binnenvaart omdat het bedrijfsmatige vaart is (in tegenstelling tot de recreatievaart). Qua afmetingen behoren deze schepen meestal tot CEMT klasse 0 (afmetingen van globaal 20-35 m lengte). Het manoeuvreervermogen van deze schepen wijkt niet wezenlijk af van de andere binnenschepen.

Recreatievaartuigen

Voor de recreatievaart kan de classificatie gebruikt worden die de cvb in de Richtlijnen heeft opgenomen. Door de zeer grote spreiding in de afmetingen die in de Nederlandse recreatievloot voorkomen, is de indeling tamelijk arbitrair, maar niettemin goed bruikbaar. Er is onderscheid gemaakt naar zeilboten, motorboten en bruine vloot hoewel de bruine vloot in feite tot de kleine binnenvaart behoort (ontleend aan BRTN).

Categorie	klasse	hoogte (m)	diepgang (m)	breedte (m)	lengte (m)
zeilboten	1	8,50	1,25	3,00	9,00
	2	12,00	1,50	3,50	10,00
	3	12,00	1,75	3,75	11,00
	4	>>12,00	1,90	4,00	12,00
motorboten	1	--	0,90	3,50	10,00
	2	2,75	1,10	3,75	12,00
	3	2,75	1,40	4,00	14,00
	4	3,40	1,50	4,25	15,00
bruine vloot	bv1	>>12,00	1,20	5,50	25,00
	bv2	>>12,00	1,40	6,50	30,00

Tabel 4.5 Recreatievaart klassen

4.2.3 Specifieke eigenschappen van schepen

Zeeschepen

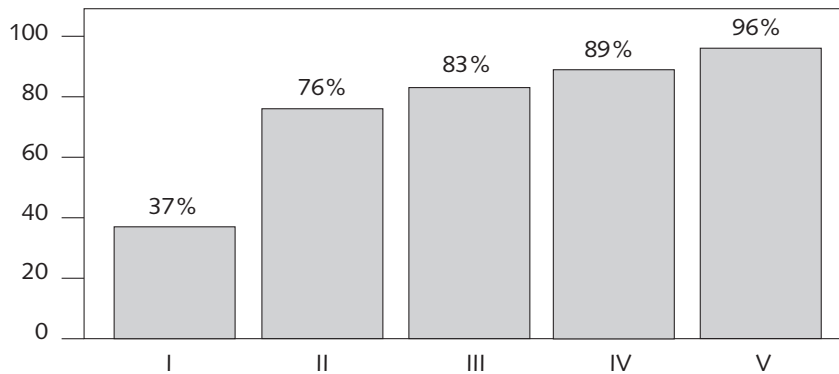
Over het algemeen hebben zeeschepen bij beperkte ruimtes en lage snelheden minder goede manoeuvre-eigenschappen dan binnenvaartschepen. Daarom moeten ze in voorhavens en sluizen vaak manoeuvreren met sleepboothulp. Voor het werken met sleepboten is rondom het schip extra manoeuvreerruimte nodig. Dat heeft consequenties voor horizontale afmetingen en de lay-out van de sluis en voorhaven, alsmede voor de geleidewerken. Sommige zeeschepen echter, met name die op een strak tijdschema varen, hebben vaak extra besturingshulpmiddelen: niet alleen sterke boegschroeven, maar ook bij het achterschip dwarsscheeps werkende 'thrusters'. Zij zijn daardoor veel minder afhankelijk van sleepboothulp.

Vrachtvoerende zeeschepen vervoeren veelal dezelfde soorten lading als binnenschepen; er zijn dus ook schepen met gevaarlijke lading bij. Zeeschepen met gevaarlijke lading zijn herkenbaar doordat zij 's nachts een rondschoonend rood licht voeren, en overdag een rode vlag. Over het algemeen zijn er bij elke zeesluis (Ijmuiden, Terneuzen etc.) gedetailleerde voorschriften voor het schutten van dit soort schepen (bijvoorbeeld afstand houden en apart schutten). Deze veiligheidsmaatregelen zijn vrijwel altijd nadelig voor de schutcapaciteit van de sluis.

Zeevarende cruiseschepen zijn te beschouwen als gewone zeeschepen die meestal relatief goed zijn uitgerust om vlot en veilig te kunnen manoeuvreren.

Binnenvaartschepen

Binnenvaartschepen kunnen over het algemeen zeer goed manoeuvreren (mede dank zij boegschroeven) en de bemanningen hebben veel ervaring met het passeren van sluizen; de dekuitrusting is daarop afgestemd. Schepen worden vaak uitgerust met kop- of boegschroeven. Figuur 4.3 ontleend aan Lit. [4.13] geeft een beeld van de mate waarin de verschillende klassen zijn uitgerust met een boegschroef. De tendens is dat op den duur ook de meeste kleine schepen een boegschroef zullen hebben, maar bovendien nemen de geïnstalleerde vermogens nog toe. Boegschroeven betekenen o.a. bij sluizen een enorme verbetering van de beheersbaarheid (gaande houden, manoeuvreren) van het vaartuig.



Figuur 4.3 Uitrustingspercentage boegschroeven Nederlandse vloot (CRB 1995)

Lege motorschepen en containerschepen (vooral met lege containers) zijn windgevoelig; met hun kopschroef kunnen ze hun windgevoeligheid grotendeels compenseren. Dit vergt wel extra deskundigheid aangezien dwarswind het varen bemoeilijkt. Lege duwbakken zijn ook erg windgevoelig, maar hebben meestal geen kopschroef. Duweenheden met lege bakken behoren daarom tot de meest risicovolle vaarweggebruikers. Geladen schepen hebben relatief weinig hinder van dwarswind, ze hebben daarentegen meer (dan lege schepen) last van stroom, bijvoorbeeld als gevolg van spuien bij een sluis.

Vrijwel alle schepen hebben momenteel marifoon. Via marifoon-contact met de sluis kan de schipper vaak voorkomen (door tijdig vaart te minderen) dat hij in de voorhaven moet aanleggen.

Schepen met gevaarlijke lading ('kegelschepen') moeten ten opzichte van andere schepen grote veiligheidsafstanden aanhouden, of zelfs apart schutten. Dat vergt dus meer ruimte in de voorhaven en in de sluis en is nadelig voor de schutcapaciteit.

Een toenemend aantal schepen vaart op een 'just-in-time' schema (JIT-schepen). Veelal zijn het containerschepen en cruiseschepen. Voor deze schepen zijn onverwacht lange passeertijden funest. Als er veel JIT-schepen komen, verdient de noodzaak van een grotere schutcapaciteit nader onderzoek.

Cruiseschepen in de binnenvaart hebben afmetingen passend bij de CEMT klassen I - V. Ze zijn meestal zeer goed uitgerust, met het oog op veiligheid en comfort van de passagiers, en ook omdat ze vaak op een strak tijdschema varen. Het komt voor dat de vaarwegbeheerder deze schepen recht op voorschutting toekent.

Recreatievaartuigen

De meeste recreatievaartuigen zijn (zeer) klein ten opzichte van de beroepsvaart en relatief kwetsbaar. De bekwaamheid en ervaring van de bemanning van recreatievaartuigen schiet vaak te kort. Bij sluizen komt dat tot uitdrukking in vrij onvoorspelbaar vaargedrag, slechte communicatie en afmeerproblemen. De recreatievaart is sterk geconcentreerd in het zomerseizoen (meestal slechts enkele maanden). De verkeersintensiteit fluctueert zeer sterk, mede afhankelijk van weersomstandigheden, schoolvakanties en plaatselijke omstandigheden.

4.3 Verkeersaanbod

4.3.1 Algemeen

Het verkeersaanbod wordt uitgedrukt in:

- de vlootsamenstelling (typen en aantallen): binnen(vracht-)vaart, recreatievaart, zeevaart;
- de intensiteit: aantallen vaartuigen per tijdseenheid, variërend over de dag, de week, het jaar.

Het verkeersaanbod is een afgeleide van de transportbehoefte. Daarom moet voor het ontwerp van de sluis een prognose worden gemaakt van de toekomstige vervoersstromen door die sluis. Tabel 4.6 geeft een overzicht van de belangrijkste gevallen waar de ontwerper mee te maken kan krijgen.

Vaarwegen voor	Categorieën van schepen	Goederenvervoer	Passagiersvervoer
zeevaart	zeeschepen, cruiseschepen suppliers, Ro/Ro-schepen beunsschepen, vissersschepen, grote werkvaartuigen	diverse goederen zoals kolen, aardolie en olieproducten, ertsen, landbouwproducten, containers, auto's, zand etc.	cruiseschepen en (soms) veerboden
binnenvaart	vrachtschepen binnenvaart kruiplijncoasters passagiersschepen jachten (klein en groot) grote werkvaartuigen	diverse goederen zoals zand/grind/cement, kolen, olieproducten, ertsen, landbouwproducten, containers etc.	cruiseschepen, charterschepen (bruine vloot) en jachtjes
recreatievaart	jachten (klein en groot) kleine werkvaartuigen	----	recreanten

Tabel 4.6 Verkeersaanbod

Voor de bepaling van het maatgevende verkeersaanbod kiest men een basisjaar (bijvoorbeeld 1992, verkeersaanbod uit historische telgegevens) en een prognosejaar (bijvoorbeeld 2015). Vervolgens wordt getracht een prognose op te stellen voor het verkeersaanbod in het prognosejaar.

Alleen voor de binnenvrachtvaart is een gestructureerde prognosemethode beschikbaar zoals in par. 4.3.3 zal worden beschreven. Vaak zal men via een andere weg moeten werken om een redelijk beeld van het toekomstige verkeersaanbod te krijgen (par. 4.3.2, zeesluizen en par. 4.3.4, recreatiesluizen). Tenslotte is de veranderlijkheid van het verkeersaanbod een belangrijke factor bij de keuze van het maatgevende verkeersaanbod (par. 4.3.5).

4.3.2 Prognoses voor zeesluizen

De samenstelling van de zeevloot is zeer divers terwijl het totale aantal schepen dat zeesluizen passeert vaak niet groot is. In feite moet voor elke categorie schepen een aparte prognose worden gemaakt; hier is geen algemeen geldend model voor beschikbaar. Voor de sluisen van IJmuiden (Lit. [4.18]) zijn de prognoses van het verkeersaanbod opgesteld aan de hand van bestaande telgegevens (IVS en CESAR) bij de sluisen die geanalyseerd en geëxtrapoleerd zijn. Daarnaast zijn er interviews met deskundigen gehouden.

4.3.3 Prognoses voor goederenvervoer binnenvaart

Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer, heeft voor verkeersprognoses voor het goederenvervoer binnen Nederland een serie van drie modellen in beheer:

- het Transport Economisch Model (TEM II)
- het Verkeersproductiemodel (VPM)
- het Verkeerstoelelingsmodel (VTM)

Met deze drie opeenvolgende modellen kan vanaf de macro-economische scenario's worden 'ingezoomd' naar een vaarweg of naar een sluis, die een schakel is in het grote vaarwegennetwerk.

Transport Economisch Model (TEM II)

Dit model dient om een prognose op te stellen voor al het goederenvervoer in Nederland voor de lange termijn, voor alle middelen van vervoer. Het TEM II model gaat uit van een basisjaar waarvan alle transportgegevens goed bekend zijn en het berekent daaruit de transporten voor een prognosejaar dat globaal 15-30 jaar verder ligt. Het basisjaar en het prognosejaar worden om de 3 à 5 jaar bijgesteld. Het model omvat de vervoersbehoefte die gegenereerd wordt uit de productie en de consumptie in diverse regio's. Het vervoer wordt, per goederensoort en herkomst/bestemming, door het TEM II toebedeeld ('modal split') aan de beschikbare vervoersmodaliteiten: het wegvervoer, de scheepvaart, het railvervoer of de pijpleiding. Voor de ontwikkeling van productie en consumptie worden (per regio) de economische prognoses van het Centraal Planbureau (CBS) gebruikt. Die prognoses zijn gebaseerd op aannamen betreffende o.a. het overheidsbeleid en de ontwikkelingen in de wereld. Daarbij onderscheidt men verschillende groeiscenario's, variërend van pessimistisch tot optimistisch. Het resultaat van TEM II is een overzicht van vervoersstromen, uitgedrukt in tonnen per jaar.

Het Verkeersproductiemodel (VPM)

Dit model dient om het geprognostiseerde vervoer over water (in tonnen per jaar) om te rekenen naar verkeer (aantal binnenvaartuigbewegingen). Op basis van waarnemingen uit de praktijk (vastgelegd in CBS bestanden) wordt gekeken hoe het *huidige* vervoer wordt gerealiseerd (scheepsgrootte). Rekening houdend met verwachte vloot-ontwikkelingen, en uiteraard de vervoersprognose, wordt het aantal reizen en het vervoerd gewicht berekend als invoer voor het volgende model, het VTM. De prognose wordt gegeven voor een *gemiddelde* week door het jaartotaal (uit TEM II) te delen door 50.

Het Verkeerstoedelingsmodel (VTM)

Dit model (Lit. [4.15]) dient om te bepalen welke route de binnenvaartschepen zullen gaan varen, zodat een prognose wordt verkregen van het verkeersaanbod per route. Aangenomen wordt dat de schipper kiest voor de route die hem de minste reistijd en vaarafstand kost. Dat wordt bepaald door de 'weerstand' die elk onderdeel van het vaarwegennet voor de scheepvaart oplevert. Die weerstand volgt uit de informatie die per deel vaarweg, per sluis, per brug ('link') in het model is opgenomen.

Het huidige model is geactualiseerd voor de veranderingen die sedert 1986 in het vaarwegennet hebben plaatsgevonden. Voor prognoses voor het jaar 2015 worden de verwachte *toekomstige* vaarwegaanpassingen in het model opgenomen. Bij de gegeven weekcapaciteit van de 'links' van het netwerk, kan met het model gesignaleerd worden of het netwerk voldoende capaciteit heeft om vervoersstromen te verwerken. Daartoe wordt de verhouding van de intensiteit I en de capaciteit C voor de gemiddelde week en de maatgevende week getoetst met behulp van vuistregels, de verhouding tussen de toelaatbare intensiteit en de capaciteit per week: $I_{\text{toel.wk}}/C_{\text{wk}}$.

De uitkomst van het VTM is het verkeersaanbod per gemiddelde week (1/50 van jaaraanbod). Deze uitvoer is voldoende gedetailleerd (vlootsamenstelling, gemiddeld laadvermogen, aantallen geladen/ongeladen per richting, soort schip etc. zijn dan gegeven) om voor de onderzochte vaarweg of sluis de verkeersafwikkeling door te rekenen. Met het oog op veroudering en geconstateerde beperkingen van het huidige VPM en VTM en de gewenste mogelijkheid om hedendaagse (beleidsanalytische) vragen te beantwoorden is momenteel een nieuw prognose binnenvaartmodel in ontwikkeling, genaamd: "Modelstelsel Binnenvaart".

4.3.4 Prognoses voor personenvervoer en recreatievaart

Passagierslijndiensten

Het personenvervoer met snelle passagiersschepen is sterk in opkomst. Deze diensten beogen veelal een alternatief te bieden voor vervoer per auto. Op trajecten met sluisen vormt het oponthoud aldaar voor het vervoer geen haalbaar alternatief. Het is moeilijk voor dit type scheepvaart een betrouwbare prognose te maken aangezien er in Nederland op de binnenwateren nog maar weinig ervaring mee is (1998).

Recreatievaart

Een belangrijk hulpmiddel om een prognose voor een recreatiesluis te maken is de jaarlijkse uitgave 'Signaal-telpuntennet Recreatievaart' van Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer. Hierin worden de verkeerstellingen (recreatievaart) van 25 telpunten in Nederland gepresenteerd, samen met de overeenkomstige tellingen van voorgaande jaren. De telresultaten gaan vergezeld van een uitgebreide analyse en conclusies over tendenzen.

Voor de recreatievaart is een prognosemodel in ontwikkeling. Als dit model operationeel is, zal de ontwerper erop bedacht moeten zijn dat de prognoses sterk beïnvloed worden door onvoorspelbare factoren zoals 'consumentengedrag'. Men zal rekening moeten houden met een 'optimistische' en een 'pessimistische' schatting. Aanbevolen wordt om daarbij de beschikbare (jaarlijkse) tellingen als uitgangspunt te nemen. Met een gedegen inventarisatie van lopende en geplande ontwikkelingen voor de recreatievaart (jachthavens, nieuwe vaarverbindingen) kan men vervolgens door extrapolatie tot een redelijke prognose komen. Het is verstandig daarbij ook branche-experts te raadplegen.

Cruiseschepen (en zeilcharter-schepen)

Deze schepen komen meestal niet in grote aantallen voor in de Nederlandse sluisen, maar ze kunnen invloed hebben op de verkeersafwikkeling, bijvoorbeeld als zij 'recht van voorschutting' hebben. Prognoses over het verkeer met deze schepen kunnen worden gemaakt op grond van zakelijke overwegingen, maar ook hier speelt het grillige gedrag van de consument weer een grote rol. Men zal van geval tot geval moeten zoeken naar de meest geschikte en betrouwbare informatiebronnen.

4.3.5 Verkeersaanbod variërend in de tijd, maatgevend verkeersaanbod

Het verkeersaanbod vertoont altijd fluctuaties in de tijd. Het is niet ongewoon dat op een telpunt in één uur 30 schepen worden geteld, terwijl daar per jaar 15.000 schepen passeren. Dat laatste komt echter overeen met *gemiddeld over dat jaar* minder dan 2 schepen per uur, dus 15 maal lager dan het maximum-uuraanbod.

Met behulp van bepaalde rekenmethoden waarmee het verkeersaanbod wordt getoetst aan een (aangenomen) sluiscapaciteit, kan de vlotheid (wachtijden etc.) ten opzichte van de gewenste vlotheid worden getoetst. Hiervoor is een maatgevend verkeersaanbod nodig op basis van een gekozen maatgevende periode. In Nederland is het gebruikelijk om voor de binnenvaart als maatgevende periode de week te kiezen omdat de binnenvaart een duidelijke weekcyclus kent. Voor de zeevaart wordt de maand als maatgevende periode aangehouden, voor recreatievaart een dag, voor de combinatie zee-/binnenvaart een maand en voor binnen-/recreatievaart een week.

De uitkomst van het Verkeers-toedelingsmodel is een verkeersaanbod voor de binnenvaart voor een gemiddelde week omdat het berekend is als 1/50 van een jaaraanbod. Om van het geprognostiseerde gemiddelde weekaanbod te komen tot de maatgevende week in het prognosejaar (in aantallen schepen per uur), met binnen die week ook een realistisch verloop van het aanbod in de tijd, wordt vaak de volgende methode gevolgd. Deze bestaat in wezen uit twee stappen:

1. bepaling van de vorm van het verkeersaanbod (geïndexeerde verdeling in de tijd, uitgedrukt in aantallen per uur);
2. bepaling van het volume van het verkeersaanbod door het 'opblazen' van deze verdeling tot het geprognostiseerde verkeersaanbod.

ad 1.

De *vorm* van het verkeersaanbod in de tijd wordt ontleend aan (recente) verkeerstellingen die beschikbaar zijn in bestanden zoals het IVS. Met programmatuur zoals 'KARPER' of 'SCHEEPVAART' kan daaruit voor de gewenste plaatsen en tijden het waargenomen verkeer worden uitgevoerd in het gewenste format. Het verloop van de intensiteit in de tijd wordt onder meer bepaald door de bedieningstijden. Als die veranderen moet voor het prognosejaar dus ook deze verdeling worden aangepast.

ad 2.

Scheepvaarttellingen zijn meestal beschikbaar op maandbasis. Het is daarom gebruikelijk om, enigszins arbitrair, uit de scheepvaart-tellingen de drukste maand te kiezen. Als er soms veel recreatievaart is, dan

wordt zowel een maand gekozen waarin de beroepsvaart maximaal is, als een maand waarin de pleziervaart maximaal is. Dan is dus sprake van twee maatgevende weken die doorgerekend dienen te worden. Deling van het maandaanbod door een factor 30,5/7 levert het aanbod per week (uitgaande van gemiddeld 30,5 dagen per maand).

Dit (huidige, maatgevend gestelde) verkeersaanbod vertegenwoordigt ook een intensiteit ($I_{\text{huidig, maatg}}$), d.w.z. een bepaald aantal schepen per week. Deze intensiteit zal hoger zijn dan in de overeenkomstige gemiddelde week ($I_{\text{huidig, gemidd.}}$).

Met deze verhouding kan nu de intensiteit ($I_{\text{progn., maatg}}$) in de maatgevende prognoseweek als volgt bepaald worden:

$$I_{\text{progn., maatg}} = (I_{\text{huidig, maatg}} / I_{\text{huidig, gemidd.}}) \times I_{\text{progn., gemidd}}$$

De laatstgenoemde intensiteit ($I_{\text{progn., gemidd}}$) komt beschikbaar als uitvoer van het VerkeerstoeDELingsmodel in de vorm van aantallen schepen van de gepasseerde vloot met een bepaald (prognose) gemiddeld laadvermogen.

4.4 Schutkolk, horizontale afmetingen en peilmaten met het oog op schutten

4.4.1 Inleiding

Het scheepvaartverkeer bepaalt het benodigde aantal kolken, de benodigde lengte en breedte van de kolk, de niveaus van de drempel en de dekzerk (soms) alsmede de doorvaarthoogte. De eventuele invloed van de waterkerende functie op de dekzerkhoogte wordt behandeld in par. 4.5.4.



Foto 4.2 Duwvaartsluizen in de Krammer

Het aantal kolken en de lengte en breedte van de kolk worden door vier zaken bepaald, te weten:

- de intensiteit van het scheepvaartverkeer (verkeersaanbod en -patroon)
- de toedeling van schepen over het sluiscomplex
- de afmetingen van het maatgevende schip
- de vlootsamenstelling.

Bij de verkeersafwikkeling gaat het om zaken als capaciteit van de sluis en passeertijd van de schepen. De capaciteit van een sluis is de maximum hoeveelheid verkeer (uitgedrukt in aantallen schepen, of tonnen lading) die kan worden geschut per eenheid van tijd als de sluis onafgebroken schut met volle kolken. De passeertijd van de schepen is de extra tijd die het de schipper kost in vergelijking met de situatie zonder sluis in de betreffende vaarweg.

Enkele opmerkingen vooraf:

- Een schutsluis moet altijd worden gezien als onderdeel van een groter geheel, te weten het sluiscomplex, de transportroute of het netwerk van vaarwegen. Het heeft bijvoorbeeld geen zin om in een bestaande route een sluis met sterk afwijkende afmetingen of capaciteit te bouwen.
- Over de bouw van een sluis en de gewenste afmetingen van de schutkolk wordt niet alleen beslist op basis van kosten van de sluis (bouw en exploitatie) en kosten voor de scheepvaart. Normaliter vindt een maatschappelijke en economische afweging plaats door de planstudiedeskundige. De uiteindelijke keuze wordt gemaakt door de opdrachtgever (meestal de overheid). In dit hoofdstuk wordt aan die afweging geen aandacht besteed. De ontwerper kan wel, met behulp van het in par. 4.4.2.3 beschreven simulatiemodel, in een zogenaamde Kosten-Effect-Analyse (KEA) goed onderzoeken (en in geld uitdrukken) in hoeverre de kosten van de sluis toenemen, en die voor de scheepvaart afnemen, als het sluisontwerp wordt veranderd (kolkmaten, extra kolken).

- Bij de nuttige (of netto) horizontale afmetingen komt nog een toeslag om de werkelijke kolkafmetingen te verkrijgen. Deze toeslag is bijvoorbeeld nodig omdat de schepen enige afstand tot de sluisdeuren moeten bewaren (zie par. 4.6.2 en 4.6.3).

4.4.2 Nuttige horizontale afmetingen

4.4.2.1 Verkeersafwikkeling bij de sluis

Een schutsluis is een vaarweg-onderdeel waarin de normale, vrijwel ongestoorde, vaart wordt onderbroken. Tussen de sluis en de aansluitende vaarwegvakken liggen voorhavens waar de schepen gelegenheid hebben vaart te verminderen, en zo nodig, korter of langer te wachten voordat ze de sluis kunnen invaren. De functies van de onderdelen van het sluiscomplex zijn beschreven in par. 2.3.

De verkeersafwikkeling bij de sluis is een proces met veelvuldige interactie van individuele schepen met het sluispersoneel, en ook tussen schepen onderling. Het sluispersoneel maakt voor elke schutting een planning waarbij wordt gestreefd naar het optimum van vlotheid en veiligheid. Daarbij speelt een groot aantal factoren:

- de verschillende afmetingen van de schepen,
- de noodzaak bepaalde categorieën schepen te scheiden, zowel in de voorhaven als in de kolk (recreatievaart, beroepsvaart, kegelschepen),
- de momentane verkeersbelasting,
- geometrische beperkingen,
- verschillende kolken (als die er zijn),
- de weersomstandigheden,
- speciale regels (bijvoorbeeld met het oog op besparing schutwater),
- eventueel overnachtende schepen.

De sluiswachter moet de verschillende belangen tegen elkaar afwegen en vaak ook al één of meer schuttingen 'vooruit denken'. De doelmatigheid van het schutbedrijf, zowel bij grote als bij kleine sluisen, wordt vooral bepaald door de ervaring en kundigheid van het sluispersoneel.

Voor het maken van de planning is goede communicatie met het schip een eerste vereiste (marifoon, seingeving). Bij grote sluisen beschikt het sluispersoneel vaak ook over een (elektronisch) planbord. Na het melden noteert het sluispersoneel de gegevens van het schip. Voor het schutplan zijn vooral de horizontale afmetingen van belang en de vraag of het schip een 'gevaarlijke lading' vervoert (kegelschip). Soms hebben schepen recht op voorschutting. Met deze gegevens en de bovengenoemde factoren maakt het sluispersoneel een schutplan en geeft aan elk schip door:

- welke kolk moet worden gebruikt (als er meer dan één is),
- de volgorde van invaren, en
- op welke plaats in de kolk het schip moet gaan liggen.

Het complexe proces dat hierboven is geschetst, is in belangrijke mate bepalend voor de capaciteit van een sluis(-complex). In het volgende worden enkele methoden beschreven waarmee bepaald kan worden welke horizontale afmetingen vereist zijn om een bepaald verkeersaanbod voldoende vlot (en veilig) te kunnen verwerken. 'Voldoende vlot' betekent dat de sluis niet te veel passeertijd, inclusief eventuele wachttijd, mag vergen. Een gemiddelde passeertijd tot circa 30 minuten wordt over het algemeen aanvaardbaar geacht, maar als het oploopt tot bijvoorbeeld meer dan 45 minuten moet de schutcapaciteit van de sluis dringend worden vergroot.

4.4.2.2 Minimum-sluizen en capaciteitssluizen

De benodigde kolkafmetingen hangen voornamelijk af van:

- de afmetingen van het grootste schip;
- het verkeersaanbod en -patroon;
- optimale kolkvulling bij meerdere schepen;
- de bestemming zeevaart, binnenvaart of recreatievaart.

Zeevaartsluizen

De kolkafmetingen voor grote zeesluizen worden over het algemeen gebaseerd op het schutten van één maatgevend schip. Omdat het maatgevende schip zich maar zelden aandient zal de sluis vaak ook gebruikt worden om meerdere kleine schepen tegelijkertijd te schutten. Ook dat kan bepalend zijn voor de kolk-afmetingen, zeker als het verkeersaanbod groot is en gedifferentieerd in samenstelling. In dat geval kan dezelfde methode als voor de binnenvaart gebruikt worden (zie onder).

Binnenvaartsluizen

Voor de binnenvaart wordt in Nederland een verkeersaanbod van minder dan 5.000 scheepspassages per jaar beschouwd als een klein verkeersaanbod. In dat geval kan worden volstaan met een kolk die juist groot genoeg is om per schutting één maatgevend schip te schutten. Een dergelijke sluis wordt wel aangeduid als 'minimumsluis' (CVB richtlijnen). De sluis bepaalt dan qua scheepsafmetingen de toegankelijkheid van de achterliggende vaarweg. In par. 4.4.2.6 zijn de door de CVB aanbevolen horizontale afmetingen van de schutkolk van de minimumsluis gegeven.

Als het verkeersaanbod groot is (bijvoorbeeld meer dan 10.000 schepen per jaar), is een kolk nodig waar meerdere schepen tegelijk in passen, of bij meer dan 50.000 schepen per jaar meerdere kolken, zodat de vereiste doorvoercapaciteit wordt gerealiseerd. Zo'n sluis kan worden aangeduid als 'capaciteitssluis'.

Sluizen voor recreatievaart

De methoden om de horizontale afmetingen te bepalen komen overeen met die voor de binnenvaart. Vrijwel altijd zal de sluis zo ontworpen worden dat er meerdere jachtjes tegelijk in kunnen worden geschut. Daarnaast is het nuttig als de sluis ook gepasseerd kan worden door een enkel groot werkvaartuig.



Foto 4.3 Drukke in de jachtensluis in de Volkerak

4.4.2.3 Methoden voor bepalen kolkmaten van een capaciteitssluis

Verkeersstudie

Bij een groot verkeersaanbod zal een verkeersstudie moeten uitwijzen welke afmetingen de capaciteitssluis nodig heeft. In deze paragraaf gaat het om binnenvaartsluizen, maar de methode is in principe ook toepasbaar voor zee- en recreatievaart.

De verkeersstudie maakt gebruik van een of meer modellen om de capaciteit van een sluis met bepaal-

de afmetingen te bepalen. Door een iteratieproces uit te voeren, waarbij de modellen een aantal keren toegepast worden, kunnen de gewenste kolkmaten bepaald worden.

Dit iteratieproces verloopt als volgt:

1. Begonnen wordt met het aannemen van voorlopige kolkafmetingen en aantallen kolken.
2. Voor het voorlopig gekozen sluiscomplex en een maatgevend verkeersaanbod wordt met een van de modellen de waarde bepaald van kenmerkende parameters om het voorliggende ontwerp te toetsen:
 - de gemiddelde passeertijd (vooral van belang voor de schipper in verband met kosten, route planning, nakomen van afspraken met 'de wal');
 - de toelaatbare intensiteit;
 - de benodigde wachtruimte (-lengte), aanlegkosten;
 - de passeertijdskosten voor de scheepvaart, per week (eventueel omgerekend naar kosten per jaar).
3. Deze parameterwaarden worden getoetst aan richtlijnen, ervaringscijfers, en uiteraard ook aan de verkeersprognoses, waaruit blijkt of de aangenomen kolk te groot of te klein is.
4. Vervolgens worden de aangenomen kolkmaten etc. bijgesteld en wordt opnieuw de waarde van de toetsingsparameters bepaald, tot het gewenste optimum is gevonden (iteratiecyclus).

Om enig inzicht in het bepalen van de sluiscapaciteit te verwerven worden onderstaand een paar methoden beschreven waarin het eerder genoemde iteratieproces herkenbaar zal zijn.

Nomogrammen methode

Met het Nomogrammen methode wordt de capaciteit van een schutkolk van bepaalde afmetingen bepaald. Het model is beschreven in Lit. [4.8] en Appendix 4.1. Het schutproces wordt voorgesteld als een serie opeenvolgende tijdstappen. Dit zijn de tijden die nodig zijn voor bijvoorbeeld invaren, bediening (bewegen deuren, nivelleren) en voor uitvaren. Voor het bedienend personeel is het schutproces een cyclus bestaande uit een schutting omhoog en een schutting omlaag. Op basis van waarnemingen en studies zijn tabellen en grafieken samengesteld voor bijvoorbeeld in- en uitvaartijden, aantallen schepen per kolk, bedieningstijden etc. Met behulp van deze nomogrammen kan worden onderzocht of een sluiskolk met bepaalde horizontale afmetingen het verkeersaanbod kan verwerken. Het model is zeer inzichtelijk, maar ook bewerkelijk.

VAT-model

De benodigde wachtruimte in de voorhaven, die nauw samenhangt met de capaciteit van de sluiskolk, wordt met het VAT-model uitgevoerd. Het model is een analogie van de doorstroming van een vat met vloeistof. De analogie klopt niet geheel omdat het schutten een discontinu proces is. Door de aanwezigheid van opstelplaatsen bij de sluizen wordt de invloed van die discontinuïteit afgevlakt om uitspraken te doen over de behoefte aan wachtplaatsen. Het model heeft als belangrijkste invoer het aanbodspatroom van de schepen en de sluiscapaciteit. Het model levert het gemiddelde en het maximale aantal overliggers, de gemiddelde wachttijd van de overliggers en de benodigde lengte van de wachtruimte. Bezwaar is dat de methode geen inzicht geeft in passeertijden en -kosten, en de vloot te sterk schematiseert.

Simulatiemodel SIVAK

Voor de economische beoordeling van een capaciteitsprobleem bij een sluis is de 'passeertijd' de maatgevende grootheid. Dit is de extra tijd die het de schipper kost om de sluis te passeren, in vergelijking met de situatie zonder sluis. De extra tijd bestaat uit de wachttijd, de schuttijd en de overligtijd (dit is de extra wachttijd als een schip niet met de eerstvolgende schutting mee kan). Het is thans goed mogelijk om deze passeertijd nauwkeurig te bepalen door de verkeersafwikkeling bij schutsluizen te simuleren met het model SIVAK (Simulatiemodel voor de Verkeers-Afwikkeling bij Kunstwerken) Lit. [4.11]), Appendix 4.2. Deze methode heeft belangrijke voordelen ten opzichte van voorgaande methoden en wordt daarom aanbevolen. De kenmerken van SIVAK simulaties zijn:

- discreet, stochastisch proces;
- schepen zijn individuele verkeersdeelnemers met individuele aankomst-tijdstippen, vaargedrag en afmetingen;

- vooral bruikbaar bij een grote diversiteit in scheepsafmetingen en vaargedrag;
- zeer geschikt voor complexen met meer dan een kolk.

Voor een bepaalde periode wordt de gehele verkeersafwikkeling in en rondom de sluis in detail gesimuleerd en doorgerekend waarbij de resultaten statistisch worden bewerkt. Met het model kunnen wijzigingen in het gebruik en in het ontwerp van het kunstwerk worden uitgedrukt in passeertijden en -kosten en in de behoefte aan wachtruimte voor zowel de scheepvaart als het wegverkeer (in geval van lage beweegbare bruggen). SIVAK rekent op basis van de eenheidskosten ook uit hoeveel die passeertijd de scheepvaart kost.

Ruwe toetsing van schutcapaciteit

Naast bovengenoemde modellen kan ook een eerste, ruwe toetsing van de schutcapaciteit plaatsvinden aan de hand van vuistregels. Een van de parameters om de doelmatigheid van gekozen kolkafmetingen te toetsen is de schutcapaciteit. De capaciteit van een sluis is de maximum hoeveelheid verkeer (uitgedrukt in aantallen schepen, of tonnen lading) die kan worden geschut per eenheid van tijd onder de geldende condities, als de sluis onafgebroken schut met volle kolk(-en).

Over het algemeen wordt voor de eenheid van tijd een uur gekozen. De capaciteit C van de sluis kan dan als volgt in een formule worden uitgedrukt waarbij de cyclustijd bestaat uit een op- en afschutting:

$$C \text{ (schepen/uur)} = 2 \times \text{max. aantal schepen in kolk} / \text{cyclustijd} \quad \text{of}$$

$$C \text{ (ton laadvermogen/uur)} = 2 \times \text{max. aantal schepen in de kolk} \times \text{gemiddeld laadvermogen van vloot} / \text{cyclustijd}$$

De capaciteit per schutting kan sterk variëren, omdat door de uiteenlopende condities bij een schutting de ene kolkvulling veel efficiënter uitvalt dan de andere. De capaciteit wordt daarom bepaald als een gemiddelde van een groot aantal schuttingsen met volle kolken. Als de vlootsamenstelling verandert kan ook de uitkomst sterk veranderen. Vooral als de vloot is samengesteld uit veel verschillende typen en scheepsgrootten kan de capaciteit niet meer met eenvoudige middelen worden bepaald, maar is een simulatie nodig om tot een betrouwbare uitkomst te komen.

Voor een ruwe toetsing van de capaciteit kan de volgende vuistregel worden gebruikt:

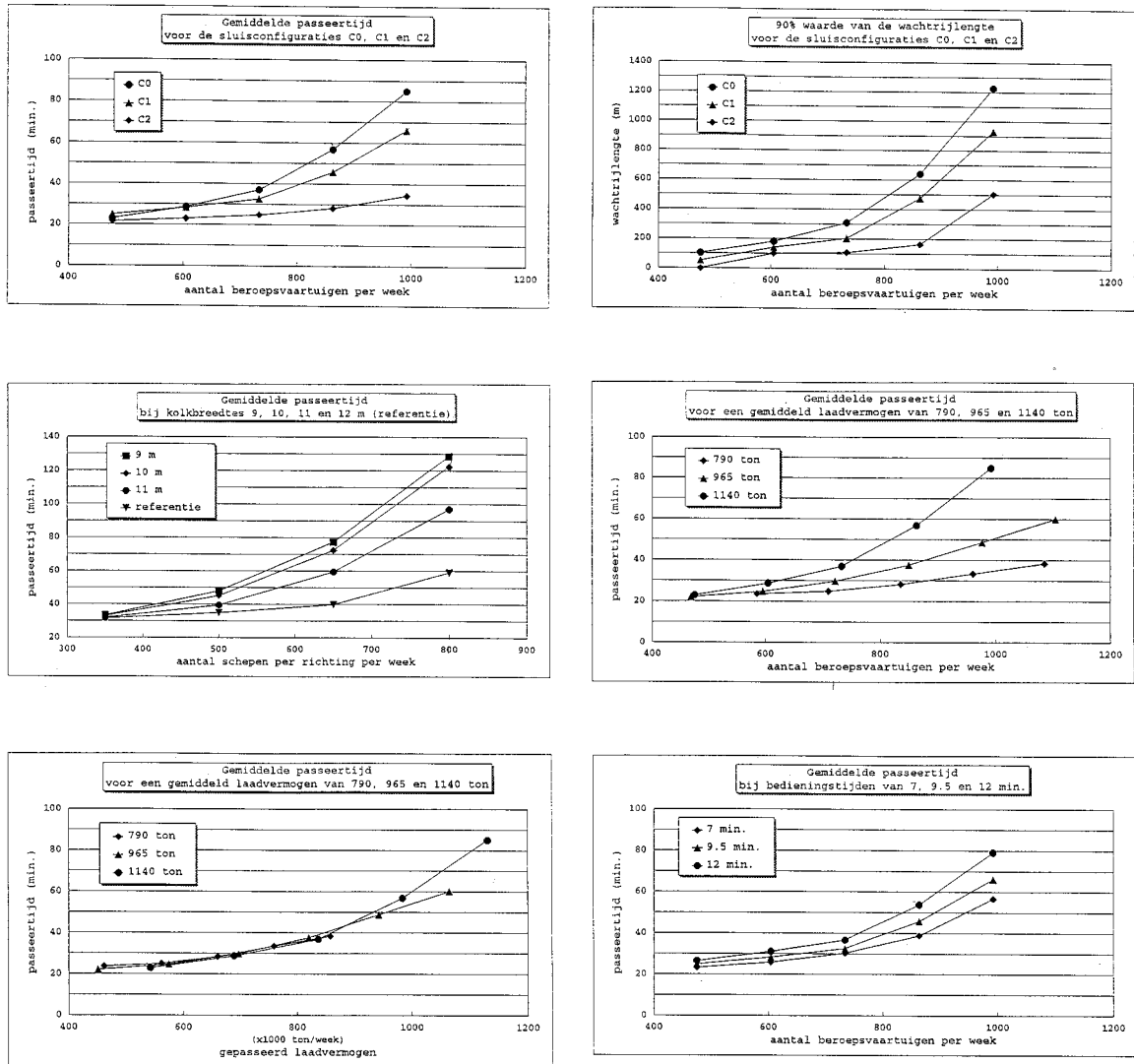
$$\text{als het verkeersaanbod zeer onregelmatig is:} \quad 0,55 < I_{\text{toel.wk}}/C_{\text{wk}} < 0,65$$

$$\text{als het verkeersaanbod zeer regelmatig is:} \quad 0,75 < I_{\text{toel.wk}}/C_{\text{wk}} < 0,85$$

Hiertoe moet dus de capaciteit C (schepen/uur) met de nodige correcties worden omgerekend naar de capaciteit per week C_{wk} (schepen/week) door vermenigvuldiging met het aantal beschikbare bedrijfsuren per week. De capaciteit per week C_{wk} wordt in verhouding tot de *toelaatbare intensiteit per week* $I_{\text{toel.wk}}$ vergeleken met indicatieve waarden die zijn ontleend aan het verband tussen $I_{\text{wk}}/C_{\text{wk}}$ en de gemiddelde passeertijd. Uit deze vergelijking volgt de toelaatbare intensiteit per week $I_{\text{toel.wk}}$. Als die toelaatbare weekintensiteit te veel afwijkt van de gewenste, maatgevend gestelde weekintensiteit, zal de ontwerper nieuwe kolkafmetingen moeten kiezen en het proces opnieuw doorlopen.

4.4.2.4 Invloed van diverse factoren op passeertijden

Het effect van verschillende maatregelen op de gemiddelde passeertijd van de sluis kan het best worden onderzocht en zichtbaar gemaakt met behulp van simulaties. In het volgende worden daartoe resultaten weergegeven van een systematische serie SIVAK simulaties voor mogelijke veranderingen/maatregelen bij een aantal sluizen (onder meer sluiscomplex Heel). De besproken uitkomsten zijn voorbeelden, dus niet algemeen geldend. Zie Figuren 4.4 t/m 4.9.



Figuren 4.4 t/m 4.9 Resultaten SIVAK-simulaties, invloed diverse factoren op passeertijd

Invloed van de nuttige breedte en lengte van de schutkolk

Bij een groot verkeersaanbod gaat het vooral om het efficiënte gebruik van het kolkoppervlak. Soms is het zinvol om bij de keuze van lengte- en breedtematen er rekening mee te houden dat twee courante schepen naast elkaar en/of achter elkaar in de kolk moeten passen (met inachtneming van veiligheidsmarges).

Het bestaande sluiscomplex Heel (twee kolken van elk 16 x 134 m²) dat onvoldoende capaciteit heeft, kan op verschillende wijzen worden uitgebreid. In Figuur 4.4 is voor dit sluiscomplex de gemiddelde passeertijd uitgezet als functie van het aantal beroepsvaartuigen per week met een gemiddeld laadvermogen van de schepen van 1140 ton. Lijn C0 is de huidige situatie, lijn C1 is één sluis verlengd tot 200 m en lijn C2 is een uitbreiding met een derde kolk van 200 x 12,5 m². Het blijkt dat met name een derde kolk effectief is: ook met meer dan 1000 vaartuigen per week levert dit voldoende korte passeertijden op. In Figuur 4.5 is de 90% waarde van de wachtrijlengte uitgezet als functie van het aantal beroepsvaartuigen per week. Dit levert een overeenkomstig beeld op. De wachtrijlengte is van belang voor de benodigde investering van goed ingerichte wachtplaatsen in de voorhaven.

Voor de Kleine Sluis IJmuiden (kolk van 12 x 105 m²) is de breedte van de sluis gevarieerd tot waarden van 9, 10, 11 en 12 m bij een constante kolk lengte. Figuur 4.6 geeft de gemiddelde passeertijd als functie van de sluisbreedte weer. De verschillen in passeertijd voor de diverse sluisbreedten zijn aanzienlijk.

Invloed van de drempeldiepte

De drempeldiepte heeft invloed op de toegelaten diepgang van de schepen en is daarom een belangrijke economische factor voor de schipper. Verder heeft de drempeldiepte invloed op de vlotheid van de vaart: een smalle, ondiepe ingang van de kolk geeft veel hydraulische weerstand en bij het invaren worden translatiegolven opgewekt die hinder voor andere schepen kunnen veroorzaken. Dit is dus nadelig voor de snelheid van in- en uitvaren waardoor de gemiddelde passeertijd toeneemt.

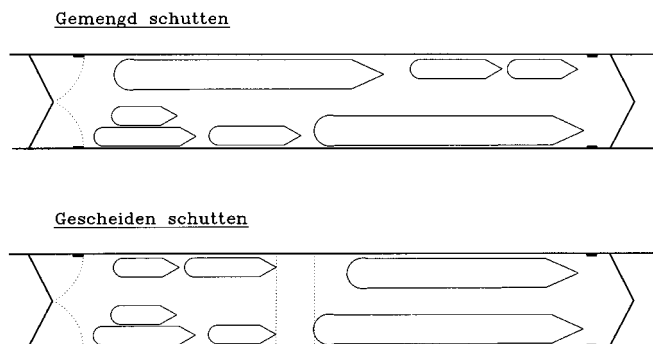
Invloed van de schaalvergroting van de vloot

De schaalvergroting kan worden gekarakteriseerd door de toename van het gemiddelde laadvermogen van de vloot. Wijzigingen in de vlootsamenstelling hebben invloed op de wijze waarop (combinaties van) schepen in de schutkolk passen. Hoe groot die invloed is kan alleen met simulatie goed worden bepaald.

In Figuur 4.7 is voor het huidige sluiscomplex Heel (twee kolken van elk $16 \times 134 \text{ m}^2$) de gemiddelde passeertijd uitgezet als functie van het aantal beroepsvaartuigen per week voor een gemiddeld laadvermogen van 790, 965 en 1140 ton. Hoe groter het gemiddeld laadvermogen bij een gelijk aantal beroepsvaartuigen wordt, des te langer wordt de gemiddelde passeertijd. Figuur 4.8 geeft de gemiddelde passeertijd weer als functie van de gepasseerde lading voor de voornoemde drie laadvermogens. Nu blijkt dat de passeertijd bij gelijkblijvende, gepasseerde lading, nauwelijks verandert bij een ander gemiddeld laadvermogen.

Invloed van bedieningstijd

De totale passeertijd van sluis Heel bedraagt gemiddeld zo'n 30 minuten, waarvan de bedieningstijd in de orde van 10 minuten ligt. De bedieningstijd is de tijd die nodig is voor het openen en sluiten van de deuren (orde enkele minuten), plus de tijd voor het nivelleren (orde 5 - 10 minuten). Met het versnellen van de deurbeweging is meestal niet veel capaciteitswinst te behalen. Daarentegen kan de nivelleertijd wel wezenlijk worden beïnvloed door de keuze van het nivelleersysteem. In Figuur 4.9 is de gemiddelde passeertijd uitgezet als functie van het aantal beroepsvaartuigen voor bedieningstijden van 7, 9,5 en 12 minuten. Bij een groot verkeersaanbod, bijvoorbeeld 1000 beroepsvaartuigen per week, neemt de gemiddelde passeertijd meer af dan de bedieningstijd.



Figuur 4.10 Gemengd en gescheiden schutten

Invloed gemengd-gescheiden-apart schutten

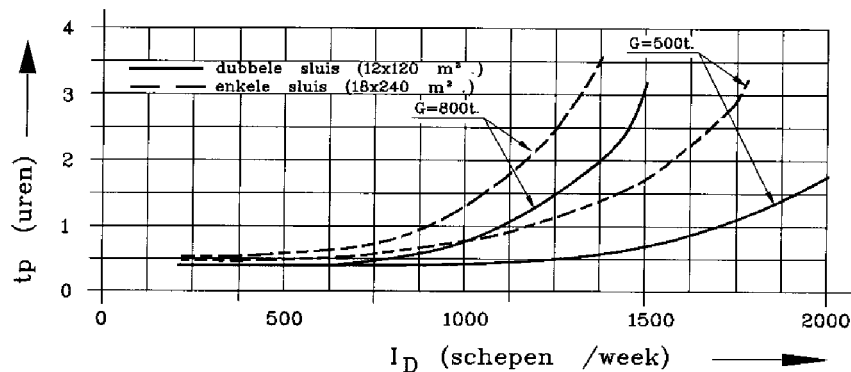
Bij gemengd schutten liggen alle typen schepen door elkaar in dezelfde kolk, wat lang niet altijd is toegestaan. Bij pleziervaartuigen en/of kegelschepen moet op een bijzondere manier geschut worden. Bij gescheiden schutten ligt de recreatievaart of het kegelschip op enige afstand van de gewone beroepsvaart in dezelfde kolk. Bij apart schutten ligt de recreatievaart of het kegelschip in een kolk zonder gewone beroepsvaart. Dit leidt in het algemeen tot capaciteitsverlies: langere invaartijden en minder efficiënt ruimtegebruik. De veiligheid vermindert meestal ook. De verschillen zijn moeilijk te kwantificeren maar er zijn wel gradaties te geven (Tabel 4.7).

aspect	gemengd schutten	gescheiden schutten	apart schutten
capaciteit	referentie	iets minder	veel minder
veiligheid	referentie	veel minder	iets minder

Tabel 4.7 Invloed gemengd-gescheiden-apart schutten

Invloed van het aantal kolken (1 resp. 2)

Als er twee (of meer) kolken beschikbaar zijn kunnen de verschillende categorieën (gewone vrachtschepen, kegelschepen en recreatievaartschepen) gemakkelijk apart worden gehouden door ze elk naar een eigen kolk te dirigeren. Daartoe moet de recreatiekolk wel aan de specifieke behoeften van deze categorie voldoen.



Figuur 4.11 Gemiddelde passeertijd als functie van de verkeersintensiteit per week

Voor de gewone beroepsvaart blijkt dat een sluis met twee kolken efficiënter schut dan een sluis met één grote kolk, zelfs als die grote kolk een groter oppervlak heeft dan de twee kleine kolken samen. Dit kan geconcludeerd worden uit Figuur 4.11 waarbij de gemiddelde passeertijd uitgezet is als functie van de verkeersintensiteit per week voor een dubbele sluis (12x120 m²) resp. een enkele sluis (18x240 m²) en voor schepen met een gemiddeld laadvermogen van 500 resp. 800 ton. Dit bevestigt de stelling dat de schutcapaciteit niet eenvoudig uit het kolkoppervlak volgt.

Invloed deelkolken

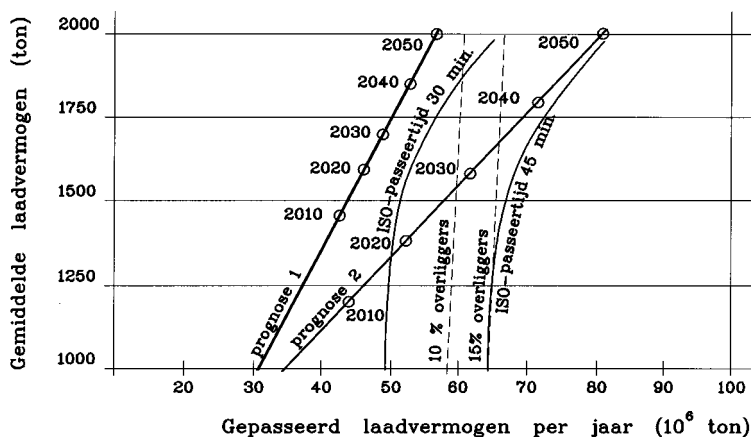
Sommige lange sluisen hebben een tussenhoofd. Dit is vaak bedoeld om met een 'kleine' kolk te kunnen schutten als er weinig scheepvaart is, wat van belang kan zijn met het oog op de waterhuishouding. Het tussenhoofd kan, wat de veiligheid betreft, ook dienen voor de benodigde scheiding van scheepscategorieën (bijvoorbeeld kegelschepen). Van geval tot geval moet worden onderzocht en beoordeeld of het gebruik van het tussenhoofd wezenlijk tot verbetering leidt.

Invloed van maatregelen om schutdebieten te beperken

In sommige hooggelegen kanaalpanden ontstaat in droge zomers een tekort aan water doordat er enerzijds te veel water door het schutten naar het benedenpand loopt, terwijl er van boven onvoldoende aanvoer is. In het sluisontwerp kunnen daarvoor voorzieningen worden opgenomen zoals extra riolen die naast elkaar gelegen kolken met elkaar verbinden om elkaars spaarbekken te zijn of een gemaal om water terug te pompen. Verder kunnen waterbesparende schutregelingen worden ingesteld. Die zijn er op gericht per schutting meer schepen (dan gewoonlijk) tegelijk te schutten (betere 'kolkvulling'). Dat leidt voor de scheepvaart tot gemiddeld langere passeertijden (door meer wachttijd), terwijl de beheerder voor meer lengte aan wachtvoorzieningen (vaak in eenvoudige vorm vanwege het tijdelijke gebruik) zal moeten zorgen. Om deze afweging van de kosten voor de schipper en de beheerder te maken is het nodig de effecten te kwantificeren door middel van simulatie. Het blijkt dat een schutregeling voor laagbelaste sluisen met incidenteel optredende watertekorten een goede oplossing is, zeker met voorkennis van aankomende schepen. Daarentegen is het effect voor hoogbelaste sluisen geringer; in dat geval is terugpompen van schutwater de juiste oplossing.

4.4.2.5 Prognose van benodigde sluiscapaciteit

Voor de opdrachtgever is het meestal niet alleen de vraag hoe groot een nieuwe sluis moet worden, maar vooral ook in welk jaar die beschikbaar moet zijn, gezien de vervoersprognoses en de tijd benodigd voor het doorlopen van de procedures en voor de bouw. Bovendien wil de opdrachtgever binnen deze context ook vaak globaal de effecten kennen van alternatieve prognoses. Voor het beantwoorden van die vraag is een methode ontwikkeld waarbij met behulp van het simulatiemodel SIVAK voor een heel scala van vervoersprognoses (gemiddeld laadvermogen en gemiddeld jaarlijks passerend laadvermogen) de passeertijden en de aantallen overliggers worden berekend, desgewenst voor verschillende varianten voor de toekomstige sluis. De methode wordt aangeduid als Prognose-Sluiscapaciteits-Effect-methode (PSE).



Figuur 4.12 Voorbeeld gemiddeld laadvermogen als functie van gepasseerd laadvermogen per jaar bij gegeven sluisconfiguratie

Figuur 4.12 geeft (enigszins vereenvoudigd) het resultaat van zo'n systematische serie simulaties voor een sluisontwerp. In de figuur is het gemiddelde laadvermogen (karakteriseert de schaalvergroting van de vloot) uitgezet als functie van de totale hoeveelheid te passeren laadvermogen per jaar. In de figuur zijn 3 soorten lijnen uitgezet:

- twee (fictieve) prognoses, de één wat optimistischer dan de andere. Langs deze prognoselijnen zijn de bijbehorende jaartallen vermeld;
- twee 'iso-passeertijdlijnen' die aangeven wanneer (bij verdere toename van het vervoer) de gemiddelde wachttijd van 30 resp. 45 minuten wordt overschreden;
- twee lijnen die aangeven wanneer het aantal overliggers groter wordt dan 10% resp 15% van het totale aanbod.

Voor het toetsen van passeertijden zijn de aan de praktijk (sluizen in de Maas) ontleende waarden gehanteerd (Tabel 4.8)

waardering	passeertijd (minuten)	overliggers (% van aanbod)
aanvaardbaar, niet kritisch	< 30	< 10
kritische fase: regelmatig treden problemen op	30-45	10-15
onaanvaardbaar, voortdurend problemen	> 45	> 15

Tabel 4.8 Beoordeling passeertijden

Te lange passeertijden betekenen vooral extra kosten voor de scheepvaart. Als er veel overliggers zijn betekent dat ook een kostenpost voor de beheerder omdat er wachtplaatsen ingericht moeten worden.

Figuur 4.12 leidt tot de volgende conclusies:

- als het vervoer toeneemt volgens prognose 1 is ook op de lange duur de schutcapaciteit voldoende; de sluis is feitelijk te ruim omdat ook het laagste criterium (30 minuten passeertijd) nooit gehaald wordt;
- als prognose 2 realiteit wordt, beginnen vanaf circa 2018 zo nu en dan te lange (gemiddelde) passeertijden op te treden; ze zullen echter niet boven de grens van 45 minuten (= onaanvaardbaar) komen. De forse toename van de passeertijden na 2020 moet aanleiding zijn om maatregelen ter verbetering op te starten;
- het aantal overliggers wordt rond 2028 kritisch en is vanaf 2034 onaanvaardbaar hoog. Rekening houdend met een bouwtijd van bijvoorbeeld 5 jaar, moet rond 2025 met de bouw worden gestart.

Deze methode, op basis van SIVAK simulaties, biedt dus de mogelijkheid de capaciteit van sluisontwerpen te toetsen voor toekomstige ontwikkelingen. Opgemerkt wordt dat in deze toetsing geen kostenafweging is meegenomen.

Een bezwaar van de genoemde methode is, dat voor elke nieuwe variant van sluiskenmerken of verkeersaanbod een gehele nieuwe simulatie moet worden uitgevoerd.

4.4.2.6 Richtlijnen voor nuttige horizontale afmetingen schutkolk

In het beginstadium van het ontwerp is er vaak behoefte aan een eerste schatting van de sluisafmetingen zonder dat daarvoor verkeersstudies etc. worden uitgevoerd. Om die reden geeft deze paragraaf in het kort richtlijnen voor horizontale afmetingen voor achtereenvolgens zeesluizen, binnenvaartsluizen en recreatievaartsluizen, met onderscheid naar verkeersdrukke.

Zeevaartsluizen

In de literatuur zijn geen vuistregels voor kolkafmetingen voor zeesluizen beschikbaar. Met de volgende verschillen ten opzichte van de gewone binnenvaart moet rekening worden gehouden:

- m.b.t. de lengte van de kolk:
 - Zeeschepen varen zeer langzaam de sluis in omdat ze een gering stopvermogen bezitten terwijl ze bij geringe kielspeling ook de schroef nauwelijks mogen gebruiken.
 - Zeeschepen met een grote blokkering van het natte dwarsprofiel van de kolk worden door het water in de kolk sterk afgeremd.
 - Voor en achter het zeeschip wordt vaak nog ruimte gereserveerd voor sleepboten.
- m.b.t. de breedte van de kolk:
 - Voor de sluisingang staan nauwelijks geleidewerken.
 - Met zeeschepen wordt zeer omzichtig gemanoeuvrerd omdat ze slecht bestuurbaar zijn; in de kolk is vaak geen assistentie van sleepboten meer mogelijk.
 - Bij een kleine kielspeling onder het schip moet voldoende breedte naast het schip aanwezig zijn
 - windgevoelige schepen (autocarriers, containerschepen) hebben extra breedte nodig vanwege de (meestal) onvermijdelijke opstuurhoek als gevolg van dwarswind.

In par. 4.4.3 staat vermeld dat bij zeesluizen vaak een kleine kielspeling wordt gekozen. Voor het voldoende vlot en veilig in- en uitvaren van zeeschepen moet echter de natte doorsnede van de kolk (breedte x diepte) bij het minimum schutpeil minimaal 25 à 30% groter zijn dan de doorsnede van het maatgevende schip. Dit leidt ertoe dat de sluisbreedte niet los gezien kan worden van de minimale kielspeling boven de drempel.

Voor zeesluizen met een laag verkeersaanbod kan als eerste benadering worden aangehouden:

- de lengte tussen de deuren = $1,15 \times$ lengte maatgevend schip;
- de nuttige breedte van de schutkolk = $1,10$ à $1,15 \times$ breedte maatgevend schip bij een minimale kielspeling van 10% van de waterdiepte boven de drempel bij zoet water. (NB. Nuttige breedte is breedte tussen kolkwanden of - indien toegepast - tussen de drijframen)

Als de sluis vulopeningen in de kolkwanden bij de deuren heeft, mag die lengte niet als nuttige kolk-lengte worden beschouwd. In de praktijk blijkt het mogelijk onder strenge voorwaarden incidenteel sche-

pen met zeer kleine marges de sluizen te laten passeren (ervaringen IJmuiden en Terneuzen). Er is geen doorvaarthoogtebeperking.

Binnenvaartsluizen

De afmetingen van een binnenvaartsluiskolk worden vooral bepaald door het economisch belang van de vaarweg waarin de sluis ligt, uitgedrukt in het verkeersaanbod (Tabel 4.9).

economisch belang	ontwerpmethode
sluizen in vaarwegen met weinig verkeer, laag economisch belang	CVB richtlijnen voor 'minimumsluis' voor enkelvoudig maatgevend schip (zie onder)
sluizen in vaarwegen met veel verkeer, groot economisch belang	met verkeersstudie, voor 'capaciteitssluis'; ontwerp toetsen aan passeertijden etc. (zie 4.4.2.6)

Tabel 4.9 Ontwerpregels voor minimum- resp. capaciteitssluis

Voor de nuttige kolkmaten van een minimumsluis (dus voor klein verkeersaanbod) voor de binnenvaart, zijn de richtlijnen in de CVB (Lit. [4.3] vermeld en Tabel 4.10.

Definities:

- 1) lengte tussen de stopstrepen (zie ook 4.4.2.2)
- 2) breedte beschikbaar voor schepen, inclusief hun eigen wrijfhouten (zie ook 4.4.3)
- 3) drempeldiepte = maatgevende diepgang (stilliggend) + kielspeling (0,6 m voor klassen I t/m IIIa en 0,7 m voor klassen IV t/m Vb)

vaarwegklasse	afmetingen maatgevend schip (m)	nuttige kolklengthe 1) (m)	nuttige kolkbreedte 2) (m)	drempeldiepte 3) (m)
I	39 x 5,1 x 2,2	43	6,0	2,8
II	55 x 6,6 x 2,5	62	7,5	3,1
(IIa)	67 x 7,2 x 2,5	75	8,0	3,1
III	67 x 8,2 x 2,5	75	9,0	3,1
(IIIa)	80 x 8,2 x 2,5	90	9,0	3,1
IV	85 x 9,5 x 2,5	95	10,5	3,5
Va	110 x 11,4 x 3,5	125	12,5	4,2
Vb	186,5 x 11,4 x 4,0	210	12,5	4,7

Tabel 4.10 Afmetingen minimumsluis

Tabel 4.10 van de minimumsluis komt neer op een verhouding van natte doorsnede sluis boven drempel met doorsnede schip van 1,3 tot 1,5. Bij de breedtematen is rekening gehouden met het gebruik van eigen wrijfhouten door het schip (circa 2 x 0,2 m), de nuttige kolkbreedte is ca. 1,10 x breedte van het maatgevende schip (voor klasse I en II is dit 1,15). De nuttige lengte van de kolk is ca. 1,12 x lengte maatgevend schip.

Grote duwvaartsluizen van CEMT-klasse VI voor duweenheden van 2 bakken breed zijn 24 m breed wat een breedteverhouding van $24/22,8 = 1,05$ oplevert. De sluis moet van zeer goede geleidewerken zijn voorzien om klemraken te voorkomen en altijd moet voldoende kielspeling onder de sluisdrempel aanwezig blijven. Bij een verhouding van natte doorsnede boven de sluisdrempel met de doorsnede van het schip van 1,3 levert dat bij een diepgang van 4 m een minimum kielspeling op van 0,95 m.

Voor capaciteitssluisen kunnen zonder nadere verkeersstudie (bijvoorbeeld met simulatiemodel SIVAK) geen afmetingen bepaald worden. Voor een eerste, globale indicatie, zie Tabel 4.11.

Verkeersaanbod (schepen per jaar, beide richtingen samen)		indicatie benodigde sluis; in de schutkolk past:
tot 5.000		minimumsluis; zie CVB richtlijnen [3] één 'maatgevend' (=grootste) schip
5.000-25.000	grote diversiteit in vloot	1 klein schip plus 1 maatgevend schip
	kleine diversiteit in vloot	2 twee maatgevende schepen
25.000- 50.000	grote diversiteit in vloot	2 kleine schepen plus 2 maatgevende schepen; schepen 2-breed in de kolk
	kleine diversiteit in vloot	4 maatgevende schepen; schepen 2-breed in de kolk
meer dan 50.000		2 kolken

Tabel 4.11 Indicatie benodigde binnenvaartsluis als functie van verkeersaanbod

De breedte van de grotere sluisen zijn standaardmaten met als waarden: 9, 10,5, 12,5, 16, 18 en 24 m. Deze waarden worden (uiteeraard) afgestemd op de sluismaten elders op de route.

Sluizen voor recreatievaart

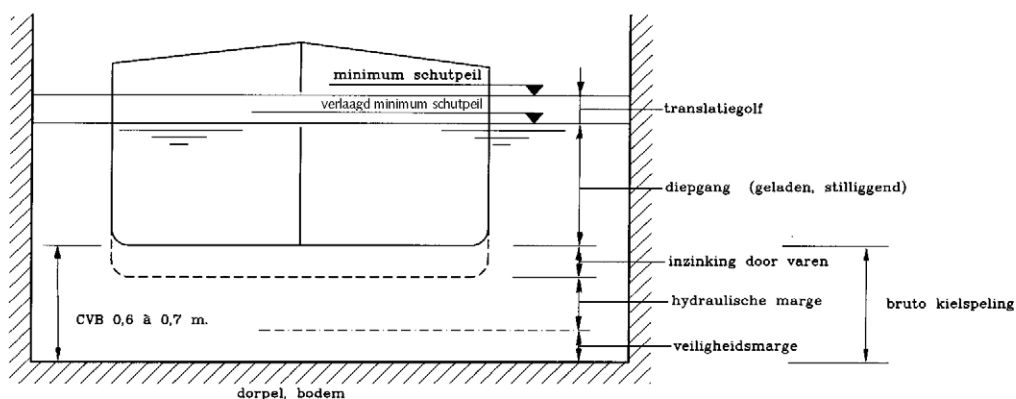
De horizontale afmetingen van een jachtensluis zijn niet alleen afhankelijk van het verkeersaanbod aan jachten, maar ook van grote werkvaartuigen die de sluis moeten kunnen passeren, of van de functie van reservesluis voor de beroepsvaart. De horizontale afmetingen moeten bij voorkeur bepaald worden door middel van simulaties. Aan de cvb richtlijnen zijn voor een eerste benadering de in Tabel 4.12 gegeven nuttige maten ontleend.

verkeersaanbod (jachten/jaar)	bepaling kolkmaten
circa 10.000	- maatgevende scheeps lengte en -breedte: door 30% van schepen overschreden; - kolkbreedte: 2 maal breedte 30%-jacht + 1 m, maar niet meer dan 8 m; - kolk lengte: 2 maal lengte 30%-jacht;
10.000 - 25.000	- kolkbreedte 8 m en kolk lengte tussen 2 maal lengte 30%-jacht en 60 m; - als meer lengte nodig is, dan ook breedte groter: 10 à 12 m
> 25.000	simulaties zullen een breedte van 10 -12 m opleveren bij een lengte van 80 - 120 m

Tabel 4.12: Indicatie benodigde recreatiesluis als functie van verkeersaanbod

4.4.3 Niveau van drempels

4.4.3.1 Componenten van minimale waterdiepte boven de drempel



Figuur 4.13 Componenten van de minimale waterdiepte

Het niveau van de drempels kan bepaald worden door van het *minimum schutpeil* ($M_{in.S}$) af te trekken (zie Figuur 4.13 en de toelichting hieronder):

1. een marge voor translatiegolven, seiches, halingen en dergelijke
2. de maatgevende diepgang van de schepen
3. de inzinking van het schip als gevolg van zijn vaarsnelheid
4. een hydraulische marge
5. een veiligheidsmarge

Verder kunnen er nog constructieve of hydraulische redenen zijn om een ander niveau te kiezen.

In de praktijk worden de volgende begrippen gehanteerd:

Minimum schutpeil ($M_{in.S}$):	Dit is de laagste waterstand waarbij nog geschut wordt voor het maatgevende schip (zie par. 2.4.1.1)
Verlaagd minimum schutpeil:	Dit is minimum schutpeil minus de marge voor translatiegolven, seiches en halingen
Bruto kielspeling:	Dit is de som van de grootheden 3, 4 en 5. Het is dus de ruimte (hoogte) tussen het laagste punt van het stilliggende, geladen maatgevende schip en de dorpel of sluisbodem bij het verlaagd minimum schutpeil

De bruto kielspeling bestaat uit een aantal grootheden die ten dele te kwantificeren zijn. De ontwerper zal een zo goed mogelijke schatting moeten maken van de verschillende factoren om in een specifiek geval de juiste keuze te kunnen maken. Voor minimumsluizen van de klassen I-V geeft de cvb een bruto kielspeling van 0,6 à 0,7 m als richtlijn.

Het minimum schutpeil ($M_{in.S}$) van de sluis wordt in de regel bepaald door de waterstand bij het benedenhoofd (eenzijdige kerende sluis) of bij het buitenhoofd (tweezijdig kerende sluis). Belangrijk is hoe vaak en hoe lang dit peil bereikt of onderschreden wordt. Soms is het in een getijgebied aanvaardbaar dat enkele uren moet worden gewacht tot er kan worden geschut, terwijl het niet aanvaardbaar is dat bij een sluis langs een rivier wekenlang de diepte ontoereikend is. In de cvb richtlijnen (Lit. [4.3]) zijn hierover overwegingen opgenomen die verkort zijn overgenomen in hoofdstuk 2. Over het algemeen is een waterstand die slechts 1% van de tijd wordt onderschreden een goede keus als minimum schutpeil ($M_{in.S}$), mits die gebruikt wordt in combinatie met de maatgevende diepgang en de vereiste kielspeling. Bij nog lagere waterstanden kan overwogen worden de sluis toegankelijk te houden voor schepen met kleinere diepgang. Uiteindelijk beslist de beheerder hierover.

Marge voor translatiegolven, seiches, halingen, en dergelijke

Bij het verlaagd minimum schutpeil wordt rekening gehouden met verschijnselen die in een tijd van tientallen seconden enkele decimeters peilfluctuaties kunnen geven. Het gaat dan om translatiegolven, seiches, halingen en bui-oscillaties en dergelijke. Opgemerkt wordt dat men soms de diepte-vermindering die het gevolg is van de translatiegolf en dergelijke verdisconteert in de veiligheidsmarge (onderdeel van de bruto kielspeling, zie Figuur 4.13). Van geval tot geval moet worden nagegaan welke mogelijke oorzaken voor translatiegolven (en ander peilfluctuaties) er zijn, bijvoorbeeld:

- schutgolven veroorzaakt door het vullen/ledigen van sluizen in dezelfde vaarweg;
- spiegeldalingsgolven door passerende schepen;
- translatiegolven door schepen die door een vernauwing varen (bijvoorbeeld het sluishoofd);
- translatiegolven door manipulaties met stuwen of waterkrachtcentrales;
- halingen en seiches.

Het is onjuist om deze golven bij elkaar op te tellen: men zal een kansverdeling moeten maken van het gelijktijdig optreden van zowel deze factoren als het overigens al gekozen (langdurende) minimum schutpeil ($M_{in.S}$).

Maatgevende diepgang

De maatgevende diepgang wordt gekozen op basis van economische overwegingen en de diepte van de aansluitende vaarwegen. Aangenomen wordt dat een maximaal geladen schip stilliggend nagenoeg gelijklastig ligt (steekt voor en achter even diep).

Inzinking door vaarsnelheid

Een varend schip ligt dieper dan een stilliggend schip. Deze 'inzinking' wordt voornamelijk bepaald door de vaarsnelheid en de natte dwarsdoorsneden van het schip en de vaarweg (sluishoofd). *Invarende* grote schepen zullen altijd langzaam varen omdat ze even later moeten stoppen. Bij *lange* schutkolken kan een onvoorzichtige schipper soms toch met vrij veel snelheid binnenkomen.

Na het schutten wil men meestal *snel uitvaren*. Bij een sluis met een groot verval is tijdens het uitvaren aan de bovenstroomse zijde de waterdiepte in de kolk erg groot, zodat het uitvarende schip dan weinig weerstand ondervindt. Het gevolg is dat het schip met relatief veel snelheid bij de bovendorpel aankomt waar de natte doorsnede veel kleiner is dan in de kolk, waardoor het schip hier ver kan inzinken. Bij het uitvaren door het benedenhoofd doet dit probleem zich niet voor, doordat dan de natte doorsneden van de kolk en van het hoofd gelijk zijn. Als er sprake is van een grote inzinking boven de sluisdrempel (bijvoorbeeld uitvaren uit diepe sluis kolk) moet deze apart berekend worden.

Het is onjuist om de inzinking die optreedt tijdens het in-/uitvaren in de kolk te berekenen met een stationaire methode zoals de Methode Schijf. Het programma WAROS (WATERbeweging RONd Schepen, Lit. [4.10], Appendix 4.3) is daarvoor geschikt. Dit is een 1-dimensionaal, niet-stationair rekenmodel voor de stroomsnelheden, waterspiegelfluctuaties, scheepsinzinking en -vertrimming en minimale kielspeling voor schepen die door discontinuïteiten in de vaarweg varen. WAROS berekent de vaarsnelheid uit het ingevoerde vermogen. De onderzoeker/ontwerper moet het invaarvermogen kiezen op grond van interviews en/of praktijkobservaties.

Hydraulische marge

De verhouding van de natte doorsneden van het schip en van de schutkolk in combinatie met de vaarsnelheid is bepalend voor de hydraulische weerstand die het schip daar ondervindt. De ruimte onder het schip maakt deel uit van die natte doorsneden en heeft ook invloed op de besturing van het schip. De hydraulische marge is bedoeld om het ook voor zeer brede schepen (breed ten opzichte van de sluis kolk) mogelijk te maken met een redelijke vaarsnelheid de kolk in en uit te varen. Voor een maatgevend schip dat een minimumsluis binnenvaart, bedraagt die snelheid circa 0,5 m/s. Als de hydraulische marge erg klein is kan het gebeuren dat een groot schip dat vanuit een ruime voorhaven, of vanuit een diepe schutkolk een relatief nauw sluishoofd invaart, plotseling een extreme inzinking krijgt of plotseling een versnelling/vertraging ondervindt ten gevolge van translatiegolven (met WAROS te kwantificeren, zie hiervoor).

Veiligheidsmarge

Deze marge heeft het karakter van een 'onzekerheidsmarge' en is nodig omdat elk van de voorgaande factoren een beperkte nauwkeurigheid heeft. Dat geldt zowel voor de waterstanden als voor de scheepsdiepgang (ligt het schip iets ongelijklastig?) en de inzinking. Ook is van belang of ernstige schade ontstaat als een schip toch onverhoopt de dorpel raakt. Over het algemeen zal men in de niveauberekening een marge van enkele dm's moeten aanhouden.

4.4.3.2 Richtlijnen voor minimum bruto kielspeling

Zeesluizen

Voor de bruto kielspeling in *zeesluizen* zijn geen algemene regels beschikbaar. Als bijzonderheden zijn hierbij te noemen:

1. Door zout en zoet water ontstaan niet alleen dichtheidsstromen, maar ook verschillen in diepgang;
2. Grote zeeschepen varen over het algemeen uiterst behoedzaam de sluis in, zonodig met sleepboot-assistentie; de vaarsnelheid is dus zeer gering en daardoor de extra inzinking ook.
3. Grote zeeschepen hebben een dermate grote diepgang dat de benodigde ontgravingsdiepte voor het bouwen van de sluis, net als bij binnenvaartsluizen, een zwaarwegende kostenfactor wordt bij de keuze van de sluisdiepte.

Met de eerste factor wordt rekening gehouden door uit te gaan van de scheepsdiepgang op *zoet water*. De tweede en derde factor maken dat een kleine kielspeling geaccepteerd wordt, bijvoorbeeld 10% van de diepgang (vergelijk binnenvaartsluizen met 20%). De geringe kielspeling geeft een grote hydraulische weerstand. Daarom moet de sluis wat breder gemaakt worden om toch met een redelijke snelheid te kunnen in- en uitvaren.

Onder druk van de schaalvergroting van de schepen worden bij bestaande sluizen vaak, met vergunning, schepen met zeer kleine kielspeling geschut, zoals uit het volgende voorbeeld (*Noordersluis van IJmuiden*) blijkt. De binnen- en de buitendorpel liggen even hoog. Bij het buitenhoofd benut men het getij voor extra waterdiepte: men schut de zeer grote schepen bij opkomend water, bij een waterstand van NAP of hoger. De waterdiepte bij het *binnenhoofd* is 14,50 m (drempel op NAP -15 m en kanaalpeil NAP -0,50 m). Bij het binnenhoofd ligt het schip in zoet water waardoor de diepgang groter is dan de nominale zoutwater diepgang (factor 1027/1008 voor dichtheid van water buiten en binnen de sluis). Een schip wordt toegelaten dat buiten 45 voet (13,72 m) diep steekt. De diepgang is dan bij het binnenhoofd 13,97 m. De kielspeling is daar dus slechts $14,50 - 13,97 = 0,53$ m ofwel minder dan 3% van de diepgang. Met nadruk wordt er op gewezen dat deze kleine kielspeling alleen verantwoord is, omdat vlak voor elke schutting van een schip met grote diepgang, alle van belang zijnde factoren worden gemeten, zoals de feitelijke diepgang van het schip, de mate van gelijkklastigheid en de dichtheid van het water bij beide hoofden. Bij de toegelaten maximale diepgang mag het schip niet breder zijn dan 42 m (natte doorsnede van de sluis is 50 m breed). Voor grotere scheepsbreedtes hanteert men de regel dat voor 5 cm meer breedte de diepgang 2,5 cm kleiner moet zijn (tot 45 m breedte bij 40 voet (12,18 m) diepgang). Dit laatste wordt gezien als de 'normale' maximum diepgang, wat overeenkomt met een kielspeling van 19% (bij een breedtespeling van 11%).

Binnenvaartsluizen

De cvb richtlijnen (Lit. [4.3]) bevatten onder meer richtlijnen voor het niveau van de sluisdrempel. Op basis van praktijkmetingen bij sluizen met een 'vlakke' vloer en bij sluizen met een groot hoogteverschil tussen de vloer en het bovenhoofd, wordt door de cvb aanbevolen (voor de minimumsluis) de bruto kielspeling (definitie zie boven) als volgt te kiezen:

CEMT klasse I, II en III:	0,60 m
CEMT klasse IV en V:	0,70 m

Deze kielspeling bedraagt ongeveer 20% van de diepgang. In een bestaande situatie, waarbij het om de vraag gaat wat de grootste toe te laten diepgang is (toelatingsbeleid), kan men op grond van nadere studie, (bijvoorbeeld uitgevoerd met het rekenprogramma WAROS), wellicht een kleinere kielspeling accepteren indien strikte eisen aan de invaarsnelheid worden gesteld.

Recreatievaartsluizen

Voor jachten kan in alle gevallen een kielspeling van 0,40 m worden aangehouden (cvb richtlijn).

4.4.3.3 Verdere overwegingen met betrekking tot het drempelniveau

Over het algemeen vraagt de scheepvaart om een zo groot mogelijke sluisdiepte met het oog op de toegelaten diepgang. Als een schipper 0,20 m dieper mag laden onder de voorwaarde dat hij in de sluis alleen *langzaam* mag varen, zal hij die voorwaarde graag accepteren. Meestal wordt dit niet bij het sluisontwerp in rekening gebracht, maar het kan wel bepalend zijn voor een toelatingsbeleid.

Het heeft geen zin de sluis zo diep te maken dat de toegelaten diepgang groter is dan op de aansluitende vaarwegen, tenzij in de toekomst de vaarwegdiepte zal worden vergroot. Eventuele tunnels onder de vaarweg kunnen het 'onmogelijk' maken de vaarweg dieper te maken (bijvoorbeeld het Noordzeekanaal). Vanwege de bouwkosten zal men meestal de diepte zo klein mogelijk houden. Het verschil in bouwkosten moet worden afgewogen tegen het verschil in de gesommeerde vervoerskosten (grotere diepgang = goedkoper transport).

Als de schutsluis op de grens van zout (brak) en zoetwater ligt, heeft de drempelhoogte veel invloed op de zout/zoet uitwisseling. Het kan dan aantrekkelijk zijn om een in hoogte verstelbare drempel aan de zoetwaterzijde te hebben (zie hoofdstuk 21).

Tenslotte kan het vul- en ledigingsysteem (zie hoofdstuk 6) invloed hebben op het niveau van de drempels. Immers, als de drempel (en de sluisvloer) lager ligt, is er in de deur meer ruimte (hoogte) beschikbaar voor een goed gevormde doorlaatopening. Bovendien is een diepliggende vulopening gunstig omdat dan de vulstraal ook onder de schepen door gaat. Beide factoren verkleinen de optredende trosskrachten.

Uit een en ander moge duidelijk zijn dat, zelfs in eenzelfde vaarweg, de optimale drempeldiepte niet overal gelijk hoeft te zijn, omdat de eisen plaatselijk kunnen verschillen.

4.4.4 Niveau van de kolkbodem

Gewoonlijk wordt de kolkbodem op hetzelfde niveau aangelegd als de laagste dorpel, of iets lager. Er zijn enkele redenen om de kolkbodem lager te leggen.

- Als de kolkwanden zelfstandige constructies zijn (bijvoorbeeld uitgevoerd als een verankerde damwand of diepwand) behoeft de kolkbodem niet te worden uitgevoerd als een betonplaat, maar kan volstaan worden met een steenbestorting. Die moet bestand zijn tegen de krachten van schroefstralen, retourstroom en vulstroom, omdat voorkomen moet worden dat losse stenen op de dorpel terechtkomen of plaatselijk minder diepte geven. Dit is een optimalisatievraagstuk: als de bodem dieper ligt kan met een lichtere stortsteen volstaan worden (voorbeeld: Nieuwe Oranjesluis te Amsterdam).
- Bij een nivelleersysteem via de deuren of de hoofden moet de vul-/ledigingsstroom grotendeels in de lengterichting door de schutkolk lopen. Deze stroom gaat gepaard met stroomkrachten en langsverhangen die aanzienlijke troskrachten op schepen in de kolk kunnen uitoefenen. Naarmate de kolkbodem dieper ligt zijn de hydraulische krachten geringer en kan dus in principe sneller genivelleerd worden. Daar staat tegenover dat bij grotere diepten de bouwkosten toenemen.

4.4.5 Dekzerhoogte, met het oog op scheepvaart

4.4.5.1 Inleiding

Met de 'dekzer' wordt vanouds de bovenkant van het sluisplateau aangeduid. In het spraakgebruik is dat ook synoniem voor 'hoogte van de kolkwand'. De dekzerhoogte wordt bepaald door twee factoren:

1. nautische eisen in samenhang met het maximum-schutpeil;
2. waterkerende functie van de sluis in samenhang met het maatgevend hoogwater.

Uiteraard spelen ook de kosten een rol. De dekzer wordt niet hoger gelegd dan nodig is met het oog op de beide factoren. De eerste factor wordt in deze paragraaf behandeld, de tweede factor in par. 4.5.

Het maximum-schutpeil is de waterstand waarboven schutten niet meer wordt toegestaan. Het maatgevend hoogwater is de hoogste waterstand die moet kunnen worden gekeerd. Schutten is daarbij meestal niet meer mogelijk. Als het maatgevend hoogwater veel hoger is dan het maximum schutpeil, wordt het bovenhoofd hoger gemaakt dan het sluisplateau en het benedenhoofd. Als het maatgevend hoogwater niet, of weinig, hoger is, worden beide hoofden en het tussenliggende sluisplateau even hoog gemaakt. In par. 4.5 wordt dit verder uitgewerkt.

4.4.5.2 Nautische eisen

De hoogte van de kolkwand boven het maximum-schutpeil wordt vooral bepaald door de eis dat deze zowel visuele als fysieke geleiding moet geven. Bij zeesluizen is meestal geen sprake van fysieke geleiding.

Voor de *visuele geleiding* (oriëntatie) moeten de beide kolkwanden in ieder geval even hoog zijn (zoals meestal om andere redenen al het geval is). Voor de visuele geleiding is het gunstig als de kolkwand altijd hoger is dan de boeg van het schip. Dat is vaak niet haalbaar, maar er zijn ook andere mogelijkheden om de schipper de benodigde visuele geleiding te verschaffen (bijvoorbeeld markering).

De *fysieke geleiding* houdt in dat het schip er zonder risico's, desnoods glijdend/schurend, langs moet kunnen varen. Daarbij mogen enerzijds geen zaken op het sluisplateau beschadigd worden door overstekende delen van schepen, en mogen anderzijds schepen niet beschadigd raken doordat zij niet langs,

maar op onderdelen van de sluis glijden. Dat laatste kan optreden als een flauw hellende duwstevens een lage kolkwand (of remmingwerk) raakt onder een ongunstige hoek. De factoren die het oversteken en de schadekans bepalen zijn dus:

- de hoogte van de kolkwand boven water: hoe hoger de wand hoe minder kans op schade;
- de vorm en hoogte van de scheepsboeg. Duwstevens zijn zeer ongunstig. Schepen met duwstevens komen vooral op de grotere vaarwegen veel voor;
- de hoek tussen schip en kolkwand: hoe groter de hoek, hoe meer kans op schade. Een klasse IV schip kan in een 24 m brede sluis een hoek van circa 10° maken met de kolkwand. Bij de sluisingang zijn nog veel grotere hoeken mogelijk. Bij schepen met boegschroeven zullen, door hun betere beheersbaarheid, grote hoeken slechts zelden optreden. Een leeg eenbaks duwstel is meestal en vooral bij dwarswind, het meest ongunstige vaartuig.

De hoogte van de kolkwand heeft geen zwaarwegende invloed op het *hanteren van de (meer-)trossen*, mits voldoende goed vormgegeven haalkommen en bolders aanwezig zijn (zie hoofdstuk 17).

Het is duidelijk dat een hoge kolkwand altijd de beste geleiding biedt. Voor het dekzerkniveau van elke sluis en het verkeersaanbod, moet het optimum van bouwkosten en schadekans worden gezocht. Daarnaast verdient de veiligheid aandacht: de hoogte van de kolkwand is ook van belang voor het aan en van boord gaan. Hieraan zijn echter moeilijk richtlijnen voor de hoogte te ontleen doordat de hoogte van (onderdelen van) schepen zeer uiteenlopen. In dit opzicht zijn voldoende en goede trappen belangrijk voor het van en aan boord gaan.

4.4.5.3 Richtlijnen voor dekzerhoogte

Zeesluizen

Zeeschepen hebben een veel hogere opbouw dan binnenvaartschepen. Voor fysieke geleiding, zoals in de vorige paragraaf beschreven voor binnenvaartschepen, zouden zeer hoge kolkwanden nodig zijn. Meestal wordt volstaan met het aanbrengen van drijfrahmen langs de kolkwanden. De drijfrahmen dienen tegelijk als fenders en geleiding.

Door de hoge opbouw van zeeschepen moeten de trossen vastgemaakt worden aan bolders op het sluis-terrein. Dit is verder geen bezwaar aangezien op (grote) zeesluizen gewoonlijk vletters aanwezig zijn om de trossen om de walbolders te leggen. Het is daarom voor de trosbediening niet nodig het sluisplateau op een bepaald (hoog) niveau te leggen.

Nautisch zijn er dus geen redenen om de dekzerk hoger te leggen dan nodig om bij maximum-schutpeil het sluisplateau droog te houden. Wel is het mogelijk dat vanuit de waterkerende functie (tweede of reserve kering) de dekzerk hoger gelegd moet worden.

Binnenvaartsluizen

Door de cvb zijn richtlijnen gepubliceerd die, kort samengevat, in Tabel 4.13 staan.

CEMT klasse	hoogte van sluisplateau boven maximum schutpeil	
	kolkwand	sluishoofd
I - IV	1,5 m	zelfde als kolk
V	2,5 m	4,5 m

Tabel 4.13 Hoogte sluisplateau

De grote hoogte voor klasse V stoelt op de aanname dat een groot deel van klasse V schepen een duwstevens heeft. Als men deze richtlijnen volgt is het ook bij maximum-schutpeil vrijwel onmogelijk dat 'oversteken' voorkomt. In de cvb 'Richtlijnen voor Sluizen in vaarwegen van de CEMT klassen I-IV' zijn voor verschillende boegvormen, hoogten, en hoeken grafieken opgenomen waaruit kan worden afgelezen hoe ver een schip oversteekt.

De kans dat duwstevens schade aanrichten wanneer lagere waarden worden aangehouden dan die vol-

gens de CVB-richtlijnen, is niet groot. Verder is het de vraag als schade optreedt hoe de kosten daarvan opwegen tegen de kosten van zo'n hoge kolkwand. De uitkomst is meestal dat de voor klasse V gegeven richtlijnen (2,5 en 4,5 m) niet aangehouden worden. Er worden lagere hoogten gekozen.

Met betrekking tot de schadekans wordt nog opgemerkt dat het maximum schutpeil redelijk zeldzaam is. Als het gemiddeld peil bijvoorbeeld 1,0 m lager ligt, betekent dit dat bij gemiddelde omstandigheden al aan de richtlijn van 2,5 m wordt voldaan als de kolkhoogte op 1,5 m boven het maximum schutpeil komt te liggen.

Als voorbeeld wordt vermeld dat voor de tweede sluis bij Lith (CEMT-klasse Vb) gekozen is voor een hoogte van 1,5 m boven het maximum-schutpeil.

Recreatievaartsluizen

Voor deze sluizen wordt de dekzerhoogte aangegeven ten opzichte van het maatgevende hoge zomerpeil. De recreatievloot bestaat uit zowel zeer kleine bootjes (dagtoerisme) als grotere schepen van 10 à 20 m of zelfs meer. Voor de kleinste bootjes is een hoogte van 0,75 m tot 1,0 m aanvaardbaar. Ook voor grotere jachten is de maat van 1,0 m geschikt, mits de hoogte niet minder dan 0,5 m boven het maximum schutpeil is.

4.4.6 Doorvaarthoogte

4.4.6.1 Inleiding

De doorvaarthoogte heeft bij sluizen over het algemeen betrekking op vaste bruggen over de sluis, of hefdeuren. Het niveau van de onderzijde van de vaste brug of geheven deur wordt bepaald uit de doorvaarthoogte. Als daarmee de sluis te duur wordt of andere problemen oplevert (horizonvervuiling) kan beter een ander deurtype gekozen worden.

Bij het kiezen van de plaats en hoogte van bruggen moet men rekening houden met de kosten van de aansluitende wegen als functie van de aanleghoogte. Voor de brug zijn in principe verschillende locaties mogelijk (zie ook par. 2.3.4.1):

- over het bovenhoofd: meestal moeilijk/kostbaar om voldoende doorvaarthoogte te creëren;
- over (een deel) van de schutkolk: af te raden omdat het een verkleining van het nuttige kolkoppervlak geeft;
- over het benedenhoofd: meestal de grootste doorvaarthoogte tegen de minste kosten, omdat de hoogte gemeten wordt ten opzichte van de benedenwaterstand.

Voor de hoogte van een *beweegbare* brug kunnen geen algemene richtlijnen worden gegeven: men zal per geval het optimum moeten bepalen van de kosten van:

- de constructie, onderhoud en bediening van de brug;
- het wachtende wegverkeer;
- eventueel oponthoud dat de scheepvaart ondervindt.

Voor vaste *bruggen en hefdeuren* kunnen wel richtlijnen worden gegeven, zie de volgende paragraaf.

4.4.6.2 Richtlijnen voor doorvaarthoogte

Voor een constructie (brug, hefdeur) over het bovenhoofd of de sluis kolk wordt gerekend met het maximum schutpeil. Ligt de constructie over het benedenhoofd, dan wordt voor de doorvaarthoogte rekening gehouden met de hoge maatgevende waterstand van het benedenpand (zie ook par. 2.4.1.1).

De maatgevende hoogte van schepen met het oog op onderdoorvaart wordt 'kruiphoogte' of 'strijkhoogte' genoemd. Voor de strijkhoogte kan, voor een eerste benadering, worden uitgegaan van de richtlijnen van de CVB. De strijkhoogte van de binnenvaartschepen is zodanig gekozen dat deze slechts door ca. 10% van de geïnventariseerde vloot (begin jaren negentig) wordt overschreden. Geadviseerd wordt om voor de concrete situatie uit te gaan van een zo recent mogelijke inventarisatie van de vloot op die route en op grond daarvan, eventueel door extrapolatie, de maatgevende strijkhoogte te kiezen.

CEMT klasse	type schip	strijkhogte (m)
-	zeiljacht	12,0
-	motorjacht	3,4
I	Spits	5,0
II	Kempenaar	6,0
IIa	Hagenaar	6,3
III	Dordtmunder	6,3
IV	RHK-schip	6,7
Va	Groot Rijnschip	6,7 / 8,8 *)
Vb	tweebaks duwstel	8,8
*) 6,7 m Is hoog genoeg voor 3 lagen containers alsmede voor 70% van ongeladen schepen van deze klasse. 8,8 m Is voor vaarwegen met veel containervaat; geschikt voor 4 lagen containers alsmede voor 90 - 95% van de ongeladen schepen.		

Tabel 4.14 Richtlijnen doorvaarthoogte

Tussen de constructie (brug, hefdeur) en het hoogste punt van het schip wordt een marge ('schrikhoogte') van 0,30 m aangehouden. De doorvaarthoogte, gemeten vanaf de maatgevende waterstand wordt dus als volgt berekend:

$$\text{doorvaarthoogte (m)} = \text{strijkhogte (m)} + 0,3 \text{ m 'schrikhoogte'}$$

Voor klasse V wordt aldus de doorvaarthoogte voor 3 lagen containers 7 m en voor 4 lagen containers 9,10 m. Deze waarden komen overeen met de aanbevelingen van de CEMT. De doorvaarthoogte van 9,10 m is ook de overeengekomen hoogte voor de bruggen over de Rijn (gemeten ten opzichte van MHW, de Maatgevende Hoge Waterstand). Hierbij wordt opgemerkt dat de voor containerschepen benodigde doorvaarthoogte momenteel (1998) ter discussie staat. Dat kan leiden tot een grotere advieshoogte.

4.5 Schutsluis, peilmaten met het oog op de waterkerende functie

4.5.1 Functionele eisen voor de schutsluis als onderdeel van de waterkering

Schutsluizen maken deel uit van de waterkering. Zoals in par. 2.3.2 is vermeld, vertaalt dit zich in eisen ten aanzien van:

1. de toelaatbare overloop en overslag;
2. sterkte en stabiliteit;
3. de betrouwbaarheid van het sluiten van de deuren.



Foto 4.4 Hoogwater bij stuw- en sluiscomplex te Belfeld

De eerste eis is bepalend voor de kerende hoogte van de sluis, met name voor het niveau van de bovenzijde van de deurbeplating van het buiten(boven-)hoofd en voor de dekzerkhoogte van dat hoofd, althans indien de geleiding van de scheepvaart niet om een hogere wand en dus om een hoger dekzerkniveau vraagt.

Op de tweede eis wordt nader ingegaan in de hoofdstukken 7, 8, 12 en 13.

Vaak wordt hetzelfde niveau aangehouden voor de bovenzijde van de binnen(beneden-)deur en die van de buiten(boven-)deur. In dat geval zijn er twee volwaardige hoogwaterkeringen aanwezig en behoeven vanuit de waterkerende functie geen extra eisen aan de betrouwbaarheid van sluiten te worden gesteld (Lit. [4.5]).

Uit een oogpunt van kosten kan het aantrekkelijk zijn de binnen(beneden-)deur en wanden van dat hoofd en die van de kolk lager uit te voeren. In dat geval is er maar één volwaardige hoogwaterkering en moeten eisen worden gesteld aan de betrouwbaarheid van het sluiten daarvan. Volgens de 'Leidraad' van TAW (Lit. [4.5]) moet dan worden voldaan aan:

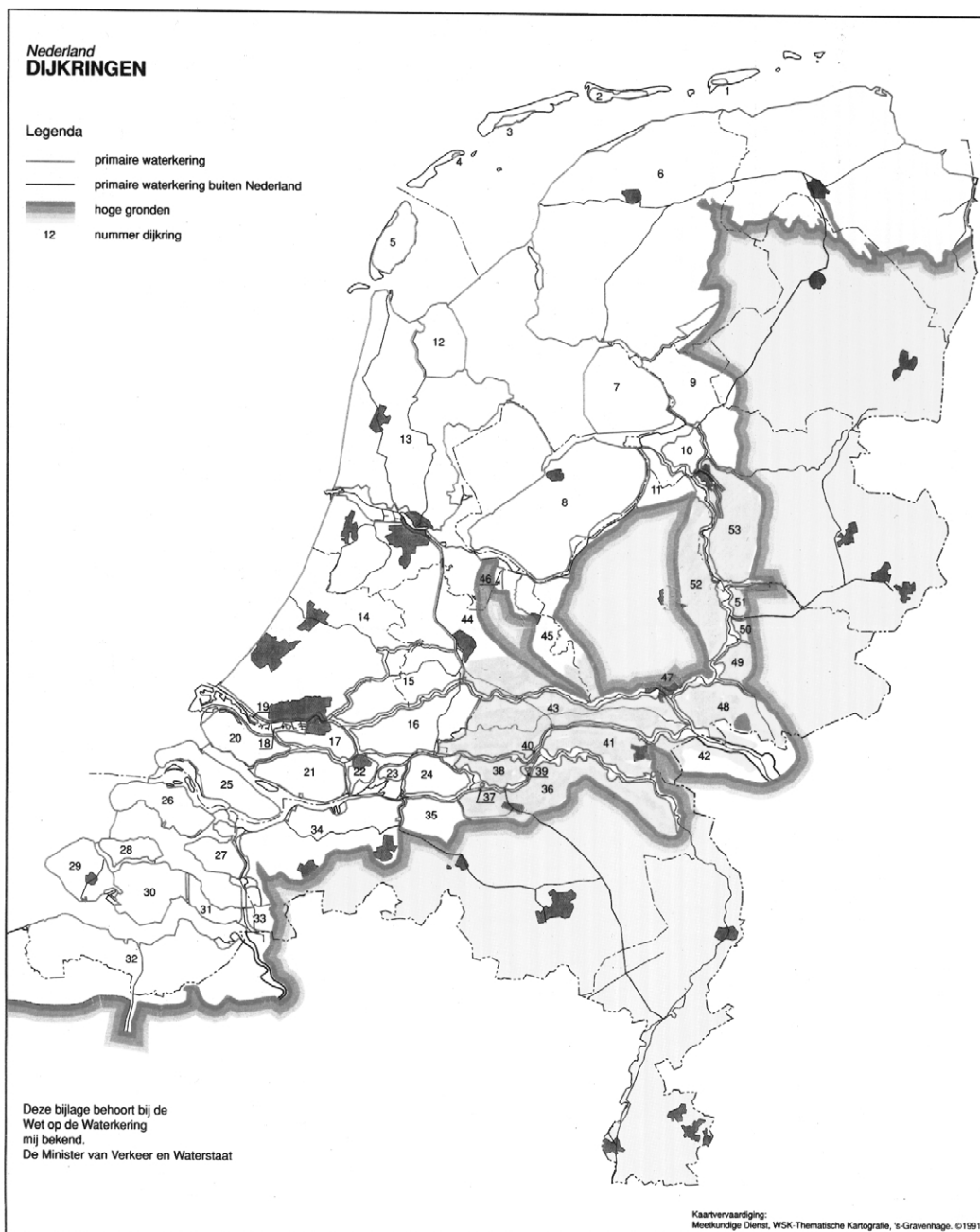
$P_{fa} \leq 0,1$.norm, waarin:

P_{fa} = actuele faalkans door een falend afsluitmiddel (1/jaar);
 norm = ontwerpfrequentie (1/jaar).

Alhoewel dit niet expliciet is vermeld in Lit. [4.5], wordt aanbevolen P_{fa} te delen door n indien zich n afsluitbare kunstwerken in de waterkering bevinden. Opgemerkt wordt dat Lit. [4.5] betrekking heeft op kunstwerken vallend onder de Wet op de Waterkering en dat voor andere schutsluizen overeenkomstige normen moeten worden opgesteld. In par. 4.5.2 wordt beschreven voor welke schutsluizen de Wet op de Waterkering geldt en voor welke niet.

Het uitgangspunt voor de deurhoogte van ten minste één deur per schutsluis is Maatgevend Hoogwater (MHW). In par. 4.5.3 wordt aangegeven waarop deze stand is gebaseerd en aan welke informatiebronnen zij eventueel kan worden ontleend. Aan de hand van MHW en andere gegevens, zoals zeespiegelrijzing, zettingen, seiches en lokale opwaaiing, wordt in par. 4.5.4 de bovenzijde van de deurbeplating bepaald. Een van de facetten daarvan, de waakhoogte, in verband met de beperking van golfoverslag en overloop, wordt in par. 4.5.5 uitgewerkt.

4.5.2 Schutsluizen als onderdeel van de waterkering



Figuur 4.14 Dijkkringen in Nederland

Schutsluizen vormen een onderdeel van een waterkering. Voor het bepalen van de kerende hoogte van een schutsluis is het van belang onderscheid te maken in gebieden van primaire waterkeringen en niet-primaire waterkeringen omdat voor de eerste de hoogwaterstanden wettelijk zijn vastgelegd (Lit. 4.21) en de laatste niet.

Schutsluizen in primaire waterkeringen

Om Nederland tegen hoog buiten- en binnenwater te beschermen zijn er waterkeringen in de vorm van duinen, dijken en dammen. Duinen en dijken zijn er langs de kust en de eilanden, dijken bevinden zich langs alle rivieren, kanalen, meren en dergelijke en dammen liggen in de zeearmen, tussen meren en in rivieren/riviermondingen met veelal afsluitbare openingen.

Het lagere deel van Nederland (Groningen, Friesland, Flevoland, Noord- en Zuid Holland, Utrecht en Zeeland) en nabij de grote rivieren (delen van Gelderland, Noord-Brabant en Overijssel) bestaat uit een aaneenschakeling van zgn. dijkringen (Lit. 4.21). De dijkkring omsluit een stuk land en bestaat uit een gesloten ring van dijken en eventueel duinen, zijnde de *primaire waterkering*. Er zijn ook dijkringen die niet gesloten zijn, maar deze sluiten dan aan op hoge gronden. Er zijn in Nederland in totaal 53 dijkringen. De primaire waterkering beveiligd het omsloten land tegen overstroming bij hoge stormvloed, hoog oppervlaktewater van de grote rivieren of hoogwater op het IJsselmeer. De waterkering heet primair omdat deze rechtstreeks de veiligheid beïnvloedt van grote delen van Nederland. In de dijkkring zijn spuisluizen, keersluizen en/of gemalen opgenomen voor het overtollige water, soms inlaatsluizen voor droge periodes en vaak schutsluizen voor het scheepvaartverkeer binnen de dijkkring. De dijkringen staan aangegeven in figuur 4.14. Voorbeeld van een gesloten dijkkring van harde zeedijken is dijkkringgebied 30, Zuid Beveland, met bedreiging vanuit Wester- en Oosterschelde.

In de primaire waterkeringen zelf kunnen schutsluizen opgenomen zijn. Een voorbeeld in het kustgebied is dijkkringgebied 32, Zeeuws Vlaanderen, met het schutsluiscomplex van Terneuzen. Een ander voorbeeld voor het bovenrivierengebied is dijkkringgebied 43, Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden met de schutsluiscomplexen van Tiel en Ravenswaay.

Schutsluizen in verbindende waterkeringen

Tussen de dijkringen van de primaire waterkeringen in bevinden zich vaak *verbindende waterkeringen* (dammen) waarin veelal hoogwaterkeringen, keersluizen, spuisluizen en/of schutsluizen zijn opgenomen. Deze verbindende waterkeringen kunnen ook als primair worden beschouwd. Voorbeelden van verbindende waterkeringen zijn de Afsluitdijk, de Haringvlietdam en de Oosterscheldedam.

In de verbindende waterkering wordt meestal een schutsluis opgenomen. Voorbeelden in het kustgebied zijn het schutsluiscomplex te IJmuiden tussen dijkkringgebied 13 (Noord-Holland) en 14 (Zuid-Holland) en de Krammersluizen in de Philipsdam tussen dijkkringgebied 25 (Goeree Overflakkee) en 27 (Tholen). In het IJsselmeergebied tussen dijkkringgebied 13 (Noord-Holland) en 8 (Flevoland) zijn in het damvak Enkhuizen / Lelystad de Krabbersgatsluizen bij Enkhuizen.

Schutsluizen in niet-primaire waterkeringen

Binnen de gebieden van primaire keringen (dus binnen de dijkringen) zijn ook zeer vele waterkeringen (dijken) langs de waterlopen aanwezig die dus niet-primair zijn. In deze waterlopen kunnen ook peilver-schillen optreden die voor de scheepvaart overbrugd worden door schutsluizen. Voorbeelden hiervan zijn de Oostersluis in het van Starckenborghkanaal in Groningen en sluis te Leidschendam in Rijn/Schiekanaal.

In de hogere delen van Nederland (Drenthe, Veluwe, Twente, Achterhoek, Limburg en het zuidelijk deel van Noord-Brabant) is er geen sprake van primaire waterkeringen. Maar deze waterkeringen (dijken) langs rivieren (bijvoorbeeld Maas in Limburg), beken, kanalen, en dergelijke moeten het land daar eveneens beschermen tegen hoge rivierafvoeren.

In een bevaarbare rivier zijn naast een stuw een of meer schutsluizen aanwezig (Voorbeeld: sluisen te Belfeld in de Maas). Kanalen die aan een rivier takken, worden hiervan gescheiden door een schutsluis (Voorbeeld: Sluis Panheel tussen Kanaal Wessem-Nederweert en Maas). De panden in kanalen met verschillende peilen worden gescheiden door een schutsluis (Voorbeelden sluisen te Born en Maasbracht in het Julianakanaal).

4.5.3 Hydraulische randvoorwaarden

Volgens de Wet op de Waterkeringen moet voor het gebied van *primaire keringen* de hoogwaterstanden vastgelegd zijn. Deze waterstanden staan vermeld in de publicatie "Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen" (Rijkswaterstaat DWW, sept. 1996, lit. [4.21]). De wet heeft betrekking op de beveiliging tegen het buitenwater: de zee, de grote rivieren en het IJsselmeer en wel als gevolg van stormvloeden op zee, hoge rivierafvoeren en golven.

In genoemde publicatie staan *toetspeilen* voor vele locaties langs de verschillende dijkkringen en langs de verbindende waterkeringen. Het toetspeil is de hoogwaterstand waarop de dijk of de constructie op getoetst wordt en deze moet kunnen weerstaan. Het toetspeil geldt voor een bepaalde periode, zoals toetspeil 2000 voor de periode 1995-2000. De toetspeilen zijn in de publicatie gegeven voor de dijkkringen langs de zeekust, het boven- en benedenrivierengebied, het gebied van Vecht / Zwarte Water en het IJsselmeergebied en voor de verbindende waterkeringen tussen de dijkkringen. Voor het ontwerp van een constructie moet het toetspeil omgewerkt worden tot een peil dat behoort bij het einde van de levensduur van de constructie (bijvoorbeeld 2100) door rekening te houden met een hoogwaterstijging als gevolg van zeespiegelrijzing en getijverandering of met menselijke ingrepen in het gebied.

Langs de *zeekust* worden de hoogwaterstanden veroorzaakt door stormvloeden op zee. Voor de harde zeekust worden *ontwerppeilen* en voor de zandige zeekust *rekenpeilen* gebruikt. Ontwerppeilen behoren bij een bepaalde ontwerprequentie en gelden voor het jaar 1985. Ze zijn deterministisch bepaald door extrapolatie van metingen van waterstanden van het betreffende kustgebied en uit de helling van de overschrijdingslijn Hoek van Holland (ontwerppeil NAP +5,15 m bij 1/10.000 jaar). Rekenpeilen voor zandige kusten (duinen) ontstaan door sommatie van 2/3 van de decimeringshoogte op het ontwerppeil (Opm. Decimeringshoogte is het peilverschil bij een 10 keer kleinere overschrijdingskans). Het toetspeil 2000 bijvoorbeeld, zoals vermeld in de publicatie, is het ontwerp- of rekenpeil uit 1985 vermeerderd met 15 jaar hoogwaterstijging. Om het peil voor het ontwerp van een hydraulisch kunstwerk in 2035 te bepalen wordt het ontwerppeil met 50 jaar hoogwaterstijging (=2035 - 1985) verhoogd. Als voorbeelden van ontwerp frequenties kunnen genoemd worden het dijkkringgebied Walcheren met een frequentie van 1/4000 jaar en het dijkkringgebied Noord-Holland met 1/10.000 jaar. Bij de toetspeilen staan ook de significante golfhoogtes en golfperiodes vermeld.

In het *benedenrivierengebied* worden de hoogwaterstanden veroorzaakt door een combinatie van hoge rivierafvoeren en stormvloeden op zee. In dit gebied wordt voor de dijkkringen de zgn. *MHW-waarde* (Maatgevend Hoog Water) gebruikt. De MHW-waarde is eveneens gekoppeld aan een overschrijdingskans die gelijk is aan de ontwerprequentie van het betreffende dijkkringgebied en is representatief voor het jaar 2035. De MHW-standen zijn probabilistisch afgeleid door het uitvoeren van een groot aantal berekeningen van combinaties van stormvloeden op zee en hoogwaterafvoeren van de rivieren. Voor de waarde van het toetspeil 2000 moet de MHW-waarde verminderd worden met het effect van 35 jaar hoogwaterstijging (=2035-2000). Voor de hydraulische randvoorwaarde van het ontwerp van een hydraulisch kunstwerk in bijvoorbeeld 2085 is 50 jaar hoogwaterstijging (= 2085-2035) boven de MHW-waarde nodig. Voorbeelden van overschrijdingsfrequentie van het dijkkringgebied Zuid Holland is 1/10.000 jaar en dijkkringgebied West Brabant 1/2.000 jaar.

In het *bovenrivierengebied* en het gebied Vecht/Zwarte Water worden de hoogwaterstanden alleen veroorzaakt door hoge rivierafvoer. Ook voor de dijkkringen in het bovenrivierengebied wordt de *MHW-waarde* gebruikt en wel met een frequentie van 1/1.250 jaar. De *MHW-waarden* zijn ontstaan door extrapolatie van metingen, uit berekeningen die betrekking hebben op de in de loop der jaren veranderende geometrie van de rivier en uit analyses van een snellere afvoer van neerslag naar de rivier. De MHW-waarde is gelijk aan het toetspeil en kan ook zonder verdere correcties overgenomen als peil voor het ontwerp van het hydraulisch kunstwerk mits er in de toekomst geen ingrepen in de rivier te verwachten zijn.

Voor het *IJsselmeergebied* worden alleen kruinhoogten van dijken gegeven die afhangen van de dijkgeometrie en behoren bij verschillende overschrijdingsfrequenties (bijv. Noordoostpolder 1/4.000 jaar). De waarden zijn berekend uit combinaties van het mogelijke IJsselmeerpeil (o.a. als gevolg van hoge afvoergolf IJssel) en de opwaaiing door de wind.

Vrijwel alle in Nederland voorkomende zeearmen zijn afgesloten door een dam waarin vaak een stormvloedkering en/of schutsluis is opgenomen. Deze dammen verbinden dan twee dijkkringen. Voor deze *verbindende waterkeringen* worden ook toetspeilen gegeven samen met windgolfhoogten en -periodes. Ook in het rivierengebied komen verbindende waterkeringen voor. De toetspeilen betreffen eveneens een overschrijdingsfrequentie die behoort bij het betreffende damvak, bijvoorbeeld Afsluitdijk 1/1430 jaar, Oosterscheldedam 1/4000 jaar, schutsluizen IJmuiden 1/10.000 jaar en stormvloedkering Hollandsche IJssel 1/10.000 jaar.

Hoogwaterstanden voor de gebieden *buiten de primaire waterkeringen* zijn niet altijd direct beschikbaar. Voor de rivier de Maas zullen de maximale waterstanden bepaald worden uit extrapolatie van meetgegevens (aanvoer Borgharen 3650 m³/jaar), uit berekeningen met stromingsmodellen met de voorgestelde nieuwe lengte- en breedteprofielen en extra aanvoer van zijrivieren en dergelijke, eventueel aangevuld met nieuwe hydrologische berekeningen (Com missie Boertien).

In kanalen met een afwaterende functie worden maximale waterstanden meestal bepaald uit extrapolatie van bestaande meetgegevens bij een aangenomen overschrijdingskans. Eventueel moeten resultaten aangevuld worden met eendimensionale stromingsberekeningen van het gebied en uit analyses van wijzigingen in het afvoerregime.

4.5.4 Niveau bovenkant deurbeplating en dekzerk

Het niveau van de bovenzijde van de buiten-/bovendeur en van de dekzerkhoogte van het buiten-/bovenhoofd, wordt bepaald door de maatgevende hoogwaterstand, zeespiegelrijzing, zettingen van de sluis, lokale opwaaiing, langperiodieke golven (seiches etc.) en door de mate waarin golfoverslag en eventueel overloop acceptabel zijn.

De TAW Leidraad Waterkerende kunstwerken en Bijzondere Constructies (Lit.[4.5]) geeft de volgende formule voor de kerende hoogte:

$$h_{kr} = MHW + h_{zsr} + h_{zkl} + h_{opw} + h_{sbb} + w$$

met	h_{kr}	= de aanleghoogte van het kunstwerk;
	MHW	= Maatgevend Hoogwater (langs boven- en benedenrivierengebied), ontwerppeil (langs harde zeekust) of rekenpeil (langs zandige zeekust) (zie par. 4.5.3);
	h_{zsr}	= zeespiegelrijzing en verhoging van de waterstand door morfologische ontwikkelingen gedurende de planperiode, voor zover deze niet in het MHW zijn verdisconteerd;
	h_{zkl}	= klink en zettingen gedurende planperiode;
	h_{opw}	= verhoging van de waterstand door lokale opwaaiing;
	h_{sbb}	= verhoging van de waterstand door seiches, bui-oscillaties en buistoten;
	w	= waakhoogte in verband met golfoverslag en overloop.

Aan de hierboven vermelde tekst uit de Leidraad, die geldt voor alle soorten waterkerende kunstwerken die zich in primaire keringen bevinden, kan het volgende worden toegevoegd:

- h_{kr} :
Voor de aanleghoogte van het kunstwerk moet voor een schutsluis worden gelezen: de bovenzijde van de beplating van tenminste één van de deuren (of *deurparen* als het puntdeuren betreft) en van het bijbehorende hoofd en het aangrenzende sluisterrein.
Zoals in par. 4.4.5 en 4.6.4 wordt beschreven worden de dekzerk en het sluisterrein om andere redenen (scheepvaart) vaak hoger aangelegd.
- MHW:
Zoals in par. 4.5.3 wordt vermeld is deze stand voor primaire keringen meestal een vaststaande waarde. Voor andere gebieden is het maatgevend hoogwater moeilijker te bepalen.
- h_{zsr}
Behalve zeespiegelrijzingen kunnen zich in de planperiode ook waterstandswijzigingen voordoen door kunstmatige peilaanpassingen, bijvoorbeeld in kanalen en meren.

- h_{zkl}
In de planperiode kunnen zich ook zettingen voordoen door bijvoorbeeld gaswinning en (de naweeën van) mijnbouwactiviteiten.
- h_{opw} en w
De wind kan voor de sluisdeur lokale opwaaiing en golven geven. Een en ander is afhankelijk van de windrichting en -sterkte ten tijde van MHW, van de geometrie, strijklengte en de ligging van het gebied vóór de sluis. De inkomende golven reflecteren tegen de verticale wand, wat aanleiding kan geven tot een staand golfbeeld met aanzienlijke golfhoogten voor de deur. Dit effect wordt vergroot bij toepassing van een fuikvormige ingang. De mate van reflectie wordt overigens mede bepaald door de grootte van de waakhoogte (bij kleinere w een kleinere reflectie).
- w :
In de Leidraad worden rekenregels gegeven voor de bepaling van de waakhoogte. In de volgende paragraaf worden deze regels verkort weergegeven. De paragraaf eindigt met vuistregels voor een eerste benadering van de waakhoogte tijdens het voorontwerp.

4.5.5 Waakhoogte

De toe te passen waakhoogte voor overslag en overloop is afhankelijk van de golven vóór de deur (de inkomende golven zonder reflectie en dergelijke) en van de erosiebestendigheid van de voorzieningen achter de deur en de daar aanwezige komberging. Bij die voorzieningen moet worden gedacht aan bodem- en oeverbeschermingen, overgangsconstructies en dergelijke. Indien het sluissterrein zich op gelijke hoogte bevindt als de bovenzijde beplating, zoals bijvoorbeeld bij de zeesluis in Terneuzen, dient ook de erosiebestendigheid van dit terrein dan wel de daar acceptabele schade in de beschouwing te worden betrokken.

In de Leidraad (Lit. [4.5]) worden drie methoden aangegeven om de waakhoogte te bepalen:

1. op grond van het overslagdebiet dat toelaatbaar is voor de bodembescherming;
2. op grond van het overslagvolume dat achter de sluis kan worden geborgen (komberging);
3. een verdere reductie van de waakhoogte bepaald volgens 2, door behalve overslag ook overloop toe te staan, althans voor zover de beschikbare komberging niet reeds is uitgeput door de overslag.

De methoden zijn complementair. Bij vaststelling van de waakhoogte volgens 1 (erosiebestendigheid) moet worden gecontroleerd of de beschikbare komberging niet wordt overschreden. Indien de waakhoogte is vastgesteld aan de hand van de beschikbare komberging (2 en eventueel 3) moet worden gecontroleerd of ongewenste erosie optreedt.

Bij een berekening volgens **methode 1** wordt eerst een overslagdebiet (in l/m/s) vastgesteld dat nog toelaatbaar is voor de voorziene bodembescherming c.a. Uit grafieken die zijn opgenomen in de Leidraad wordt bij dit debiet de overslagfactor α afgelezen. De waakhoogte volgt dan uit:

$$w = \alpha \cdot H_s + 0,30 \text{ m, \quad waarin:}$$

$$H_s \quad = \text{significante golfhoogte}$$

$$0,30 \text{ m} \quad = \text{veiligheidsmarge voor de onzekerheid in de grafieken}$$

De grootste waarde van α is 1,2; deze geldt voor erosiegevoelige situaties, bijvoorbeeld bij coupures in dijken, die ook in de Leidraad worden behandeld. Bij sluizen zullen meestal geen erosiegevoelige situaties (behalve als gedeelten van het onbeklede sluissterrein door golfoverslag worden getroffen) en zal α dus kleiner zijn dan 1,2. Bovendien is het denkbaar in volgende ontwerpstappen de bodemverdediging c.a. te verzwaken of uit te breiden, waardoor α verder kan worden verkleind. Dit is overigens een kwestie van kostenafwegingen.

In de Leidraad zijn twee grafieken opgenomen voor de overslagfactor α (verticale as) als functie van het overslagdebiet (horizontale as), één voor kust- en één voor rivierregimes. In de eerste grafiek zijn krommen getekend voor verschillende waarden van H_s (van 0,5 tot 3,0 m), in de tweede staan krommen voor respectievelijk boven- en benedenrivieren. De benedenrivieren zijn daarbij onderverdeeld in die met getijregime en die met rivier-/overgangsregime. Voor het opstellen van de grafieken is ervan uitgegaan

dat de golven loodrecht op de deur staan en dat het voorvlak van de deur verticaal is. Voor scheve golf-inval en voor andere deurvormen is nader onderzoek nodig.

Bij de berekening volgens **methode 2** wordt eerst het maximum volume bepaald dat kan worden geborgen in het achter de sluis gelegen bekken zonder dat dit leidt tot overstromingsgevaar of andere hinder voor de omgeving. Vervolgens wordt dit zogenaamde kombergend vermogen (m^3) gedeeld door de sluisbreedte. Het quotiënt is V_B (m^3/m), het totale toelaatbare volume aan overslag gedurende een hoogwaterperiode per breedte-eenheid van het kunstwerk. Indien zich meerdere kunstwerken in de kering van het bekken bevinden moet de gesommeerde breedte in rekening worden gebracht in plaats van de bovengenoemde sluisbreedte, mits voor die andere kunstwerken sprake is van een overeenkomstige kerende hoogte en golfaanval.

Uit grafieken die zijn opgenomen in de Leidraad, wordt bij het toelaatbare volume V_B de overslagfactor α_{komb} afgelezen. De waakhogte volgt dan uit:

$$w = \alpha_{\text{komb}} \cdot H_s + 0,30 \text{ m.}$$

In de grafieken wordt de kombergingsfactor α_{komb} (verticale as) aangegeven als functie van het toelaatbare volume aan overslag V_B (horizontale as). De kromme die de relatie aangeeft is afhankelijk van de beschouwde situatie: boven-, benedenrivier, getijde-, overgangsregime en kust. Voor de kustsituatie zijn meerdere krommen aangegeven, namelijk voor significante golfhoogten van 2 tot 8 m. Ook hier geldt weer dat voor de onderliggende berekeningen is uitgegaan van loodrechte golf-inval op verticale vlakken. Voor daarvan afwijkende configuraties is nader onderzoek nodig.

De berekening volgens **methode 3** wordt uitgevoerd, indien uit de voorgaande berekening (methode 2) blijkt dat de maximum komberging niet wordt benut door de overslag. In de methode 2-grafieken leest men dan af dat de overslagfactor α_{komb} gelijk is aan nul, waardoor de waakhogte 0,30 m wordt. Men kan dan overwegen om overloop toe te staan door de waakhogte verder te verkleinen, mits dit niet gepaard gaat met erosieproblemen. Ook voor deze verdere verlaging zijn grafieken in de Leidraad opgenomen. De waakhogte mag echter nooit kleiner dan nul zijn.

De hiervoor geschetste systematiek voor het bepalen van de waakhogte van kunstwerken in primaire waterkeringen, is ook toepasbaar voor schutsluizen in andere keringen. Daarbij gaat het om de systematiek, niet om de getalswaarden, bijvoorbeeld die welke verwerkt zijn in de grafieken.

Voor een eerste schatting van de waakhogte tijdens het voorontwerp, kan worden uitgegaan van de volgende tot nog toe gehanteerde praktijkregels:

- Voor een sluis in een kanaal (geen windgolven): $w = 0,30 \text{ à } 0,50 \text{ m}$
- Voor een sluis in een kanaal met hoge translatiegolven: $w = 0,60 \text{ m}$

4.6 Schutsluis, resulterende horizontale afmetingen en peilmaten

4.6.1 Inleiding

In de paragrafen 4.4 en 4.5 zijn de nuttige afmetingen van de schutsluis behandeld zoals die volgen uit de scheepvaart- en waterkeringseisen.

De aldus bepaalde lengte- en breedtematen van de schutkolk kunnen worden aangeduid als de 'nuttige' of 'netto' maten. Bij deze 'netto' afmetingen moeten enkele toeslagen worden opgeteld om tot de 'bruto' horizontale kolkmaten te komen. Voor de kolklengthe bestaat deze toeslag uit de stopstreepafstand, dit is de afstand van de stopstreep tot de dichtstbijzijnde deurkas. Een schip mag niet voorbij de stopstreep liggen. Bij de kolkbreedte bestaat de toeslag uit eventueel aangebrachte wrijfgordingen of drijframen en een marge voor onnauwkeurigheden in uitvoering of doorbuiging van de wanden. Opgemerkt wordt dat bij de SIVAK simulaties (zie par. 4.4.2.3) al marges voor lengte en breedte per schip in acht worden genomen bij het kolk-indelen. Deze marges kunnen dus verder buiten beschouwing blijven.

Uitgaande van de bruto kolkmaten moeten vervolgens de maten van de gehele sluis worden bepaald, dus inclusief de hoofden. Daarvoor zijn ook andere dan nautische en waterkeringseisen van belang, zoals het toe te passen vul- en ledigingsysteem en het deurttype (respectievelijk hoofdstukken 6 en 7), het al dan niet aanbrengen van opvangconstructies nabij de deuren (hoofdstuk 17), alsmede constructieve overwegingen, zoals de lengte van het hoofd in verband met de overall stabiliteit (hoofdstuk 13).

Voor het ontwerp zijn verder de verticale afmetingen van belang: de diepte en de hoogte. Uit de scheepvaart- en waterkeringseisen zijn in de paragrafen 4.4.3 t/m 4.5.5 verschillende niveaus afgeleid inclusief de benodigde veiligheidsmarges (zoals de kielspeling en de schrikhoogte). Die niveaus kunnen dus als bruto-maten beschouwd worden. Uit de verschillende niveaus kunnen dan de definitieve niveaus van de drempels, de dekzerk en de bovenzijde van de deurbeplating afgeleid worden.

Voor enkele in de volgende paragrafen te gebruiken begrippen volgen hier de definities.

- De deurkas is de sparing in de wand waarin de deur zich in geopende stand bevindt.
- De deurnis is de sparing in de wand waarin de tip van een draai- of roldeur zich in gesloten stand bevindt (dit is tegenover de deurkas), of waarin de zijanten van een hefdeur in gesloten stand zich bevinden.
- De lengte van de deurkas (-nis) is de afmeting van de kas (nis) in de langsrichting van de sluis.
- De diepte van de deurkas (-nis) is de horizontale afmeting loodrecht op de sluisas.
- De lengte van een deur wordt gerekend in de richting van de deuroverspanning, de dikte is de horizontale maat loodrecht daarop.
- Penanten zijn de wandgedeelten van de hoofden, waarin zich geen deuren bevinden (ter weerszijden van de deurkas (nis) bevinden zich dus penanten).
- De lengte van een penant is de maat in lengterichting van de sluis.
- De stopstreep is een markering op de kolkwand die de afstand tot de deurkas (dus deuren) aangeeft waar de schepen in de kolk niet mogen komen.

4.6.2 Lengte

4.6.2.1 Overzicht

De nuttige of netto kolklengthe is de afstand van de stopstreep op de sluiswand tot aan de bij het andere hoofd gelegen deurkas. Bij aparte vloed- en ebdeuren is sprake van 2 stopstrepen waarbij de nuttige kolklengthe de afstand is tussen de stopstreep voor de vloeddeur en de bij het andere hoofd gelegen vloeddeurkas of die tussen de stopstreep voor de ebdeur en de bij het andere hoofd gelegen ebdeurkas.

De bruto kolk lengte is de lengte tussen de deuren, dit is de nuttige kolk lengte plus de stopstreepafstand (afstand van de stopstreep tot de nabij gelegen deuren).

De lengte van de gehele sluis is de afstand tussen de buitenzijden van de hoofden, dit is dus de som van de lengtes van het bovenhoofd, alle kolk moten en het benedenhoofd. Het hoofd bestaat uit een deurenkas (of twee deurenkassen) en penanten.

Voor het vul- en ledigingssysteem van de sluis is het van belang de lengte tussen de deuren te kennen met het oog op het schutvolume of de schutsluis.

4.6.2.2 Stopstreepafstand

De stopstreepafstand (afstand tussen de deurenkas en de stopstreep) heeft tot doel:

- 1) Reduceren van de hinder voor de schepen door de eventuele vulstroom (vullen door bovenhoofd). Dit is alleen van belang bij het bovenhoofd (bij dubbelzijdig kerende sluisen dus bij beide hoofden) en is afhankelijk van het type vulsysteem.
- 2) Vermindert de kans dat het schip de deuren raakt ten gevolge van:
 - menselijke beoordelingsfouten, zoals te laat stoppen bij het invaren;
 - verplaatsingen van het schip door waterbewegingen tijdens het nivelleren of openen/sluiten van de deuren;
 - verplaatsingen van het schip door rek en onhandige bediening van de trossen tijdens het nivelleren;
- 3) Vermindert de kans dat het schip een hooggelegen drempel bij het bovenhoofd raakt.

Bij 2) wordt nog opgemerkt dat sommige deurentypen veel kwetsbaarder zijn dan andere. Puntdeuren zijn vooral kwetsbaar vanaf de niet-kerende zijde, zeker in het stadium met ongeveer gelijk water. Er is ook veel verschil in de waterbeweging die wordt opgewekt als de deuren worden geopend (en de schepen in beweging brengt). Deze waterbeweging is relatief sterk bij de enkele draaideuren.

De stopstreepafstand is niet toereikend om bij een technisch mankement van het schip (bijvoorbeeld 'achteruitslaan' lukt niet) het rammen van de deuren te voorkomen. In dit laatste geval kan alleen een opvang-inrichting de schade beperken (zie hoofdstuk 17). Opvanginrichtingen treft men niet aan bij zeesluizen omdat het invaren zeer behoedzaam plaatsvindt (vaak met sleepboothulp) en zeesluizen vaak zijn uitgerust met roldeuren die in vergelijking met andere deurentypen relatief goed bestand zijn tegen aanvaringen (zeer stijf door dubbelzijdige beplating). Ook bij de andere typen sluisen worden opvanginrichtingen zelden toegepast.

Een grote stopstreepafstand heeft het nadeel van een groter wateroppervlak (vul- en ledigings-volume) en hogere bouwkosten. Het is moeilijk deze kosten af te wegen tegen de grotere veiligheid of hinder. Daarom wordt, rekening houdend met de relevante factoren, de in Nederland meest gebruikelijke lengte aangehouden: een afstand van 2 - 5 m. Hier volgt een nadere specificering.

Voor zeevaartsluizen zijn geen richtlijnen voorhanden voor de afstand tussen de stopstreep en de deurenkas. Gezien de grote verscheidenheid in afmetingen en manoeuvreervermogen (stopvermogen) van zeeschepen zal het bedienend personeel van de sluis vaak per schip aangeven tot hoe ver dit schip mag doorgaan. Het personeel zal er op (moeten) letten dat het schip niet voor de uitmonding van een omloopriool ligt. Aandacht is ook nodig als een schip een bulbsteven heeft die ver uitsteekt. Het schatten van de risico's en de eventuele gevolgen (bijvoorbeeld langdurige volledige stremming) speelt daarbij een grote rol.

Voor binnen- en recreatievaartsluizen kunnen de richtlijnen van de CVB worden aangehouden met enkele aanvullingen. De stopstreepafstand heeft verschillende lengten.

- 1) Bij bovendeur met vulling via deuropeningen:
 - De stopstreepafstand wordt bepaald door hinder van instromend water; over het algemeen is een afstand van minimaal 3 - 5 m gewenst.

- 2) Bij bovendeur met vulling via omloopriolen met woelkelder:
 - De stopstreepafstand wordt bepaald door hinder van instromend water. De afstand van stopstreep tot benedenstroomse zijde woelkelder is minimaal 3 - 5 m, daarbij komt nog de lengte van woelkelder tot deurkas.
- 3) Bij benedendeur of bovendeur met bodemvulsysteem:
 - Stopstreepafstand bij vaarwegen CEMT klasse I en II, minimumsluis: 1 m
 - Stopstreepafstand bij vaarwegen CEMT klasse III en groter, minimumsluis: 2 m
 - Stopstreepafstand bij vaarwegen CEMT klasse III en groter, capaciteitssluis: hiervoor geeft de CVB geen richtlijn. Aanbevolen wordt om bij een brede sluis ook een grotere afstand, bijvoorbeeld 3 - 4 m te kiezen.

Verder geldt nog:

- In getijgebieden worden stopstrepen aangebracht voor zowel de ebdeuren als de vloeddeuren
- Bij beveiligde sluisdeuren is de afstand tot de vangconstructie minimaal 1 m

Deze richtlijnen voor de stopstreepafstand zijn niet gebaseerd op grondig onderzoek, maar zijn in de Nederlandse praktijk vrij algemeen aanvaard.

4.6.2.3 Lengte van de deurkassen

De lengte van de deurkassen (-nissen) wordt bepaald door type en afmetingen van de deur en de benodigde speling in de deurkassen. De grootste lengte van de deurkas is nodig bij draai- en puntdeuren, die zich in geopende stand evenwijdig aan de sluisas bevinden.

De deurdikte is een functie van de breedte van de sluis en de grootte van het te keren verval. Voor een eerste benadering kan globaal worden uitgegaan van de volgende verhoudingen tussen deurdikte en sluisbreedte:

- draaideur: 1: 6 à 1:8
- puntdeuren: 1:16 à 1:20
- hefdeur: 1:6 à 1:8
- roldeur: 1:4 à 1:5

De benodigde spelings in de deurkassen en -nissen alsook de ruimte nodig voor de beweging van draai- en puntdeuren kunnen worden ontleend aan de hoofdstukken 7 en 8.

4.6.2.4 Lengte van het sluishoofd

In één hoofd kunnen zich meerdere deuren bevinden. Dit is bijvoorbeeld het geval bij toepassing van puntdeuren in een situatie waar het verval over de sluis van richting kan veranderen. Daarnaast kan worden overwogen om twee deuren per hoofd toe te passen met het oog op de bedrijfszekerheid en/of het onderhoud. Door de toegenomen betrouwbaarheid van deuren en bewegingswerken wordt dat laatste niet veel meer gedaan.

Globaal gesproken bestaat een hoofd uit een deurkas met twee penanten ter weerszijden, of uit twee deurkassen, een tussenpenant en twee penanten ter weerszijden. De lengte van deze penanten is een functie van de vanuit de deuren op te nemen krachten, van de ter weerszijden van de deur aan te brengen afmeervoorzieningen, van eventueel aan te brengen schotbalkspanningen (en de krachtoverdracht vanuit die balken), van eventuele vangconstructies, alsmede (bij hefdeuren) van de aanzetbreedte van de heftorens. Een algemene regel is derhalve niet te geven, maar voor een voorontwerp zou men grofweg kunnen zeggen dat de lengte van een penant "ter weerszijden" varieert van 2 m voor een 9 m brede sluis tot 4 m voor een 24 m brede sluis. Voor dezelfde sluisbreedten varieert een tussenpenant van ca. 3 m tot 5 m.

De totale lengte van een sluishoofd (in de langsrichting van de sluis) moet ook worden berekend op overall stabiliteit. Bij op staal gefundeerde sluizen betreft deze controle vooral het benedenhoofd dat, anders dan het boven- en tussenhoofd, geen horizontale krachten kan overdragen naar de aangrenzende kolknoten. Bij een fundering op palen moet elk hoofd zelfstandig worden gezien omdat niet mag worden uitgegaan van krachtoverdracht naar aangrenzende constructiedelen. In het algemeen is de sta-

biliteit in lengterichting geen probleem en behoeven de hoofden daarvoor geen extra lengte te krijgen. In Nederland zijn de hoofden als regel symmetrisch ontworpen ten opzichte van de deur. In bijzondere gevallen kan het voor de overall-stabiliteit aantrekkelijk zijn de deur stroomafwaarts van het hart van het hoofd te plaatsen (de neerwaartse belasting neemt dan toe door de grotere watermassa boven de vloer).

4.6.3 Breedte

In par. 4.4.2 is aangegeven hoe de nuttige breedte van een sluis wordt bepaald uit de eisen van de scheepvaart. De breedte van de kolk en van de hoofden is bij moderne sluizen gelijk.

Bij de nuttige breedte moeten enkele toeslagen worden opgeteld om tot de constructiematen te komen. Als de nuttige breedte is bepaald met SIVAK (simulatie) dan is daarin al besloten een kleine extra breedte (0,1 m) voor een wrijfhout dat het schip zelf gebruikt.

Bij sluizen waar de wanden zijn voorzien van vaste wrijffribben- of gordingen, bijvoorbeeld bij kolkwanden van stalen damwand, moet de breedte ook nog worden vermeerderd met tweemaal de dikte van de wrijffribben: twee maal $0,20 = 0,40$ m.

Voor de maat tussen de dagziende vlakken van de wanden wordt de nuttige breedte bovendien vermeerderd met $2 \times 0,10 = 0,20$ m voor onnauwkeurigheden in de uitvoering en voor de eventuele doorbuiging van de wanden. Zeker met het oog op de doorbuiging zou deze marge eigenlijk een functie moeten zijn van de hoogte van de wanden, maar in de praktijk wordt voor alle sluizen een marge van in totaal $0,20$ m gehanteerd.

Bij zeesluizen die zijn voorzien van drijfrahmen (in België rubber fenders) is de breedte tussen de wanden gelijk aan de nuttige breedte plus $0,20$ m (doorbuigings-)marge plus 2 maal de breedte van een drijf-raam en de ruimte voor de geleideconstructie daarvan.

Buiten de dagzijden van de sluis bevinden zich de deuren. De diepten van deze kassen (loodrecht op de sluisas) worden in hoofdstukken 7 en 8 beschreven. Anders dan bij andere deurentypen zijn de kassen voor roldeuren sterk bepalend voor het ruimtebeslag van de schutsluis. Deze kassen hebben een diepte van $1,4$ à $1,65$ maal de kolkbreedte.

4.6.4 Peilmaten

4.6.4.1 Niveau van de drempels

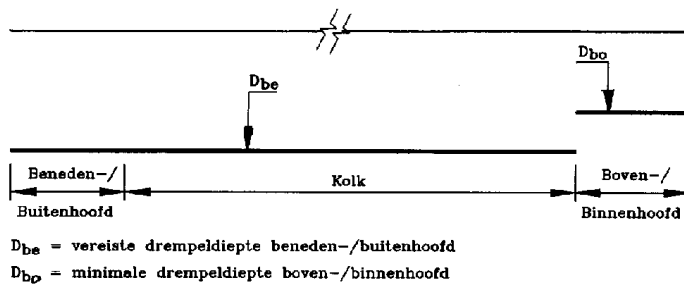
Het drempelniveau is het niveau ten opzichte van NAP van de bovenzijde van de vloer van een sluishoofd. Het gaat daarbij uiteraard om het hoogst gelegen gedeelte van de vloer.

In par. 4.4.3 is uiteengezet hoe, uitgaande van nautische overwegingen en het minimum-schutpeil, het gewenste niveau van de sluisdrempel bij het benedenhoofd (eenzijdig kerende sluis) of het buitenhoofd (tweezijdig kerende sluis) wordt bepaald. Het verlaagd minimum schutpeil wordt bepaald door van het minimum-schutpeil ($M_{\text{in},s}$) de marge voor translatiegolfhoogten, seiches en halingen af te trekken. Het niveau van de sluisdrempel ontstaat door van het verlaagd minimum schutpeil de diepgang van het stil-liggende schip en (voor de binnenvaart) een kielspeling van $0,6$ tot $0,7$ m af te trekken. Deze kielspeling is een combinatie van een inzinking van het varende schip, een hydraulische marge en een veiligheids-marge.

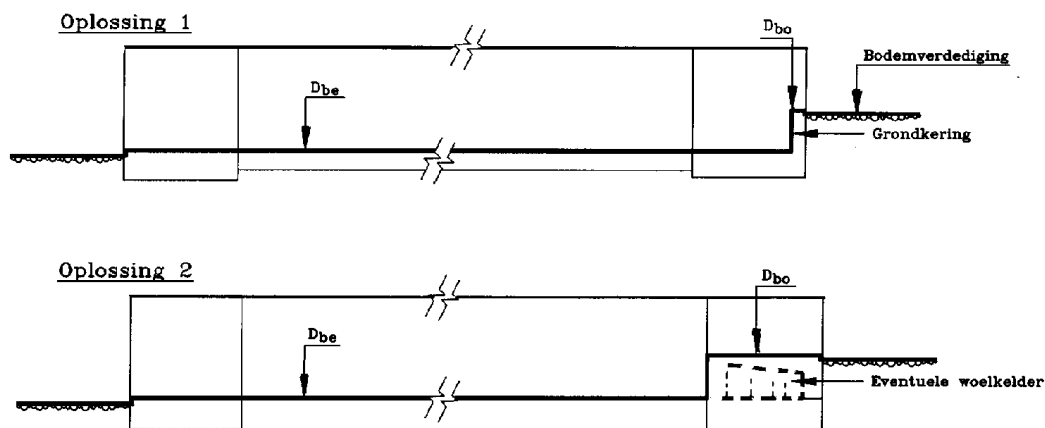
Het niveau van de sluisdrempel aan het bovenhoofd (eenzijdig kerende sluis) of binnenhoofd (tweezij-dig kerende sluis) wordt bepaald door uit te gaan van de daar heersende laagste waterstand waarbij nog geschutz moet worden in plaats van het minimum-schutpeil ($M_{\text{in},s}$).

Hierna en in Figuur 4.15 wordt de drempeldiepte van het beneden- of buitenhoofd aangeduid met D_{be} , die van het boven- of binnenhoofd met D_{bo} . Er zijn voor de aanlegdiepten van de drempels in de gehe-le sluis twee oplossingen mogelijk.

Drempelniveaus:



Oplossingsmogelijkheden:



Figuur 4.15 Drempelniveaus

Oplossing 1

Voor beide hoofden (boven- en benedenhoofd bij eenzijdig kerend of buiten- en binnenhoofd bij tweezijdig kerend) wordt het laagste niveau (D_{be}) aangehouden. Het niveau van de kolkbodem komt hiermee overeen of is iets lager (overwegingen in par. 4.4.4). Beide hoofden op één niveau leggen heeft twee voordelen:

1. deuren zijn uitwisselbaar, althans indien ook de bovenzijden van de deuren zich op één niveau bevinden;
2. er kan met één reservedeur of deurstel worden volstaan.

Voor het keren van de bodemverdediging (zie Figuur 4.15) en de grond onder het bovenkanaalpand zal aan het uiteinde van het bovenhoofd een grondkering moeten worden gemaakt. Deze kan bijvoorbeeld bestaan uit een opgestorte betonwand of een tot het juiste niveau doorgezet damwandscherm (een combinatie met het onderloopsheidscherm is denkbaar).

De nadelen van deze oplossing zijn dat de bovendeur en het bovenhoofd hoger en zwaarder moeten worden uitgevoerd dan strikt noodzakelijk is, terwijl de ruimte tussen de bovendeur en de grondkering kan gaan werken als een niet gewenste slib- of zandvang.

Oplossing 2

Voor de drempel van het bovenhoofd wordt niveau D_{bo} aangehouden, voor het benedenhoofd niveau D_{be} . De deuren zijn nu niet meer uitwisselbaar, daarentegen vervallen de nadelen genoemd bij oplossing 1. Bij vulling van de kolk door openingen in de bovendeur kunnen relatief hoog gesitueerde vulstralen tot ongewenste troskrachten leiden. Anderzijds kan bij grote vervallen, waarbij vullen via openingen in de deuren niet meer mogelijk is, gebruik worden gemaakt van de verhoogde drempel van het bovenhoofd door daarin een woelkelder op te nemen.

4.6.4.2 Niveau bovenkant deurbeplating en dekzerk

4.6.4.2.1 Niveau dekzerk met het oog op scheepvaart

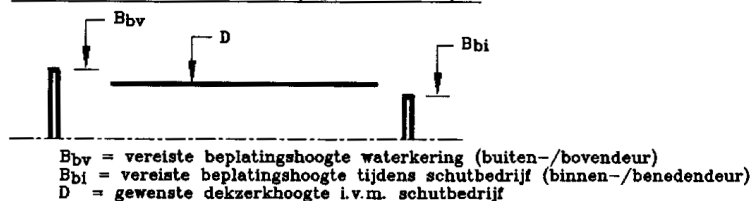
Par. 4.4.5 vermeldt hoe hoog de dekzerk boven het maximum schutpeil ($Max.S$) moet worden aangebracht met het oog op de scheepvaart. Het uitgangspunt van deze hoogte is een goede geleiding en afmeermogelijkheid voor de schepen. De hoogte boven $Max.S$ bedraagt voor recreatievaart 0,75 à 1,00 m, voor binnenvaart CEMT-klassen I t/m IV 1,50 m en voor klasse V 2,50 m. Voor zeevaartsluizen zijn geen richtlijnen voorhanden.

De dekzerkhoogte geldt over de gehele lengte van de sluis, met uitzondering van klasse V-sluizen. De cvb adviseert ter plaatse van de hoofden 4,50 m boven $Max.S$, in plaats van 2,50 m. Hetzelfde geldt voor de kolk vanwege duwstevens. Normaliter is echter voor klasse V een hoogte van 2,50 m voldoende in plaats van 4,50 m tenzij uit onderzoek blijkt dat het percentage duwstevens dominant is of wordt.

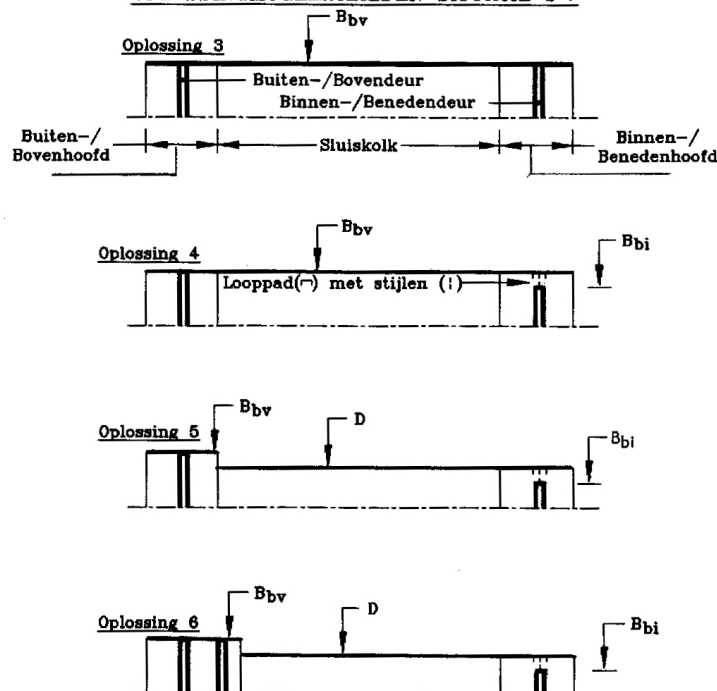
Voor een nieuw te bouwen sluis wordt dan ook aanbevolen na te gaan of de relatief grote en daardoor kostbare geleidehoogten bij klasse V-sluizen (2,5 en 4,5 m) werkelijk nodig zijn. Ligt bijvoorbeeld de gemiddelde boven- (buiten-)waterstand 1 m beneden $Max.S$ dan kan worden overwogen de dekzerkhoogte van de kolk te situeren op $Max.S + 1,5$ m. Het is dus een kwestie van het afwegen van de kans dat duwstevens oversteken over het sluisplateau, tegen de bouwkosten. Ook de kans van oversteken kan worden vertaald in (schade-)kosten.

4.6.4.2.2 Niveau deurbeplating en dekzerk met het oog op waterkering

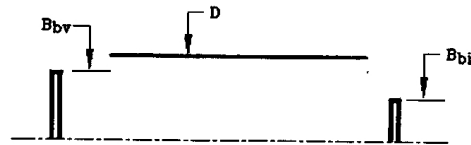
NIVEAUS BIJ SITUATIE 1 (B_{bv} boven D) :



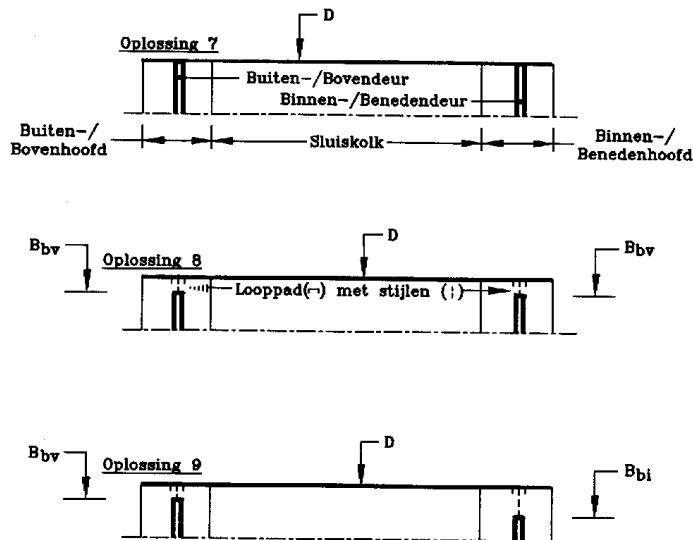
OPLOSSINGMOGELIJKHEDEN SITUATIE 1 :



Figuur 4.16 Niveau bovenzijde sluis, situatie 1

NIVEAUS BIJ SITUATIE 2 (B_{bv} beneden D) :

B_{bv} = vereiste beplatingshoogte waterkering (buiten-/bovendeur)
 B_{bi} = vereiste beplatingshoogte tijdens schutbedrijf (binnen-/benedendeur)
 D = gewenste dekzerhoogte i.v.m. schutbedrijf

OPLOSSINGMOGELIJKHEDEN SITUATIE 2 :

Figuur 4.17 Niveau bovenzijde sluis, situatie 2

In par. 4.5.4 en 4.5.5 is aangegeven op welk niveau de bovenzijde van de beplating van de buiten- of bovendeur en de dekzerk van dat hoofd moet komen te liggen voor de waterkerende functie.

De deur van het binnen- of benedenhoofd kan lager worden uitgevoerd met de bovenzijde van de beplating op $Max.S$, vermeerderd met een waakhoogte ter voorkoming/beperking van overslag door eventuele wind- en translatiegolven. De minimum waakhoogte bedraagt 0,3 m. Vaak wordt voor sluisen 0,5 m toegepast, maar ook bij die waarde moet worden gecontroleerd of dit voldoende is voor de lokale wind- of translatiegolven bij $Max.S$.

4.6.4.2.3 Combineren van eisen van scheepvaart en waterkering

In de volgende beschouwing wordt een aantal oplossingsmogelijkheden besproken om de verschillende niveaus in een sluisontwerp te integreren. Daarbij worden de volgende letteraanduidingen gebruikt:

B_{bu} = bovenzijde beplating buiten- of bovendeur volgend uit de waterkeringseis;

B_{bi} = bovenzijde beplating binnen- of benedendeur volgend uit de eis dat er geen of slechts een beperkte golfoverslag mag zijn bij een waterstand gelijk aan $Max.S$;

D = dekzerhoogte volgend uit de scheepvaarteisen.

Afhankelijk van de situatie kan het bij roldeuren nodig zijn de hoofden hoger op te trekken dan tot de aangegeven maten boven $Max.S$ om ook bij deze hoge waterstand de bewegingswerken nog in den droge te laten functioneren. Dit eventuele extra constructieve aspect wordt niet afzonderlijk meegenomen in de rest van deze beschouwing.

Er zijn twee situaties mogelijk:

- 1 Niveau B_{bu} is hoger dan D
- 2 Niveau B_{bu} is lager dan D

De oplossingen voor situatie 1 (nrs. 3 t/m 6) zijn aangegeven in Figuur 4.16, die voor situatie 2 (nrs. 7 t/m 9) in Figuur 4.17. Verondersteld is dat de gewenste dekzerkhoogte over de gehele sluislengte gelijk is. Er zijn dus geen CEMT-klasse V sluizen onderzocht. Evenmin wordt ingegaan op sluizen in een getijdegebied met een dubbel stel puntdeuren per hoofd. Voor deze sluizen en voor die met tussenhoofden (en eventueel getrapte kering) wordt verwezen naar Hoofdstuk 7.

Situatie 1 (B_{bu} hoger dan D)

Oplossing 3

B_{bu} , vereist voor de buitendeur, wordt ook aangehouden voor de binnendeur en voor de dekzerk over de gehele sluislengte. De deuren zijn uitwisselbaar en er is maar één stel reservedeuren nodig, mits de bovenkant van de sluisvloer over de gehele sluislengte op één niveau is geprojecteerd.

De wanden van de sluisenkolk en het binnenhoofd zijn te hoog voor de functionele eisen (waterkering en scheepvaart) en daardoor duurder dan strikt noodzakelijk. De te hoge wanden en vooral de aanaarding daarvan vergroten de buigende momenten in de vloeren, althans bij gewapend-betonnen monolietconstructies (die bij hoofden altijd worden toegepast). Het sluissterrein en de dekzerk worden immers op één niveau aangelegd (afgezien van afschotten) om struikelen en in de kolk vallen zoveel mogelijk te voorkomen. Bij een centraal bediende binnenvaartsluis is het niet strikt noodzakelijk langs de kolk te lopen (bij een zeevaartsluis is dat wel nodig). Het is daarom theoretisch denkbaar de aanaarding langs de kolk lager te maken dan de dekzerkhoogte om de buigende momenten te beperken. In de praktijk wordt dit echter (nog) niet gedaan.

Oplossing 4

Ten opzichte van oplossing 3 is de binnendeur verlaagd. Indien gewenst kan op de binnendeur een verhoogd looppad, ondersteund door stijlen, worden aangebracht. Opgemerkt wordt dat looppaden, ook op de buitendeuren zeer gebruikelijk zijn om het bedienend personeel de sluis te laten oversteken en om bijvoorbeeld de hefcilinders van nivelleerschuiven te kunnen bereiken.

Oplossing 4 is weinig zinvol omdat de enige besparing ten opzichte van 3 een beperkt aantal vierkante meters deur betreft, terwijl de deuren niet uitwisselbaar zijn en een tweede reservedeur nodig is. Bovendien is er maar één hoogwaterkerende deur, wat hogere eisen stelt aan de betrouwbaarheid van sluiten.

Oplossing 5

Alle niveaus zijn gelijk aan die welke volgen uit de functionele eisen. Dit betekent dat een minimum aan materialen wordt verwerkt in de beton- en staalconstructies. Daartegenover staat dat de deuren niet uitwisselbaar zijn, dat twee reservedeuren nodig zijn en dat hogere eisen moeten worden gesteld aan de betrouwbaarheid van sluiten van de buitendeur. Het bezwaar van twee reservedeuren is kleiner indien er zich meerdere schutsluizen van gelijke deurafmetingen in de vaarweg bevinden.

Voor de begaanbaarheid van het sluisplateau wordt bij zeevaartsluizen, waarbij vletters werkzaam zijn, een geleidelijke talud-overgang gemaakt tussen het hoge niveau naast het buitenhoofd en het lagere langs de kolk. Het talud heeft een helling van bijvoorbeeld 1:12. Bij binnenvaartsluizen kan worden volstaan met een talud-trap.

Oplossing 6

Deze variant op oplossing 5 met een reserve stormvloed-/hoogwaterdeur stand-by in het buiten- (boven)hoofd is in het verleden vaak gebouwd. Tegenwoordig wordt dit principe nog maar weinig toegepast, vanwege de kosten van twee deuren in het buitenhoofd en van de grotere lengte van dat hoofd alsmede gezien de huidige visie op de veiligheidsfilosofie. Bovendien is evenals bij 5 een aparte reservedeur nodig voor het binnenhoofd. Toch wordt oplossing 6 ook nu nog toegepast bij grote verschillen tussen MHW en Max.S.

Twee deuren in één hoofd en dat zowel in het buiten- als in het binnenhoofd, wordt overigens wel eens toegepast om meer dan waterkeringseisen alleen (zeesluis Terneuzen). Die andere overwegingen betreffen de beschikbaarheid van de sluis voor het schutbedrijf en het beeld naar de buitenwereld dat een groot havencomplex "altijd" bereikbaar is, ook al is er maar één sluis die de grootste schepen kan verwerken. De zeesluis in Terneuzen is echter geen sluis in de zin van de oplossing 6 maar van 3: de beide deuren in het buitenhoofd zijn identiek aan die in het tussenhoofd (1 deur) en in het binnenhoofd (2 deuren).

Resumé

Hoewel één en ander afhankelijk is van de specifieke omstandigheden van een te ontwerpen sluis en ook van de keuze van de drempelniveaus (zie par. 4.6.4.1) lijken de oplossingen 3 en 5 het meest in aanmerking te komen en oplossing 6 in mindere mate. Oplossing 4 is weinig zinvol. De keuze tussen 3 en 5 hangt af van de kosten, die in hoge mate worden bepaald door het hoogteverschil tussen de niveaus B_{bu} en B_{bi} . Alleen bij een groot niveauverschil kan oplossing 5 aantrekkelijk worden.

Situatie 2 (B_{bu} lager dan D)

Oplossing 7

Voor beide deuren wordt de beplating opgetrokken tot niveau D en ook op dit niveau worden de eventuele looppaden aangebracht. De deuren zijn uitwisselbaar en er is maar één reservedeur nodig. Bovendien is er een extra zekerheid tegen overstroming.

Oplossing 8

De beplating van beide deuren wordt opgetrokken tot niveau B_{bu} met daarboven een looppad op niveau D. De uitwisselbaarheid van de deuren is verzekerd, terwijl er maar één reservedeur nodig is. Omdat de kosten van 7 en 8 elkaar niet of nauwelijks ontlopen, is oplossing 8 de gebruikelijke uitvoering, terwijl 7 maar sporadisch wordt toegepast.

Oplossing 9

De beplating van de bovendeur wordt beëindigd op niveau B_{bu} en die van de binnendeur op B_{bi} . De eventuele looppaden worden voor beide deuren op dekzerhoogte D aangebracht. De voordelen van de oplossingen 7 en 8 komen te vervallen. De oplossing is alleen zinvol bij zeer grote vervallen of wanneer zich in dezelfde vaarweg meerdere sluizen met dezelfde hoogtematen bevinden en de twee benodigde reservedeuren ook voor deze sluizen worden gebruikt.

4.6.4.3 Niveauskeuze van drempel, dekzerk en deurbeplating

Algemeen geldende regels voor de keuze uit de in par. 4.6.4.1 en 4.6.4.2 gepresenteerde oplossingen bestaan niet. Hooguit kan worden gesteld dat gestreefd moet worden naar minimale totale kosten (investering en exploitatie). Een keuze bij een bepaalde sluis is alleen mogelijk door combinaties voor de boven- (dekzerk, deurbeplating) en de onderzijde (drempels) te onderzoeken.

Geconstateerd kan worden dat de uniformiteit van deuren zwaar weegt en dat zeker in de laatste decennia veel sluizen zijn ontworpen met gelijke deuren in de beide hoofden, dus de oplossingen 3, 7 of 8, gecombineerd met oplossing 1, waarbij nogmaals wordt opgemerkt dat oplossing 7 maar sporadisch voorkomt.

Dit hoeft echter geen automatische keuze voor deze “één deurhoogte”-sluizen in te houden. Zeker bij grotere vervallen dienen deze qua kosten te worden afgezet tegen sluizen met ongelijke deurhoogten c.a., dus sluizen waarin, afhankelijk van de situatie, de oplossingen 5, 6 of 9 voorkomen.

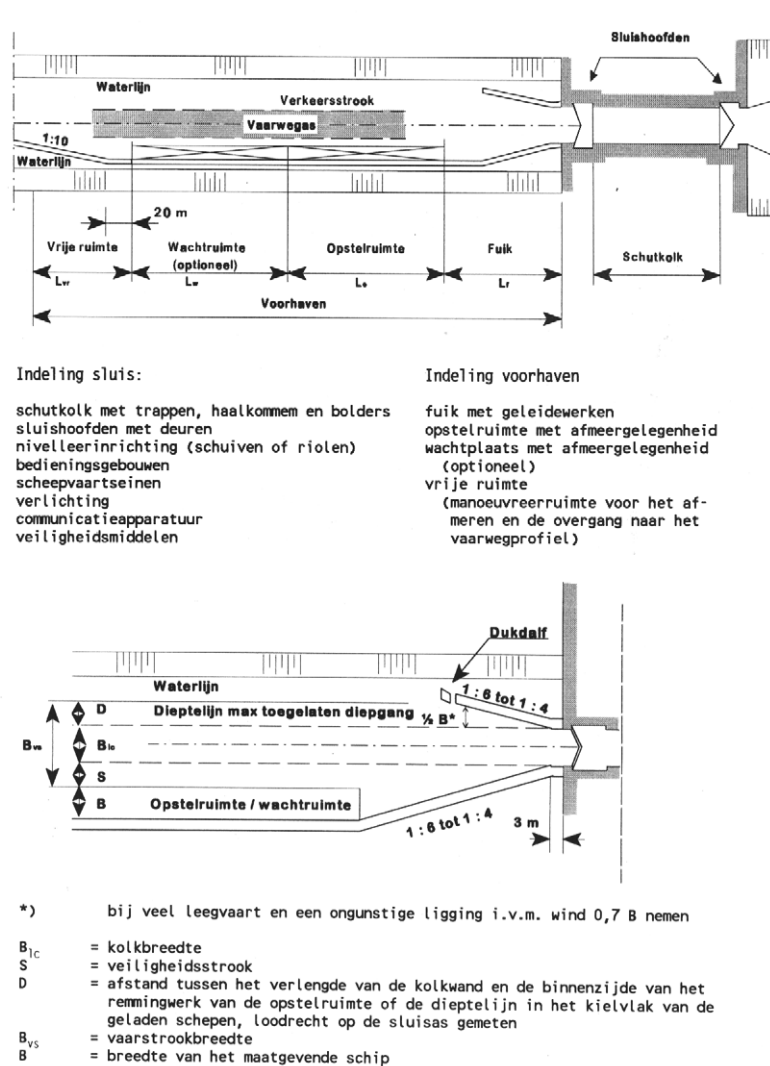
Voor grote vervallen kan het aantrekkelijk zijn een verhoogde bovenhoofddrempel (oplossing 2) toe te passen, zoals onder meer is gebeurd bij Maasbracht. Voor vervallen groter dan 6 à 8 m, waarbij vulling door deuropeningen problematisch wordt, is het onderzoeken van een woelkelder in een verhoogde bovenhoofddrempel zeker de moeite waard. Maar zelfs bij vervallen groter dan ca. 4 m zou de ontwerper een verhoogde drempel in zijn beschouwingen moeten betrekken, vooral wanneer er verschillende sluizen met dezelfde afmetingen zijn, waardoor de extra reservedeur(en) afgeschreven kan (kunnen) worden op meer dan één sluis.

4.7 Voorhaven, horizontale afmetingen en diepte met het oog op schutten

4.7.1 Horizontale afmetingen van de voorhaven

4.7.1.1 Inleiding

Een voorhaven moet schepen ruimte bieden om te varen en het wachten voor het schutten. Hiervoor zijn de volgende onderdelen nodig (zie Figuur 4.18).



Figuur 4.18 Schematische weergave van een schutsluis met voorhaven en de indeling van een voorhaven, volgens CVB (lit. [4.3])

Voor het varen:

- havenmond of vrije ruimte, als aansluiting van vaarweg naar voorhaven om vaart te minderen;
- vaarstrook, voor in- en uitvaren van de sluis;
- fuik met geleidewerken, voor geleiding naar de sluis.

De vaarstrook bestaat uit:

- veiligheidsstrook tussen verlengde sluiscolkwand en opstel-/wachtruimte ter bescherming van wachtende schepen;
- strook in verlengde van sluiscolk;

- strook tussen verlengde van sluiscolkwand en dieptelijn van maximum toegelaten diepgang langs talud ter voorkoming van oeverzuiging.

Voor het wachten:

- opstelruimte, om met de eerstvolgende schutting mee te gaan;
- (eventuele) wacht ruimte, voor schepen die nog langer moeten wachten (overliggen);
- (eventuele) kegelligplaats, voor schepen met een gevaarlijke lading die apart moeten wachten.

De benodigde breedte van de voorhaven wordt bepaald door de breedtes van de vaarstrook en de opstel/-wachtruimte. Bij twee of meer sluizen gaat het om meerdere vaarstroken, opstelruimtes en een middeneiland. De benodigde lengte van de voorhaven wordt bepaald door de lengtes van de fuik, de opstelruimte, de (eventuele) wachtplaats, de (eventuele) kegelligplaats en de vrije ruimte. Plaatsen voor rusten/overnachten vereisen soms extra lengte.

In de cvb Richtlijnen Vaarwegen (Lit. [4.3]) worden voor vaarwegklassen I t/m V de horizontale afmetingen gegeven voor de genoemde onderdelen van voorhavens van binnenvaartsluizen met een betrekkelijk lage verkeersbelasting, zowel voor sluizen met één kolk (minimumsluis) als sluizen met twee kolken. Voor drukker verkeer voldoen ook de breedtematen vrij goed; de lengtematen echter niet, omdat deze mede bepaald worden door de lengte van de wachtruimtes, dus door de verkeersbelasting.



Foto 4.5 Voorhavens bij sluis te Engelen

In deze paragraaf worden afzonderlijk de verschillende onderdelen van de voorhaven besproken waarbij per onderdeel onderscheid gemaakt wordt in zeevaart, binnenvaart en recreatievaart. Extra lengte van de voorhaven voor rusten/overnachten wordt in de par. 4.8 behandeld. In hoofdstuk 5 (Lay-out) worden de verschillende onderdelen samengevoegd tot een complete voorhaven waarbij rekening wordt gehouden met de mogelijkheden en beperkingen van de omgeving. Ook de aanlooproute naar de voorhaven komt daar aan de orde.

4.7.1.2 Havenmond/vrije ruimte

Bij zeesluizen

Omdat zeeschepen relatief slecht manoeuvreerbaar zijn, wordt in overleg met de sluismeester de vaart zodanig gepland dat het schip bij aankomst in de voorhaven direct de sluis kan binnenvaren. Voor deze schepen wordt derhalve geen wachtplaats gecreëerd. De voorhaven dient alleen als manoeuvreerruimte en er is nauwelijks onderscheid te maken tussen een 'vrije ruimte' (mondingsgebied) en een vaarstrook zoals bij binnenvaartsluizen. Grote schepen worden geassisteerd door sleepboten. In de praktijk blijkt voor het manoeuvreren met zeeschepen veel meer ruimte nodig te zijn dan voor binnenschepen. Voor het bepalen van de benodigde afmetingen zijn geen algemeen geldende maten te geven; in de meeste gevallen is een gedegen nautisch onderzoek nodig.

Bij binnenvaartsluizen

Als de sluis aansluit op een kanaalpand, komt een schip vanaf het kanaal eerst in de vrije ruimte. De vrije ruimte dient voor het vaart minderen van het schip en ligt tussen de wachtplaatsen en de voorhavenmond.

Over het algemeen is voor het vaart minderen een afstoplengte nodig van minstens 2,5 maal de lengte van het maatgevende schip (cvb-richtlijn) maar dat kan van schip tot schip verschillen en moet desnoods door een specifieke studie worden bepaald. De ontwerper moet rekening houden met de kans dat de maatgevende invaarmanoeuvre voorkomt, en de mogelijkheid om dan aanvullende maatregelen te treffen (zoals verkeersregeling). Bij een sluis in een kanaal met weinig verkeer en een beschutte ligging is voor het vertragen echter nauwelijks extra lengte nodig: dat doet de schipper op het laatste stuk van het kanaal.

Soms is onvoldoende lengte beschikbaar om de afstoplengte helemaal voorafgaand aan de ligplaatsen te realiseren. Dan moet de voorhaven extra breed worden gemaakt zodat de afstop(vaar-)strook voor een deel veilig naast de wachtplaatsen ligt.

De breedte van de vrije ruimte is bij de minimumsluis gelijk aan de voorhaven-breedte ter hoogte van de opstelplaatsen.

Bij recreatievaartsluizen

Hiervoor kan de cvb richtlijn gebruikt worden die als volgt luidt: de lengte van de vrije ruimte bedraagt (in meters) 10 maal het aantal jachten dat in de kolk past, met een minimum van 60 m.

4.7.1.3 Vaarstrook

Bij zeeschepen

Zoals in de vorige paragraaf beschreven, wordt voor zeeschepen niet een aparte vaarstrook onderscheiden. Dit vaarwater is onderdeel van de gehele voorhaven waarvan de afmetingen met een nautisch onderzoek moeten worden bepaald.

Bij binnenvaartsluizen

De vaarstrook heeft een breedte die overeenkomt met de sluisbreedte. Voor de breedte van een minimum sluis en de daarbij behorende vaarstrook kunnen de cvb richtlijnen worden aangehouden (zie ook Tabel 4.15 en Figuur 4.18):

CEMT klasse	B _{lc} (m)	S (m)	D (m)	betekenis:
I	6,0	3,0	5,0	B _{lc} = kolkbreedte, S = veiligheidsstrook naast opstelplaats, D = afstand van verlengde van kolkwand tot de oever tegenover opstelplaats (op diepte van kielvlak geladen schip)
II	7,5	3,5	6,0	
IIa	8,0	4,0	6,5	
III	9,0	4,5	7,5	
IIIa	9,0	5,0	8,5	
IV	10,5	5,0	8,5	
Va	12,0	5,0	10,5	
Vb	12,5	7,0	11,5	

Tabel 4.15 Veiligheidsstrook in voorhavens

De veiligheidsstrook S tussen de opstelruimte en de in-/uitvaarstrook dient om te voorkomen dat uitvaarrende schepen te dicht bij de schepen op de opstelplaats komen. De lengte van de vaarstrook volgt uit de lengte die nodig is voor de opstelruimtes etc.

Bij het opstellen van Tabel 4.15 is destijds (1995) nauwelijks rekening gehouden met de beschikbaarheid van boegschroeven van schepen. Inmiddels is het merendeel van de schepen (niet de duwbakken) met boegschroeven uitgerust. Mogelijk kunnen hierdoor iets kleinere breedtes worden geaccepteerd, maar deze reductie kan thans nog niet op basis van onderzoek worden gekwantificeerd.

Bij recreatievaartsluizen

De breedte van de vaarstrook is gelijk aan de kolkbreedte vermeerderd met aan beide zijden een veiligheidsstrook van 2 m breed (cvb richtlijn, Lit. [4.3]).

4.7.1.4 Fuik met geleidewerken

De fuik dient om de vlotte en veilige invaart te bevorderen. Daarom wordt de fuik aan beide zijden begrensd door geleidewerken (zie Figuur 4.18). De mond van de fuik krijgt de vereiste breedte door de beide geleidewerken voldoende lengte en een geschikte hoek ten opzichte van de sluisas te geven. Bij binnenvaartsluizen en recreatievaartsluizen is het gewenst om het geleidewerk door te trekken tot het remmingwerk bij de opstelplaats. Bij een éézijdige opstelplaats krijgt de fuik dan een korte en een lange 'poot'.

Bij zeesluizen

Concrete richtlijnen voor de vorm en afmetingen van de toegang tot de kolk van een zeeluis zijn niet beschikbaar. Met het oog op sleepboothulp wordt geen lang geleidewerk (zoals bij de binnenvaart gebruikelijk) voor de schutkolk geplaatst, aangezien dat de bewegingsvrijheid van de sleepboten te zeer zou beperken. Ter bescherming van zowel schip als sluishoofd kunnen korte geleidewerken worden geplaatst en/of kunnen de sluishoofden worden voorzien van rolrenders (zie bestaande zeesluizen).

Bij binnenvaartsluizen

De optimale hoek van het geleidewerk, gebaseerd op de Nederlandse praktijk, is:

- voor vaarwegen van de klassen I t/m IV: hoek 1:4
- voor vaarwegen van de klassen V en VI: hoek 1:5 à 1:6, vooral als er veel duwstelen (zonder boegschroef) voorkomen.

Voor al bij smalle sluizen is het zeer belangrijk dat de fuik symmetrisch is in verband met de zichtoriëntatie van de schipper, en verder vanwege gelijke oeverzuiging als de fuik hydraulisch gezien dicht is.

De breedte van de fuik ter plaatse van het eind van de kortste poot moet minstens 0,5 x B (breedte maatgevend schip) groter zijn dan de breedte van de schutkolk.

De lengte van de fuik aan de zijde waar deze aansluit op het remmingwerk van de opstelplaats, wordt bepaald door de gekozen hoek (en eventuele kromming) en de breedte van de opstelplaats plus de veiligheidsstrook (zie Figuur 4.18 en Tabel 4.15).

Tussen het sluishoofd en de fuik wordt een recht, circa 3 m lang geleidewerk in het verlengde van de

kolkwand geplaatst. Dat dient om het risico te verkleinen dat een ongeladen schip met een duwstevan over het geleidewerk steekt en tegen het hoofd botst.

Bij klasse Va en Vb wordt, als het maatgevende schip veel voorkomt, aanbevolen de rechte fuikpoten met een gekromd deel op het sluishoofd aan te sluiten in verband met het klemvaren van lange formaties. Deze aanbeveling geldt niet voor sluizen die breder zijn dan de minimumsluis.

Bij de 24 m brede sluizen van klasse VI, die bestemd zijn voor duwcombinaties van twee bakken breed, worden om het klemlopen van de combinatie te voorkomen de fuikhellingen op 1:6 gehouden met aansluitend een gekromd deel met een straal van 600 m.

Bij recreatievaartsluizen

De opzet van de geleidewerken is hetzelfde als voor de binnenvaart, behoudens de hoek. Omdat recreatievaartuigen klein en goed manoeuvreerbaar zijn is 1:3 een geschikte hoek.

4.7.1.5 Aanlegplaatsen voor opstellen en wachten

Onderscheid wordt gemaakt tussen de opstelruimte en de wachtruimte. De opstelruimte moet voldoende ruimte aan schepen bieden voor één kolkvulling. Als er schepen zijn die niet met de eerstvolgende schutting mee kunnen (overliggers), moet daarvoor wachtruimte beschikbaar zijn. Voorhavens worden vaak mede gebruikt door schepen om aan te leggen en te rusten of te overnachten (zie par. 4.8 en Appendix 4.4).

De bepaling van de benodigde opstel- en wachtruimte is voor zeevaart, binnenvaart en recreatievaart niet gelijk. Onder de binnenschepen nemen de kegelschepen een aparte plaats in.

Bij zeeschepen:

Het is zeer ongebruikelijk dat grote zeeschepen voor het schutten wachten en aanleggen. Daarom worden wacht- resp. opstelplaatsen niet ingericht; hoogstens worden enkele zware ducdalven geplaatst. In geval van gemengd gebruik door zeeschepen en binnenschepen kan voor de binnenvaartschepen eventueel een opstelplaats worden ingericht, maar de vaarstrook zal aan de eisen voor de zeeschepen (zeer breed) moeten voldoen.

Bij binnenvaartschepen:

Bij een minimumsluis en een capaciteitssluis kunnen opstelplaatsen worden ingericht volgens de cvb richtlijnen (Lit. [4.3]). De breedte van de opstelplaats is gelijk aan die van de schutkolk. De lengte van de opstelplaats is 1,0 à 1,3 maal de nuttige lengte van de schutkolk. De lengte van de opstelruimte is wat groter dan de kolk lengte om het aanleggen op de opstelplaats wat gemakkelijker, en daardoor vlotter, te laten verlopen.

Bij de minimumsluis zijn meestal geen wachtplaatsen nodig, wat bij een capaciteitssluis wel het geval kan zijn (groter verkeersaanbod). Als er wachtplaatsen nodig zijn dan worden die, indien mogelijk, aansluitend aan de opstelplaatsen gesitueerd. De benodigde wachtplaatslengte wordt bepaald aan de hand van een verkeersstudie, bijvoorbeeld door middel van simulatie met SIVAK (Appendix 4.2). Voor het bepalen van de benodigde wachtruimte bij een bestaande sluis kan ook de betrekkelijk eenvoudige VAT-methode (zie Appendix 4.1) worden gebruikt. Uit SIVAK simulaties kan de overschrijdingskans van een bepaalde wachtrijlengte worden afgeleid. De vraag is welke overschrijdingskans de beheerder acceptabel vindt. Daarbij moet rekening worden gehouden met:

1. de kans van voorkomen van het gesimuleerde verkeersaanbod;
2. het bezwaar (onveiligheid) van een kortdurend (bijvoorbeeld 10 - 20 minuten) tekort aan wacht plaatslengte.

ad 1.

Het is gebruikelijk om een 'maatgevende week' te simuleren (zie par. 4.3.5). De kans van voorkomen hangt af van de verdeling van het verkeersaanbod in de tijd. Hierbij is de kans dat grote schepen moeten wachten groter dan de kans dat dit kleine schepen treft (een groot schip past niet in een vrijkomende korte ligplaats, een klein schip daarentegen vindt wel een ligplaats zodra een groot schip afvaart).

ad 2.

Moderne schepen kunnen dankzij hun boegschroef gedurende enige tijd gaande worden gehouden,

ofwel het schip wordt op zijn plaats gehouden, zonder aan te leggen. In 1994 is onder schippers een enquête gehouden waaruit bleek dat zij bij een verwachte wachtduur langer dan 10 à 20 minuten in principe gaan aanleggen; bij sterke wind (meer dan Bf 6 à 7) willen ze aanleggen, vooral lege schepen en recreatievaart. Bij het schatten van de verwachte wachtduur is marifooncontact met de sluis een goed hulpmiddel. De behoefte om aan te leggen is groot als de voorhaven weinig manoeuvreerruimte biedt en/of het schip moeilijk zonder aanleggen gaande gehouden kan worden (schip, wind, stroom).

Een pasklare methode is nog niet beschikbaar voor het bepalen van de wachtplaatslengte die zowel nautisch (veiligheid) als economisch (maatschappelijk/economische kosten) aanvaardbaar is. In de daartoe lopende studie wordt gestreefd naar een criterium waarin zowel de bezette lengte als de tijdsduur is verwerkt.

Kegelschepen

Voor deze schepen met gevaarlijke lading moet doorgaans in de voorhavens van binnenvaartsluizen een aparte 'kegel-ligplaats' (Lit. [4.6]) worden ingericht die voldoet aan de eisen van Tabel 4.16.

aantal kegels	eisen aan wachtplaatsen bij sluizen
1	in dwarsrichting 10 m afstand houden tussen kegelschip en andere schepen
2	in dwars- en lengterichting 50 m afstand tot andere schepen; zelfde lading mag eventueel langszij; 100m afstand tot kunstwerk of bebouwing
3	in dwars- en lengterichting 100 m afstand tot andere schepen; geen enkel ander schip langszij; 500 m afstand tot kunstwerk of bebouwing

Tabel 4.16 Eisen aan wachtplaatsen bij kegelschepen

Omdat de kegel-ligplaatsen niet door andere schepen mogen worden gebruikt, zijn het extra ligplaatsen. De lengte komt overeen met de maatgevende scheeps lengte, plus minimaal 5 m voor het manoeuvreren. Voor de breedte wordt met één scheepsbreedte gerekend.

Bij recreatievaartuigen

Voor de opstelruimte bij recreatievaartsluizen adviseert de CVB:

- De opstelruimte moet zo ruim zijn dat een volledige kolkvulling maximaal twee dik er vlot kan afmeren tot een breedte van (samen) maximaal 7 m.
- De lengte van de opstelplaats is voor sluizen tot 7 m breed gelijk aan 1,2 maal de nuttige kolk-lengte en voor sluizen van 8 tot 10 m breed gelijk aan 1,5 tot 1,8 maal de nuttige kolk-lengte.
- Bij meer dan 2000 passages per jaar wordt geadviseerd uit te gaan van een tweezijdige opstel- en wachtruimte, waarbij deze wisselend als opstel- en wachtruimte dient; hierbij wordt dan het nadeel geaccepteerd dat er kruisend verkeer optreedt.

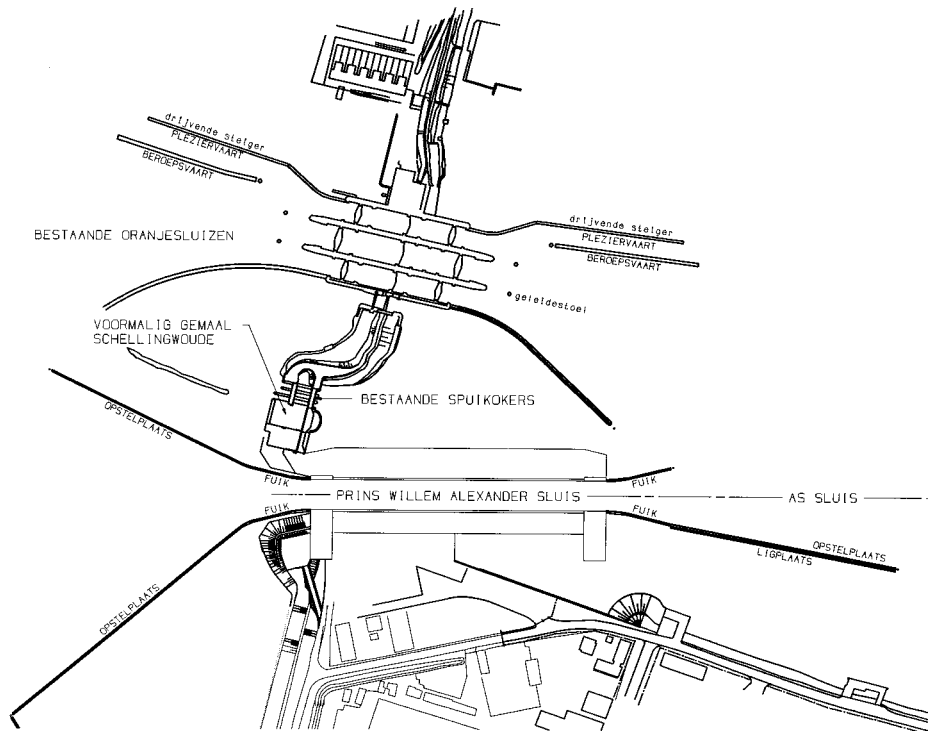
De behoefte aan wachtplaatsen (met kansverdeling) wordt, evenals voor een binnenvaartsluis, bepaald door simulatie, bijvoorbeeld met SIVAK. Voor de recreatievaart is het eveneens van belang dat er niet te vaak een wachtplaatstekort is, omdat dat snel aanleiding geeft tot een chaotisch verkeersbeeld en veel irritatie bij de watersporters geeft over wie er aan de beurt is.

Bij binnenvaart en recreatievaart samen

Bij het situeren van opstel- en wachtplaatsen voor de recreatievaart, voor sluizen met gemengd verkeer moet bijzondere aandacht besteed worden aan de veiligheid. De ligplaatsen voor de recreatievaart moeten bij voorkeur gescheiden zijn van de ligplaatsen voor de beroepsvaart, bijvoorbeeld op de wijze zoals gekozen bij het Naviduct en de Oranjesluizen (oude complex) te Amsterdam (Figuur 4.19 en foto 5.5). Als voor de meer conventionele oplossing wordt gekozen met een wachtplaats voor de recreatievaart achter de beroepsvaart, wordt een tussenafstand van ca. 30 m aangehouden.

De behoefte aan opstel- en wachtplaatsen voor zowel de binnenvaart als de pleziervaart kan bepaald worden met simulaties. Bij het kiezen van het criterium voor een aanvaardbaar (incidenteel) tekort speelt de veiligheid van de kleine scheepjes een belangrijke rol. Alleen als de wachtplaatsen voor de recreatievaart goed beveiligd liggen is het aanvaardbaar dat grote binnenvaartschepen soms gaande moeten

houden omdat er voor hen te weinig wachtplaatslengte beschikbaar is. Verder is het voor de binnenvaart uiterst hinderlijk als kleine scheepjes in de voorhaven blijven rondvaren bij gebrek aan aanlegplaatsen.



Figuur 4.19 Lay-out Oranjesluizen

4.7.1.6 Invloed stroming nabij en in voorhaven

Stroming van nabijgelegen vaarwater

Bij sluizen die gelegen zijn nabij een vaarweg waar het water een zekere stroomsnelheid heeft moet, als de stroom langs de voorhaven trekt, speciale aandacht worden besteed aan vormgeving en dimensionering van de voorhavens. Voorbeelden daarvan zijn een sluis naast een gestuwde rivier waar schepen vanaf de stromende rivier de voorhaven van de sluis moeten binnenlopen, of een sluis die aan getijdewater ligt. De toegang tot de voorhaven moet ruim zijn terwijl direct achter de ingang voldoende lengte en breedte moet zijn om de binnenlopende schepen gelegenheid te geven koerscorrecties uit te voeren en te stoppen.

Spuistroming in de voorhaven

Bij watertransport via een open waterloop met een spuisluis naast de schutsluis of via een riool langs de schutsluis moet ervoor gezorgd worden dat de punten van wateronttrekking en waterlozing zich niet aan dezelfde zijde als de opstelruimtes bevinden of op grotere afstand van de sluis. Het punt van waterlozing moet op minstens 15 m lengte van de opstelruimte liggen. Op het punt in de vaarweg ter hoogte van wateronttrekking mag de dwarsstroom hooguit 0,30 m/s zijn. De langsstroom in de vaarweg ter hoogte van de raai van de waterlozing mag niet meer dan 0,50 m/s zijn terwijl de dwarsstroom niet meer dan 0,30 m/s mag bedragen. Zie verder de cvb (Lit. [4.3]) en paragraaf 5.3.5.

4.7.2 Diepte van de voorhaven

Bij het kiezen van de diepte voor de voorhaven moet worden afgewogen:

- een diepe haven is meestal duur in aanleg (baggerwerk, remmingwerken, oevers) en onderhoud (vangt meer sediment dan een ondiepe haven);
- een diepe haven is nautisch gunstig.

De cvb adviseert een voorhavendiepte gelijk aan de diepte van de vaarweg. Op enkele aspecten wordt nader ingegaan.

Diepte met het oog op het varen

In de 'vrije ruimte' (de overgang van vaarweg naar voorhaven) en in de hele vaarstrook naar de sluisingang is het van belang om met een redelijke vaarsnelheid te kunnen varen, zonder al te veel waterbeweging te veroorzaken en om ook gemakkelijk te kunnen sturen. Die waterbeweging heeft invloed op de schepen die aan de remming liggen te wachten, maar ook op schepen die in de openstaande schutkolk liggen. Met het oog hierop wordt een diepte van 1,4 maal de maatgevende diepgang T aanbevolen. Bij een krap vaarwegprofiel kan ook een factor 1,3 aangehouden worden.

De benodigde vaardiepte hangt uiteraard ook nauw samen met de hoogte van de sluisdorpel. Als de sluisdorpel en de voorhaven afgestemd zijn op hetzelfde maatgevende schip met $T = 3,5$ m, ligt volgens bovenstaande regel de voorhaven op 4,90 m onder het minimum schutpeil, en de dorpel op 4,20 m (als een kielspeling van 0,7 m wordt aangenomen bij stilliggend schip). Het is goed dat de voorhaven veel dieper ligt dan de sluisdorpel, omdat daardoor minder gemakkelijk sediment de schutkolk binnenkomt (waar het problemen bij de deuren zou kunnen geven).

Diepte met het oog op manoeuvreren

Het manoeuvreren in de voorhaven (aanleggen, afvaren etc.) gebeurt vooral in de omgeving van de opstelplaatsen en wachtplaatsen, maar ook in de fuik. Met het oog op het vlot manoeuvreren wordt door de schippers vaak aangegeven dat een grote diepte gewenst is. Hiervoor zijn echter geen concrete feiten of onderzoeksresultaten beschikbaar. Een doeltreffend onderzoek is ook niet eenvoudig. De indruk bestaat dat een diepte van 1,4 maal de diepgang voor het (rustig) manoeuvreren voldoende is.

Diepte met het oog op schroefstraal-erosie

Overal in de voorhaven, maar vooral bij de opstelplaatsen, treedt zo nu en dan een zeer sterke schroefstraal op. Als de haven ondiep is, veroorzaakt dat een erosiekuil; dat is bezwaarlijk als daardoor de stabiliteit van bijvoorbeeld het remmingwerk wordt bedreigd. Het geërodeerde materiaal veroorzaakt elders een verhoging. Dat kan onverwachte (stuur-)problemen geven en is dus onveilig. Verder kunnen schroefstralen en retourstroom ook de bodemligging van de sluisingang aantasten wanneer geen bodemverdediging aanwezig is.

Het heeft geen zin schippers te verbieden hun schroeven op deze manier te gebruiken; in geval van een dreigende aanvaring etc. zullen zij alles doen om die te voorkomen, zonder zich te bekommeren om de bodem van de voorhaven. Er bestaan twee oplossingen om erosie te voorkomen:

- de voorhaven dieper maken; de veilige diepte hangt sterk af van het soort bodemmateriaal;
- de voorhavenbodem op bedreigde plaatsen bestorten; dit bemoeilijkt echter het onderhoudsbaggerwerk in de voorhaven.

Richtlijnen

In de cvb Richtlijnen (Lit. [4.3]) wordt geadviseerd om de voorhaven even diep te maken als de aansluitende vaarweg. Bovendien moet, om sedimentatie op de sluisdrempel te voorkomen, de voorhaven dieper liggen dan de drempel. De maatregelen met het oog op erosie zullen van geval tot geval moeten worden beoordeeld.

4.8 Voorhaven, horizontale afmetingen met het oog op andere functies

4.8.1 De voorhaven als overnachtingshaven

4.8.1.1 Algemeen

Een voorhaven van een schutsluis kan de functie van overnachtingshaven hebben (Lit. [4.4] en [4.16]). Een overnachtingsplaats is gedefinieerd als een ligplaats of een verzameling van ligplaatsen waar de voor het betreffende vaarwegvak toegelaten scheepstypen, geladen en ongeladen, veilig en ongestoord kunnen verblijven.

In voorhavens van sluizen voor de binnenvaart of de recreatievaart zijn aanlegplaatsen aan remmingwerken of oevers aanwezig voor het schutbedrijf. Dezelfde aanlegplaatsen kunnen soms dienen als ligplaats voor rusten/overnachten mits ze niet voor beide functies tegelijkertijd nodig zijn. De ontwerper staat voor de vraag hoeveel extra remmingwerken (of oevers met meerpalen etc.) hij voor rusten/overnachten moet opnemen in het ontwerp. Dat wordt in de volgende paragraaf onderzocht.

4.8.1.2 Benodigde ligplaatslengte

Van alle schepen die de sluis passeren blijft slechts een klein deel liggen om te rusten of te overnachten. De volgende vragen zijn van belang:

- welk deel van het totale verkeersaanbod blijft liggen;
- hoe lang zijn die schepen;
- gedurende welk deel van het etmaal liggen ze daar.

Het antwoord op die vragen wordt bepaald door een aantal factoren:

- de regelgeving in het “Besluit Vaartijden en Bemanningssterkte Binnenvaart” (kort aangeduid als ‘Vaartijdenwet’, zie Appendix 4.4), beïnvloedt het vaarpatroon van de schepen;
- bedrijfstijden van de sluis en van sluizen/bruggen op aansluitende vaarwegvakken, alsmede de sociale binding (scholen, internaten; vooral in weekenden) beïnvloeden het vaarpatroon;
- specifieke vaarpatronen van lokaal aanwezige vervoersstromen (op de Maas is dat bijvoorbeeld de zand- en grindvaart);
- onderlinge afstand van overnachtingsplaatsen. Op grond van de vuistregel dat overnachtingshavens niet meer dan 2 à 3 uur varen van elkaar mogen liggen, wordt vaak een afstand van orde 30 km gehanteerd, welke afstand ook voor de Waalroute wordt genoemd;
- beschikbaarheid andere goede rust-/overnachtingsplaatsen in de buurt;
- eventuele aanwezigheid van een gemeente in de buurt van de sluis (sociale redenen).

De “Vaartijdenwet, vtw” schrijft voor verschillende categorieën schepen rusttijden voor. Dat heeft tot gevolg dat er bepaalde patronen (qua tijd en plaats) ontstaan in de behoefte aan ligplaatsen. Daarmee wordt het moeilijk inschatten dat schepen naast elkaar kunnen afmeren.

De methode om voor een toekomstige situatie de benodigde lengte aan overnachtingsplaatsen L_{ov} (alle schepen achter elkaar gelegd) te bepalen, kan uit de volgende acht stappen bestaan:

1. Voer voor de bestaande situatie tellingen uit, per klasse, van overnachtende en rustende schepen.
2. Correleer dat aan het bestaande verkeersaanbod door analyse en schematisatie van het overnachtingsgedrag.
3. Bepaal het toekomstig verkeersaanbod.
4. Herleid de oorspronkelijke tellingen tot de behoefte aan wachtplaatsen in de toekomstige situatie door correcties voor alle van belang zijnde factoren.
5. Bepaal een overschrijdingswaarde waarop het ontwerp gebaseerd wordt (bijvoorbeeld 5% overschrijding, dat is ca. 18 nachten per jaar).

6. Bereken hiermee voor de toekomstige situatie de totaal benodigde lengte aan overnachtingsplaatsen L_{ov} (alle schepen achter elkaar gelegd). Hou rekening met de tussenruimte tussen de schepen (gemiddeld ± 5 m).

In deze berekening is de totale lengte aan overnachtende schepen bepaald. Door de geografie van de voorhavens zullen de schepen echter niet allemaal achter elkaar kunnen liggen. Op sommige plaatsen liggen ze enkel breed, maar op andere plaatsen kunnen de schepen 2 breed afmeren. Daarom zullen per voorhaven de volgende zaken bekeken moeten worden om tot een verdeling van de verschillende ligplaatsen te komen,

7. Hoe ziet de voorhaven eruit en waar kan op welke breedte worden afgemeerd.
- Aan de hand van de cvb de maximale breedte van de opstel- en wachtplaatsen bepalen (dicht bij sluis)
 - Verder weg van de sluis zal de maximale breedte per geval bepaald moeten worden (maximaal 2 schepen breed ~ 25 m).
 - Bepaal welke sluizen in de nacht buiten bedrijf worden gesteld of alleen worden ingezet voor het schutten van schepen in lopende vaart.
 - Bepaal voor het hele sluisencomplex de minimale nachtelijke behoefte aan opstelruimte.
8. Bepaal de benodigde ligplaatslengte door gebruik te maken van de maximale bezettingsgraden. De maximale bezettingsgraad van enkelbreed afmeren (~ 12 m) is 90% en voor 2 breed (~ 25 m) is dat 160% (90% 1e rij en 70% 2e rij). De ligplaatsen zijn uit te voeren als doorlopende remmingwerken of als palen.

Hier volgt nog een rekenvoorbeeld voor het bepalen van een ligplaatslengte in een voorhaven:

De gevonden lengte aan overnachtsplaatsen $L_{ov} = 1000$ m.

In de voorhaven kan over een lengte van 500 m enkel breed afgemeerd worden (exclusief opstelruimte) en voor de overige ligplaatsen geldt dat er 2 breed afgemeerd kan worden. De lengte aan schepen op de enkel brede ligplaats is: $500 \times 0,9 = 450$ m. Dit betekent dat er $(1000 - 450) / 1,6 = 345$ m ligplaats moet komen waaraan 2 breed afgemeerd kan worden. In totaal moet er dus $500 + 345 = 845$ m ligplaats aangelegd worden (exclusief opstelruimte).

4.8.2 Voorhaven als vluchthaven

Onder een vluchthaven wordt verstaan een plaats waar een schip in extreme omstandigheden veilig ligplaats kan kiezen totdat de omstandigheden voldoende zijn verbeterd (Lit. [4.16]). Veel sluisvoorhavens zijn met weinig extra voorzieningen geschikt te maken voor deze vluchthavenfunctie. Vluchthavens zijn alleen van belang langs de rivieren en grote meren, omdat niet verwacht wordt dat op de andere vaarwegen (kanalen) zodanige condities optreden dat daar behoefte ontstaat aan vluchthavens. In deze paragraaf worden voor vluchthavens, voorzover zij voorkomen bij sluizen, beschreven wanneer er behoefte is aan dergelijke havens, wat de capaciteits- en situeringseisen zijn en welke andere eisen er zijn.

4.8.2.1 Wanneer zijn vluchthavens nodig ?

Het is mogelijk dat een schipper vrijwillig naar een vluchthaven gaat, maar het is ook mogelijk dat de vaarwegbeheerder een, al dan niet algemeen, vaarverbod afkondigt. In beide gevallen zal de oorzaak liggen in één van de volgende extreme omstandigheden.

Hoogwater

Hoogwater betekent in dit verband een situatie met een zeer grote rivierafvoer. Het is een situatie die geleidelijk ontstaat. De scheepvaart kan er dus veelal tijdig rekening mee houden. Voor de vaarweggebruiker houdt de hoogwater-situatie in:

1. meestal ruim voldoende waterdiepte en vaargeulbreedte;
2. hoge stroomsnelheden;
3. bemoeilijkte oriëntatie en plaatsbepaling.

Schepen blijven over het algemeen zo lang mogelijk in de vaart. Bij toenemende stroomsnelheid wordt vooral de afvaart onveilig. Ook in de opvaart is op een gegeven moment het motorvermogen niet langer toereikend om bijvoorbeeld voldoende snel op een plaatselijke dwarsstroom te reageren. Het blijkt dat men in de praktijk pas bij stroomsnelheden van orde 3 m/s besluit een vluchtplaats te zoeken, of het vaargebied te verlaten. Onder deze omstandigheden zijn de stuwen gestreken. Men vaart dus door de gestreken stuwen. Dit wordt niet als riskant ervaren, maar het is duidelijk dat de soms beperkte doorvaartbreedte extra oplettendheid vergt. Als de beheerder een vaarverbod afkondigt, is dat omdat hij vreest voor schade door de scheepvaart (golfslag tegen onbeschermde dijktafsluitingen etc.). Problemen met zicht en oriëntatie maken dat schippers, in hoogwater-omstandigheden waarbij de stroomsnelheid nog niet te hoog voor ze is, besluiten alleen bij daglicht te varen.

Laagwater

Bij kleine rivierafvoeren zorgen de stuwen gewoonlijk voor voldoende vaardiepte in de rivier. Zelfs als in een droge periode de diepte niet geheel aan de eisen voldoet, kan de scheepvaart zich vergaand aanpassen, en zal men niet spoedig een vluchthaven opzoeken. Extreem laagwater kan echter optreden als bij geringe afvoer toch de stuwen gestreken moeten worden. Dat kan het geval zijn bij ijsgang, om te voorkomen dat de stuwen beschadigen of vastraken.

Zware ijsgang

Als veel ijs op een rivier voorkomt, kan deze voor een deel van de vloot onbevaarbaar worden. Op de Maas is dat maar zelden het geval, maar op de Beneden-Rijn en Lek (en op de meeste kanalen) komt het nog wel voor. Vaak kan met sleepboothulp de vaart nog wel een tijd doorgang vinden, maar voor veel schepen stopt toch de vaart. In de praktijk blijkt het merendeel wel een ligplaats te vinden, onder meer in de vele openbare en private bedrijfshavens die ons land kent.

Calamiteit

Het is denkbaar dat door een calamiteit een aanzienlijke waterstandsverlaging optreedt, bijvoorbeeld als een stuw ernstig beschadigd is. De kans hierop is uiterst klein, maar als het gebeurt, is het plotseling en onverwacht. Het kan zijn dat de waterpeilverlaging zich niet zo snel manifesteert waardoor de scheepvaart gelegenheid heeft er tijdig op te reageren. Algemeen is de mening dat men voor calamiteiten geen extra vluchtfaciliteiten behoeft aan te leggen.

4.8.2.2 Capaciteit en situering

Bovenstaande condities die behoefte aan vluchtplaatsen doen ontstaan, treden niet tegelijkertijd op. De ligplaatscapaciteit moet dus in principe afgestemd zijn op de situatie die de meeste ligplaatsen vergt. Er bestaan geen nauwkeurige richtlijnen voor de benodigde ligplaatscapaciteit van vluchthavens. Men zal van geval tot geval moeten evalueren welke omstandigheden zich kunnen voordoen en hoe de vloot is samengesteld. Dat bepaalt in hoeverre de schippers in staat zijn veilig met de verslechterende omstandigheden om te gaan en zo nodig op tijd een goed heenkomen te zoeken. Dat laatste is een belangrijke maatstaf voor de ligplaatscapaciteit.

Hoogwatercondities ontstaan geleidelijk. Schippers willen wel zo lang mogelijk blijven varen. Door de goede berichtgeving zullen zij slechts zelden door onaanvaardbare condities 'overvallen' worden. Dit reduceert de behoefte aan vluchthavencapaciteit.

Laagwatercondities door geringe rivierafvoer ontstaan zeer geleidelijk en zijn niet zo extreem dat schepen een vluchthaven nodig hebben. Op de Maas geldt de instructie dat, zodra de watertemperatuur zakt tot onder 0,5 graden Celcius, alle stuwen gestreken worden omdat zich dan grote hoeveelheden grondijs gaan vormen. Men waarschuwt de scheepvaart, maar het blijkt dat tamelijk veel schepen toch niet tijdig de Maas verlaten en dus een vluchthaven nodig hebben waar het ook bij (zeer) laag water nog diep genoeg is.

Zware ijsgang ontstaat ook van lieverlee. Daardoor zijn de meeste schippers in staat om een veilige ligplaats te bereiken, bijvoorbeeld in aansluitende kanalen.

Calamiteiten zijn te zeldzaam om er een ligplaatscapaciteit op te baseren.

De bovenstaande condities leveren geen duidelijke richtlijnen voor het bepalen van de benodigde capaciteit van vluchthavens. Meestal zal men op basis van ervaringscijfers een goede schatting moeten

maken. Tijdens extreme condities zal er weinig scheepvaart meer zijn, zodat de gewone opstel- en wachtplaatsen bij de sluizen grotendeels vrij zijn voor de vluchtfunctie. De beschikbare capaciteit van grote sluisvoorhavens zal in de meeste gevallen de behoefte geheel of grotendeels kunnen dekken mits de aanlegplaatsen op de extreme condities zijn berekend. Een vluchthaven is alleen nuttig als deze op tijd te bereiken is. De onderlinge afstand moet dus niet te groot zijn (ca. 40 à 50 km), maar mag wel enkele uren varen vergen.

4.8.2.3 Specifieke eisen

Om als vluchthaven te kunnen dienen zal een sluisvoorhaven aan de volgende eisen moeten voldoen:

Bij extreem hoogwater:

- De ligplaatsen moeten ondanks extreme stroomsnelheden bereikbaar zijn. Afhankelijk van de situatie kan het aanbeveling verdienen om de bovenvoorhaven als vluchthaven te bestemmen, omdat men die stroomafwaarts kan binnenvaren.
- De ligplaatsen moeten beschermt zijn tegen stroom en golven. Het kan nodig zijn om de haven te omsluiten met een extra hoge geleidedam. In veel gevallen zal hier bezwaar tegen zijn, omdat het de afvoercapaciteit van de rivier kan beperken.
- De afmeervoorzieningen moeten voldoende hoog zijn, d.w.z. de remmingwerken (eventueel apart staande palen) inclusief de bolders moeten voldoende hoog zijn om het schip (de schepen) op haar (hun) plaats te houden.
- De wal moet vanaf het schip te voet te bereiken zijn.

Bij extreem laagwater

- De vluchthaven moet bij de lage waterstand nog bereikbaar zijn en bij de ligplaatsen moet voldoende water blijven staan, ook als het water onverhoopt nog verder zakt.
- Evenals bij hoogwater moet de wal te voet te bereiken zijn. Bij laagwater zullen daartoe op geschikte plaatsen ladders en dergelijke moeten worden geplaatst om de voetbruggen te bereiken.

Bij zware ijsgang

- De ligplaats moet goed beschermt zijn tegen de krachten van stroom en werkend ijs.
- De ligplaats moet niet al te geïsoleerd liggen, omdat dan de omstandigheden voor de schippers toch al verre van comfortabel zijn.

4.8.3 Voorhaven als dwanghaven

Onder een dwanghaven wordt verstaan een plaats waar een schip onder dwang van de bevoegde autoriteit afgemeerd/opgelegd kan worden. Dit kan nodig zijn in gevallen dat een schipper weigert zich aan gestelde regels te houden, bijvoorbeeld in geval van schadevaring, te weinig bemanning, geen documenten bij lading, verboden ligplaats innemen etc. In zo'n situatie kan in het uiterste geval besloten worden om het schip weg te slepen naar een door de beheerder te bepalen ligplaats. Dit blijkt zelden voor te komen. Er is dan ook geen reden om hiervoor speciale voorzieningen te treffen. In voorkomende gevallen kan men met de bestaande ligplaatsen wel een oplossing vinden.

Literatuur

- [4.1] European Conference of Ministers of Transport (ECMT/CEMT), 'New classification of inland waterways', Paris, June 1992.
- [4.2] Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC), 'Standardization of Ships and Inland Waterways for River/Sea Navigation', Supplement to PIANC-Bulletin no. 90, Brussel, 1996.
- [4.3] Commissie Vaarweg Beheerders (CVB), 'Richtlijnen vaarwegen, CEMT-klassen I t/m V', Rotterdam, juni 1996.
- [4.4] Commissie Vaarweg Beheerders (CVB), 'Richtlijnen vaarwegen, Actualisatie van afmetingen en vormgeving van voorhavens van sluizen', Rotterdam, december 1997.
- [4.5] Technische Advies Commissie voor de Waterkeringen (TAW), 'Leidraad Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies', Den Haag, juni 1997.
- [4.6] Ministerie van Justitie, 'Binnenvaart Politie Reglement', Den Haag, september 1991.
- [4.7] Rijkswaterstaat, 'Navigation locks for Push Tows', RWS Communication no 16, C. Kooman, The Hague, 1973.
- [4.8] Rijkswaterstaat, 'Lock capacity and traffic resistance of locks', RWS Communication no 22, C. Kooman and P.A. de Bruyn, The Hague, 1975.
- [4.9] Postacademisch onderwijs (PAO), 'Cursus Binnenscheepvaart en vaarwegen', Rijswijk, 1991.
- [4.10] Waterloopkundig Laboratorium, 'Berekenen van scheeps- en waterbewegingen bij passage van sluizen, reken programma WAROS', Delft, juni 1991.
- [4.11] Rijkswaterstaat Bouwdienst, 'Simulatiepakket voor de verkeersafwikkeling bij Kunstwerken, SIVAK', handleiding versie V2.01, Utrecht, september 1996.
- [4.12] Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer, 'Vaarwegkenmerken in Nederland (ViN)', op CD-Rom, Rotterdam, 1998.
- [4.13] KSV Schuttevaer, 'Binnenvaarthavens, inventarisatie van inrichtingsaspecten', 1996.
- [4.14] Ministeries van V&W, VROM en EZ, 'Beleidsvisie recreatietoervaart in Nederland', Den Haag, december 1990.
- [4.15] 'Verkeerstoedelingsmodel binnenscheepvaart', NEA rapport 90209/2420, Rijswijk, 1989.
- [4.16] Rijkswaterstaat Bouwdienst, 'Modernisering Maasroute, projectnota voorhavens en wachtplaatsen', Utrecht, mei 1993.
- [4.17] Rijkswaterstaat Bouwdienst, 'Actualisering van de benodigde remmingwerklengte voor sluizen op de Maasroute', Utrecht, januari 1994.
- [4.18] Nederlands Economisch Instituut (NEI), 'Scheepvaartaanbod en passeertijdskosten bij sluizen van IJmuiden: 1992-2000', Rotterdam, november 1993.
- [4.19] DHV, 'Ligplaatsproblematiek binnenvaart', Amersfoort, juli 1993.
- [4.20] TNO-INRO, 'Masterplan Modelsysteem Binnenvaart', Delft, april 1998.
- [4.21] Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, "Hydraulische randvoorwaarden voor Primaire Waterkeringen", september 1996.

Appendix 4.1 Nomogrammen/VAT methoden

Nomogrammen methode

Inleiding

Met de nomogrammen methode (lit. [4.8]) wordt de capaciteit van de sluis bepaald. In de methode wordt het schutproces voor30gesteld als een serie opeenvolgende tijdsintervallen. Op basis van waarnemingen en studie zijn deze tijdsintervallen gekwantificeerd. Hiermee kan worden onderzocht of een sluis kolk van bepaalde afmetingen het verkeersaanbod kan verwerken. Vervolgens kunnen door middel van iteratie de gewenste sluisafmetingen worden bepaald. De methode is inzichtelijk maar bewerkelijk en geeft geen resultaten over kosten en benodigde wachtruimte.

Capaciteit

De capaciteit is het aantal schepen dat maximaal per tijdseenheid (uur, week) door het sluiscomplex kan worden verwerkt onder de gegeven omstandigheden, in formulevorm:

$$C_s = 2 N_{\max} / (T_{d,o} + T_{d,a})$$

waarvan:	C_s	= capaciteit (schepen/uur)
waarvan:	$N_{\max}$	= maximum aantal schepen in de kolk
	$T_{d,o}$	= schutduur, opschutting
	$T_{d,a}$	= schutduur, afschutting

Schutcyclustijd

In het schutproces zijn een aantal tijdsintervallen te onderscheiden, te weten de tijdsintervallen voor invaren, bediening en uitvaren. Dit betreft dan zowel voor de schutting omhoog (opschutting) als de schutting omlaag (afschutting). Zie Figuur A4.1.

De schutduur T_d bestaat uit drie componenten:

$$T_d = T_i + T_b + T_u$$

waarvan:	T_i	= totale invaartijd = $t_l + \sum t_i$
	t_l	= lustijd
	t_i	= individuele invaarvolgtijd
	T_b	= bedieningstijd
	T_u	= totale uitvaartijd = $\sum t_u$
	t_u	= individuele uitvaarvolgtijd

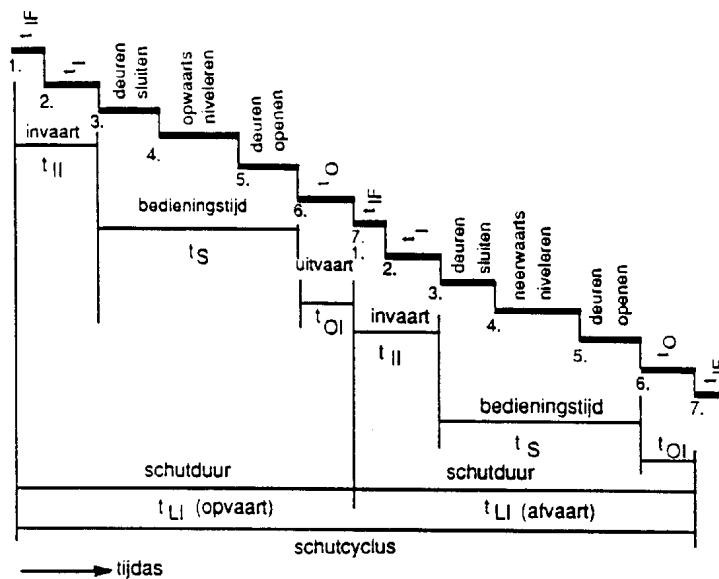
De invaartijd T_i bestaat uit een lustijd t_l en de som van de individuele invaarvolgtijden $\sum t_i$. De lustijd is het interval tussen het uitvaren van het laatste schip van de vorige schutting tot aan het invaren van het eerste schip van de nieuwe schutting. Een individuele invaarvolgtijd is de tijd die per schip nodig is voor het invaren van de sluis, volgtijd vanwege het feit dat het betreffende schip gaat varen vrij kort nadat het vorige schip startte. De invaartijd hangt af van scheepstype/-grootte en van geometrie voorhaven/sluis.

De bedieningstijd T_b omvat de tijd nodig voor deur sluiten, nivelleren en deur openen.

De uitvaartijd T_u is de som van de uitvaarvolgtijden van de vertrekkende schepen. De uitvaartijd is normaliter van kortere duur dan de invaartijd.

De volledige schutcyclustijd T_c bestaat uit de schutduur voor opschutting en de schutduur voor afschutting:

$$T_c = T_d (\text{opschutting}) + T_d (\text{afschutting})$$



LEGENDA

tijdstip

1. hek van schip van voorgaande schutting passeert de deuren
2. hek van eerste invarend schip passeert de deuren
3. hek van laatst invarend schip passeert de deuren
4. invaardeuren gesloten
5. uitvaardeuren gaan open
6. uitvaardeuren zijn open (eerste schip vertrekt)
7. hek laatst uitvarend schip passeert de deuren

Symbolen

- | | |
|----------|--|
| t_{IF} | lustijd
(interval tussen uitvaart laatste schip voorgaande schutting en invaart eerste schip van komende schutting) |
| t_I | invaarvolgtijd
(interval tussen invaarten van opeenvolgende schepen) |
| t_O | uitvaarvolgtijd
(interval tussen uitvaarten van opeenvolgende schepen) |

Figuur A4.1: Basiselementen van de schutcyclus

Nomogrammen en grafieken

Op basis van waarnemingen en studies zijn voor de volgende gegevens voor de Nederlandse binnen-vaartsluizen samengesteld:

- Tabellen met standaard vlootsamenstellingen
Een aantal tonnageklassen zijn onderscheiden. Om de vlootsamenstelling aan te geven zijn voor een groot aantal waarden van de gemiddelde tonnages de frequentieverdeling over de tonnageklassen gegeven.
- Grafieken voor inwaar- en uitvaartijden
Voor lege en geladen schepen worden per tonnageklasse en als functie van natte kolk-/scheepsdoorsneden de lustijden en de individuele in- en uitvaarvolgtijden gepresenteerd.
- Grafieken voor het maximum aantal schepen per schutting
Voor een groot aantal sluisbreedten wordt het maximum aantal schepen gegeven dat per schutting in een kolk zich kan bevinden als functie van het gemiddelde tonnage en wel voor diverse kolk lengtes.

- Waarden voor toelaatbare intensiteit
Aangezien de ene kolkvulling veel efficiënter uitvalt dan de andere kan voor een sluis niet uitgegaan worden van de maximum capaciteit maar van een toelaatbare intensiteit. Waarden zijn opgesteld voor het quotiënt van de toelaatbare intensiteit en de maximum capaciteit van de sluis per week, dit is dan betrokken op de hoeveelheid gepasseerde lading.

Berekening

Als invoer zijn gegeven: de afmetingen van de kolk, de afstand van wachtplaats tot sluiskolk, de bedieningstijd van de kolk, het percentage geladen en ongeladen schepen voor zowel op- als afschutting, het gemiddelde tonnage van de vloot, de bedieningstijd per week en het percentage in een representatieve week ten opzichte van het jaarlijkse vervoer.

Voor het gemiddelde tonnage van de vloot worden uit grafieken de lustijden, de individuele in- en uitvaartijden en het maximum aantal schepen per kolkvulling bepaald. Hiermee worden de totale in- en uitvaartijden berekend. Tezamen met de bedieningstijden van de kolk worden de schutduren voor op- en afschutting bepaald en hieruit de schutcyclustijd. Voor het onderzochte gemiddelde tonnage wordt dan uit de schutcyclustijd en het aantal schepen de maximum capaciteit in aantallen schepen (of tonnages) per uur en per week afgeleid. Met het quotiënt van toelaatbare intensiteit en maximum capaciteit wordt dan de toelaatbare intensiteit per jaar bepaald voor het onderzochte gemiddelde tonnage.

Door middel van iteratie kan bovengenoemde methode herhaald worden om de optimale kolkafmetingen te bepalen waarbij het totale hoeveelheid te passeren lading overeenkomt met de toelaatbare intensiteit.

Als bezwaren van de methode kunnen genoemd worden dat de methode bewerkelijk is, de vloot te sterk geschematiseerd wordt en geen inzicht in kosten en benodigde wachtruimte geeft.

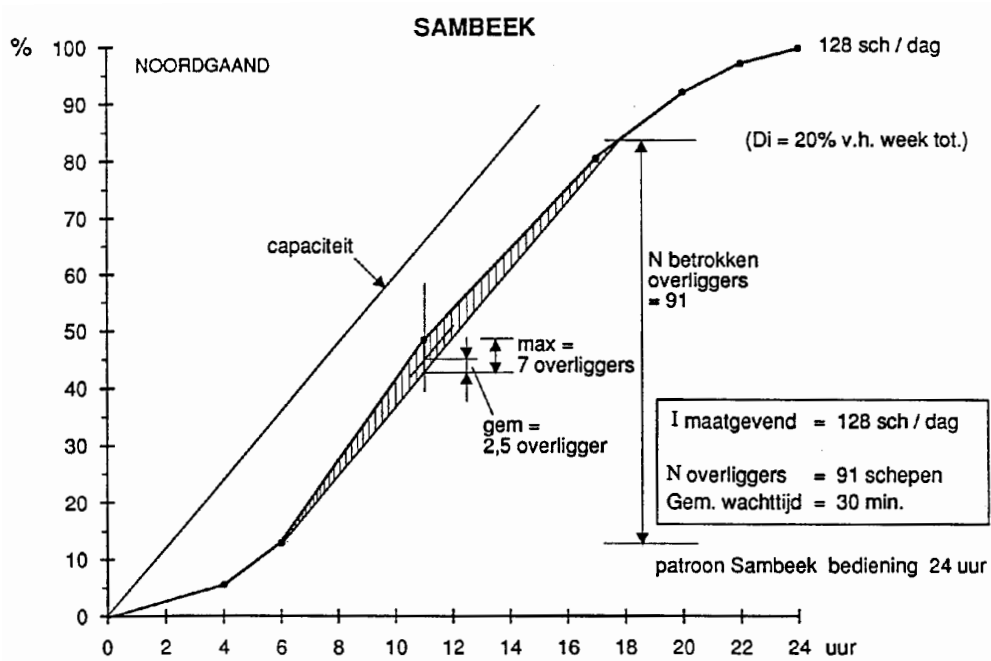
VAT-methode

Met de VAT-methode (lit. [4.17]) wordt de benodigde wachtruimte in de voorhaven onderzocht. Deze wachtruimte is bedoeld voor overliggers, dwz. schepen die niet met de eerst volgende schutting mee kunnen, en betreft dus niet de opstelruimte. (NB. De opstelruimte wordt meestal gelijk genomen aan de kolkafmetingen).

Aan invoergegevens heeft men het maatgevende verkeersaanbod op dagbasis, het aanbodspatroom in aantallen schepen per uur (bijvoorbeeld 0-24 uur) en de schutcapaciteit voor de gegeven vloot en sluis nodig. De schutcapaciteit kan worden bepaald met de hiervoor beschreven Nomogrammen methode of met behulp van SIVAK.

De methode is een simpel maar niet erg nauwkeurig. De methode heeft een analogie van de doorstroming van een vat met vloeistof. De analogie klopt niet geheel, omdat het schutten een discontinu proces is. Door de aanwezigheid van opstelplaatsen bij de sluizen wordt de invloed van die discontinuïteit echter voldoende afgevlakt om uitspraken te kunnen doen over de behoefte aan wachtplaatsen. De methode laat zich grafisch weergeven, zie figuur A4.2. Eerst wordt het aanbodspatroom cumulatief weergegeven. In dezelfde figuur wordt de capaciteit als een rechte (hellende) lijn uitgezet. Daar waar de helling van het aanbodspatroom groter is dan die van de capaciteit, treden overliggers op. Het zo gearceerde gebied is een maat voor de gesommeerde wachttijd van de overliggers op die dag. Uit de figuur kan ook het maximum en gemiddelde aantal overliggers worden afgelezen.

Deze methode levert het gemiddelde en het maximale aantal overliggers, de gemiddelde wachttijd van de overliggers en de benodigde lengte van de wachtruimte op. Zijn de uitkomsten niet acceptabel dan moet de capaciteit opnieuw bepaald worden voor aangepaste kolkafmetingen, en wordt het proces opnieuw doorlopen. Als bezwaren van deze methode kunnen genoemd worden dat de methode geen inzicht in passeertijden en -kosten geeft en dat de methode betrekkelijk onnauwkeurig is door te sterke schematisatie van de vloot.



Figuur A4.2: Bepaling aantal overliggers bij de sluis Sambeek volgens de VAT-methode

Appendix 4.2 Simulatie model SIVAK

Inleiding

Voor de economische beoordeling van de capaciteit van een sluis is de passeertijd de maatgevende grootheid. Het is mogelijk deze passeertijd betrouwbaar te bepalen door de verkeersafwikkeling bij schutsluizen te simuleren met het simulatiepakket SIVAK (Simulatiemodel voor de Verkeers-Afwikkeling bij Kunstwerken, lit. [4.11]). Simulatie is in veel gevallen de aangewezen methode: zowel het verkeersaanbod als het schutproces worden in het model gedetailleerd weergegeven.

SIVAK is door Rijkswaterstaat ontwikkeld voor de verkeersafwikkeling van scheepvaart- en wegverkeer bij sluizen, vernauwingen en bruggen, gelegen in een netwerk van vaarwegen. Het is bedoeld als hulpmiddel bij het adviseren van vaarwegbeheerders voor het opzetten van planstudies en kosten/batenanalyses. Met het model kunnen wijzigingen in het gebruik en het ontwerp van het kunstwerk worden uitgedrukt in passeertijden en -kosten en in de behoefte aan wachtruimte voor zowel de scheepvaart als het wegverkeer (in geval van beweegbare bruggen).

Passeertijd

De passeertijd wordt als volgt gedefinieerd. De passeertijd t_p van een schip is gelijk aan de totale extra tijd die de schutting vergt, in vergelijking met de denkbeeldige situatie dat er geen sluis zou zijn en het schip met zijn normale snelheid had kunnen doorvaren. De passeertijd bestaat uit drie componenten:

$$t_p = t_w + t_s + t_o$$

waarbij:	t_p	=	passeertijd
	t_w	=	wachttijd
	t_s	=	schuttijd
	t_o	=	overligtijd

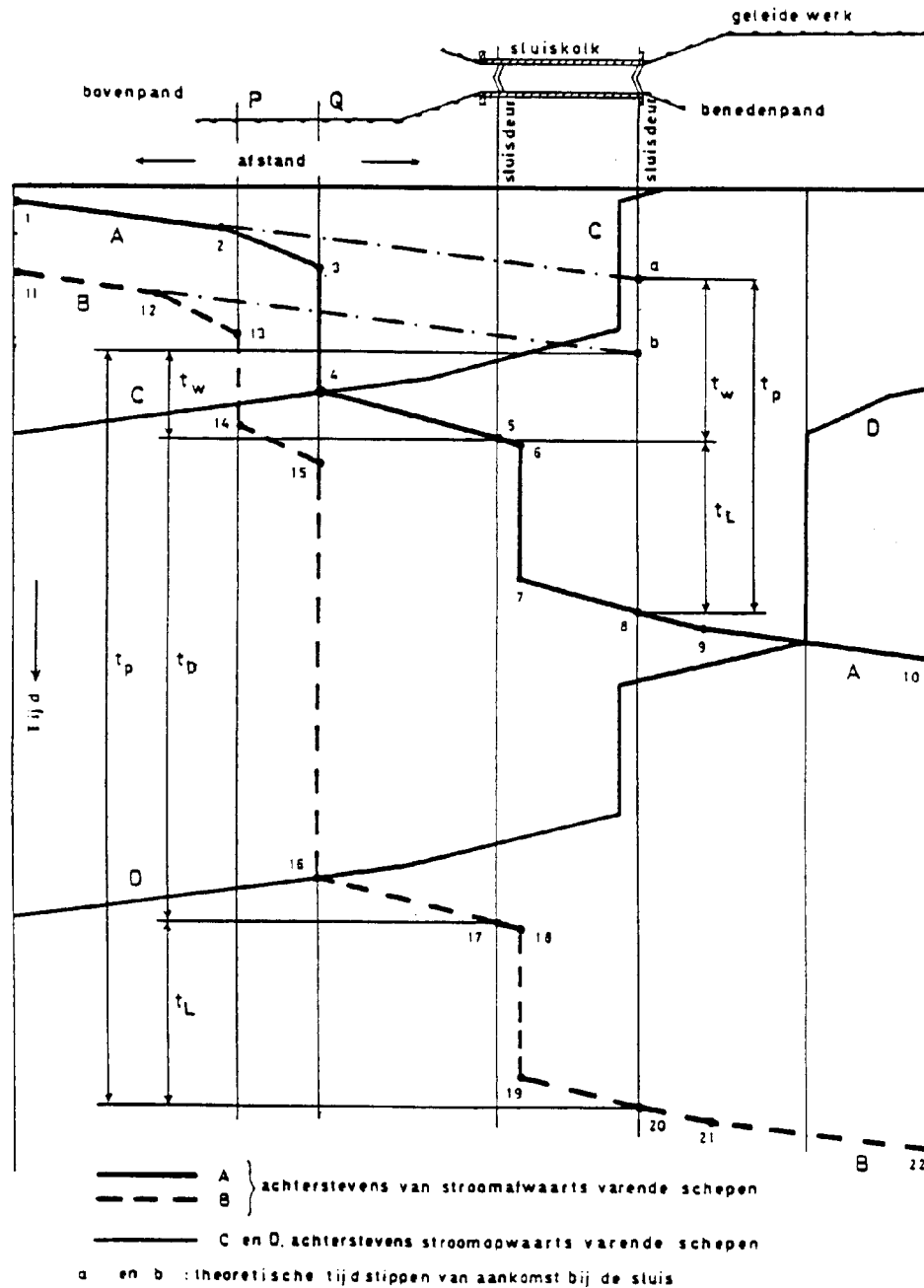
De wachttijd is de tijd tussen aankomst in opstelruimte en aankomst bij slusingang verminderd met de tijd om het gehele traject met ongestoorde vaarsnelheid af te leggen. De schuttijd omvat de tijd nodig voor invaren kolk, deur sluiten, nivelleren, deur openen en uitvaren kolk. De overligtijd is de extra wachttijd bij de wachtplaats als een schip niet met de eerstvolgende schutting mee kan. Voor een juiste omschrijving van de definities zie de SIVAK-handleiding. Als voorbeeld is het verloop van de scheepspositie als functie van de tijd gevisualiseerd in het tijd-weg diagram van Fig. A4.3 voor het eenvoudige geval van een sluis met slechts één schip per schutting. SIVAK berekent in grote lijnen volgens deze opzet tijd en plaats van elk individueel schip.

SIVAK-model

Het SIVAK pakket bestaat uit een aantal submodellen:

- de schepen-generator
- het eigenlijke simulatiemodel
- de data-processor voor het statistisch bewerken en presenteren van de resultaten in een rapport
- een query-model waarmee desgewenst zeer specifieke informatie uit het databestand van een simulatie kan worden verkregen.
- twee animatie-modellen

Nast de datafiles die de gebruiker zelf invult om zijn probleem te definiëren, wordt gebruik gemaakt van bibliotheek-files zoals voor scheepsafmetingen (inclusief veiligheidsmarges tussen schepen in de kolk, en breedte voor wrijfhouten), aanbodspatronen, in- en uitvaartijden en vaar- en ligkosten. De schepengenerator zorgt ervoor dat de opgegeven aantallen schepen (van gespecificeerde klassen en vol-



Figuur A4.3: Tijd/weg-diagram van sluispassages

gens gekozen aanbodspatronen) volgens een aselechte trekking bij de sluis aankomen en zich melden voor schutting.

Invoer

Als gegevens worden ingevoerd:

- het aantal schutkolken in het complex
- de horizontale en verticale afmetingen van de kolken
- waterstanden, bedieningstijden (of proces-), bedrijfstijden
- verkeersaanbod, per vaarrichting,
 - aantallen schepen, tonnen lading,
 - verdeling lege/geladen schepen,

- aanbodspatronen (verdeling van aanbod in de tijd),
- scheepstypen, o.a. kegelschepen.

Tevens kan worden aangegeven:

- eventuele voorkeur voor een bepaalde kolk
- gemengd of gescheiden schutten (bijvoorbeeld recreatie-/beroepsvaart) bepalend voor kolkindeling
- extra ruimte voor kegelschepen

Simulatie

- Kies een maatgevend verkeersaanbod,
- Simuleer de verkeersafwikkeling van dit aanbod bij de sluis als functie van de kolk-afmetingen,
- Bereken voor elk van deze simulaties de passeertijden en de kosten die samenhangen met deze verkeersafwikkeling (zoals passeertijdskosten van schepen en kosten van aanleg wachtvoorzieningen),
- Kies het optimum van de totaalkosten, eveneens rekening houdend met factoren die niet in geld kunnen worden uitgedrukt; daarmee is ook de optimale sluiskolk-afmeting bepaald.

Resultaten

Uit een SIVAK simulatie volgt de passeertijd van elk individueel schip binnen de totale verkeersafwikkeling in de gesimuleerde week. In het pakket zijn ook de kosten/tarieven beschikbaar van varen en liggen van verschillende categorieën schepen. Daarmee worden de passeerkosten per schip berekend en door sommatie vervolgens de totale passeerkosten van de gepasseerde vloot over een gegeven simulatieperiode bepaald.

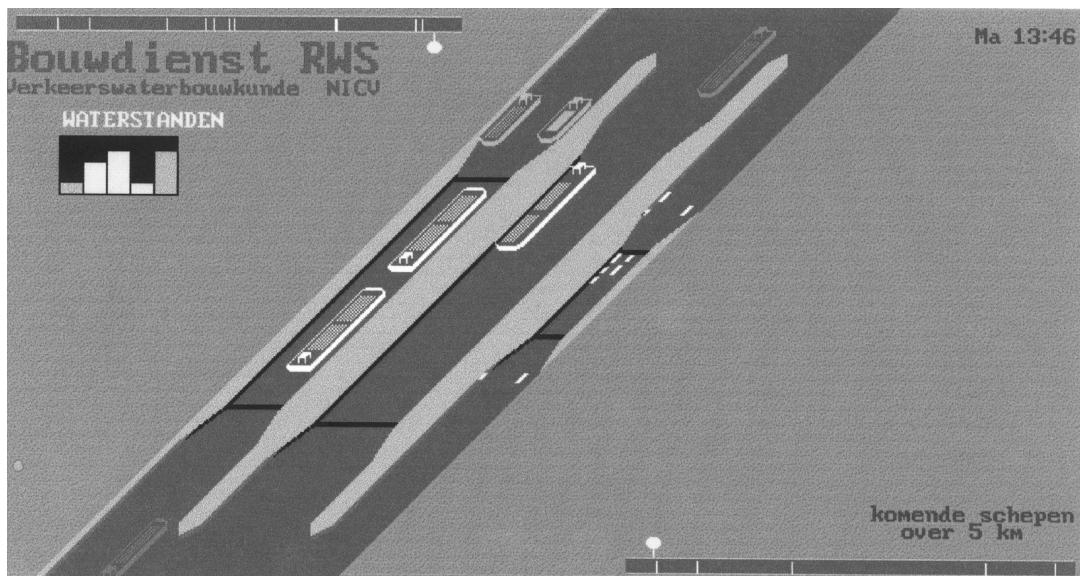
Meestal wordt een periode van een week gesimuleerd. De totale gesommeerde passeertijdskosten per (maatgevende) week mogen niet zonder meer lineair worden omgerekend naar kosten per jaar, omdat de passeertijden (van de beschouwde week) niet evenredig zijn met het verkeersaanbod (in die week). Er zijn twee methoden om tot jaarcijfers te komen:

- 1 'Zuivere methode':
Dit moet eigenlijk een integratie zijn waarbij voor elke week apart de totale passeertijdskosten worden berekend, waarna dat over het hele jaar wordt gesommeerd. Dit kan nog worden geschematiseerd door uit de verschillende waarden van het verkeersaanbod enkele representatieve weken te kiezen en die geheel te simuleren. Sommatie nu van verkregen weekkosten maal aantal representatieve weken, levert een uitkomst die een goede benadering is van de methoden met de volledige integratie van de 52 weken.
- 2 'Korte methode':
Hierbij wordt gedaan alsof de gesommeerde passeertijdskosten per week en het verkeersaanbod toch een lineair verband hebben. Als het verkeersaanbod in de maatgevende week $p\%$ van het totale jaar-aanbod bedraagt, dan worden de gesommeerde passeertijdskosten per jaar berekend als:

$$\text{passeertijd}_{\text{week}} \times 100/p$$

De passeertijden en passeertijdskosten vormen de belangrijkste grootheden om te beslissen of de capaciteit van de sluis voldoende is of niet. In de kostenafweging zal men echter een veel breder scala, de 'maatschappelijk economische kosten', moeten beschouwen. Zonodig worden andere kolkafmetingen gekozen en de simulatie herhaald. Uit de simulaties blijkt ook de behoefte aan wachtruimte in de voorhavens.

Het data-processing module maakt het mogelijk om ook een groot aantal andere parameters uit te voeren, daarmee kan vaak beter inzicht worden verkregen in de werking van verschillende factoren in het proces. Daartoe kan ook de animatie bijdragen. Animatie is echter ook een belangrijk hulpmiddel om de verkregen inzichten aan andere betrokkenen over te dragen, zie Fig. A4.4.



Figuur A4.4: Animatie met SIVAK

Verschillen met Nomogrammen en VAT methode

Deze methode heeft belangrijke verschillen en voordelen ten opzichte van de Nomogrammen en VAT (Appendix A4.1).

Nomogrammen/ VAT-methode	SIVAK-methode
uitgaan van continu proces; schepen worden uniforme eenheidsschepen	discreet, stochastisch proces; schepen zijn individuele verkeersdeelnemers met individuele aankomst-tijdstippen, vaargedrag en afmetingen
bruikbaar voor uniforme vlootsamenstelling	vooral bruikbaar voor grote diversiteit in scheepsafmetingen en vaargedrag
minder geschikt voor complexen met meer dan één kolk	zeer geschikt voor complexen met meer dan één kolk

De voor- en nadelen van beide methoden moet wel in het licht gezien worden van de wens cq. noodzaak van de gebruiker om hetzij een eerste, globale indruk dan wel een gedetailleerd inzicht te verkrijgen.

Appendix 4.3 Rekenmodel WAROS

Inleiding

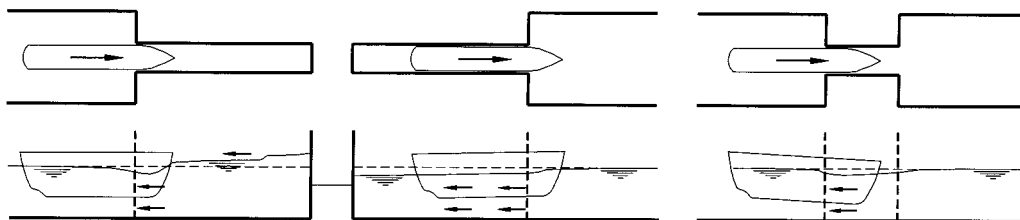
Wanneer een schip een schutsluis invaart of verlaat past de vaarsnelheid en de verticale positie van het schip zich aan. Bovendien worden golven opgewekt en de retourstroming rondom het schip verandert. Het rekenprogramma WAROS berekent de verticale bewegingen van het schip dat een discontinuïteit in de vaarweg (sluis, vernauwing, verwijding, drempel, etc.) in-, door- of uitvaart en de bijbehorende waterbewegingen.

Probleemformulering

Voor een veilige doorvaart door de sluis is het belangrijk te weten welke diepgang van het schip toelaatbaar is, het schip mag de sluisdrempel immers niet raken. De verandering van de verticale positie en dus de kielspeling van het schip wordt door het varende schip zelf veroorzaakt. Deze verandering hangt sterk af van mate van blokkering van het natte dwarsprofiel van de sluis en de voorwaartse snelheid.

Ook kunnen problemen ontstaan door schepen die de sluis in- of uitvaren. Varende schepen in de sluis wekken golven op. Deze golven veroorzaken troskrachten en bewegingen van gemeerd liggende schepen in de kolk. De golven oefenen ook krachten uit op gesloten deuren van de sluis. De waterspiegelverlaging langs het varende schip oefent krachten uit op geopende deuren in de deurkas. De retourstroom- en schroefstraalsnelheden kunnen de bodemverdediging net buiten of in de sluis aantasten.

Fysische verschijnselen



Figuur A4.5: Golfverschijnselen tijdens in-, uit- en doorvaart van een sluis

Wanneer een schip een sluis met een gesloten eind invaart wordt een positieve translatiegolf opgewekt voor het schip uit die de kolk verder inloopt. Deze golf reflecteert tegen het gesloten eind en vervolgens reflecteert deze golf ook gedeeltelijk tegen de boeg. Ondertussen neemt de voorwaartse snelheid van het schip af door de verhoogde waterspiegel voor de boeg.

De retourstroom naast het schip wordt gehinderd om naar het achterschip te stromen door het nauwe dwarsprofiel naast het schip. De stroomsnelheden langs het schip zijn hoog vanwege het grote waterstandsverschil tussen boeg en voorhaven. Dit resulteert in een verlaagde waterspiegel naast het schip waardoor ook de verticale positie van het schip verandert. Energieverliezen treden op door het vertragen van het water dat de voorhaven instroomt.

Een andere situatie treedt op wanneer een sluis met een gesloten einde uitvaart. Het schip versnelt in het nauwe dwarsprofiel van de kolk waardoor de retourstroomsnelheid naast het schip toeneemt. Het schip krijgt een lagere positie vanwege de waterspiegelverlaging naast het schip wat door het schip zelf gegenereerd wordt. Vervolgens bereikt de boeg de voorhaven die de oorspronkelijke waterspiegel heeft. Het resultaat is dat het schip achterover gaat hellen terwijl de langsversnelling van het schip afneemt. Gedurende deze tijd van uitvaren neemt de kielspeling bij het achterschip af.

De passage van een open sluis heeft soortgelijke verschijnselen als voornoemd in zich. Het verschil is dat de opgewekte golven negatief reflecteren tegen de open einden van de sluis. Het resultaat is dat zowel de snelheid van het schip als zijn kielspeling afneemt gedurende het varen door de sluis.

De bovengenoemde verschijnselen hangen sterk af van de blokkering van het natte dwarsprofiel door het schip, de initiële vaarsnelheid in combinatie met het toegepaste motorvermogen en de verhouding tussen de dwarsprofielen van kolk en voorhaven.

Rekenmodel WAROS

Het water wordt beschreven met een-dimensionale vergelijkingen van de waterbeweging in langsrichting op een groot aantal knooppunten in de vaarweg, terwijl het schip wordt beschreven met vergelijkingen van de verticale beweging en de langsbeweging. Deze vergelijkingen worden numeriek opgelost met gebruikmaking van een eindige elementen methode. Het rekenmodel is gevalideerd aan de hand van metingen uit model en prototype.

Als invoer zijn benodigd de gedetailleerde geometrieën van zowel de vaarweg met de discontinuïteiten (sluis) als van het schip, het ingestelde motorvermogen als functie van plaats en tijd en de initiële waterstand en debiet (eventueel).

Uitgevoerd worden als functie van tijd of plaats de vaarsnelheid van het schip, de minimale kielspeling en de stamp- en dompbewegingen van het schip. Op een aantal op te geven raaien worden als functie van tijd de waterspiegel en de stroomsnelheden uitgevoerd.

Met de minimale kielspeling wordt gecontroleerd of de drempel niet geraakt wordt, met het waterspiegelverloop of andere schepen geen last hebben van de golven of de krachten op deuren te groot worden en met de stroomsnelheden wordt de bodembescherming beoordeeld.

Appendix 4.4 Invloed van vaartijdenwet op ligplaatsen

Vaartijdenwet

Het “Besluit Vaartijden en Bemanningssterkte Binnenvaart”, ook kort aangeduid als “Vaartijdenwet” of VTW, is van kracht sedert januari 1995. Dit besluit regelt de beperking van de werktijden en ononderbroken rusttijden in relatie tot de bemanningssterkte. In de VTW wordt onderscheid gemaakt naar exploitatiewijze, te weten dagvaart, semi-continuvaart en continuvaart. De onderstaande tabel geeft een samenvatting van de Vaartijdenwet.

Rusttijden bemanningsleden				
Exploitatiewijze	Aantal uren:	Waarvan aan één stuk:	Waarvan buiten vaartijd schip	In een periode van 24 uur te rekenen vanaf:
Dagvaart	8 per 24	8	8	laatste rust van minimaal 8 uur
Semi-continu	8 per 24	6	6	
Continu	24 per 48	2 x 6	-	
Ligtijd schip				
Exploitatiewijze	Aantal aaneengesloten uren:	Indien geen tachograaf bovendien:		In een periode van 24 uur te rekenen vanaf:
Dagvaart	8 per 24	22.00-06.00uur		einde onderbreking van minimaal 8 resp. 6 uur
Semi-continu	6 per 24	23.00-05.00uur		
Continu	-			
Vaartijd schip				
Exploitatiewijze	Aantal uren:			
Dagvaart	max 14 *) (16 met onderbrekingen)			
Semi-continu	14-18			
Continu	min 18			

*) Eénmaal per week 16 uur ononderbroken toegestaan, indien: uitgerust met tachograaf en uit -gebreidere bemanning

TabelA4.1: Rust-, lig- en vaartijden volgens Vaartijdenwet (VTW)

De definities van dagvaart, semi-continuvaart en continuvaart volgen uit de tabel. De tachograaf is het instrument dat registreert wanneer (en dus hoe lang) de schroef in werking is, die tijd wordt beschouwd als vaartijd.

Als de effectieve vaartijd kan worden gecontroleerd door middel van een tachograaf (op de schroef-as), dan heeft de schipper meer vrijheid om zijn vaartijden zelf te kiezen (de duur van de vaart blijft wel beperkt). Bij een schip met een tachograaf kan het nu voorkomen dat de schipper 's nachts doorvaart en de voorgeschreven rustperiode overdag in acht neemt. Dit betekent dat niet alleen 's nachts, maar ook overdag ligplaatsen voor rustende schepen beschikbaar moeten zijn. Om deze reden is het zinvol om niet meer te spreken over overnachtingsplaats maar over rustplaats. Kenmerkend is, dat men aanlegt om verscheidene uren te blijven liggen, dit in tegenstelling tot aanleggen om te wachten op schutting.

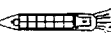
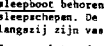
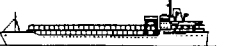
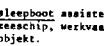
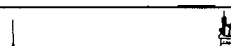
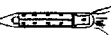
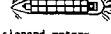
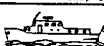
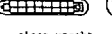
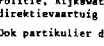
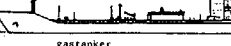
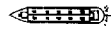
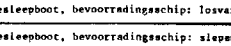
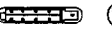
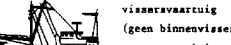
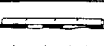
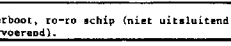
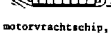
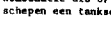
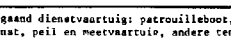
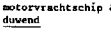
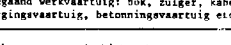
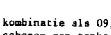
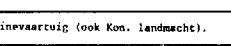
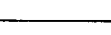
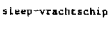
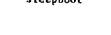
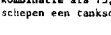
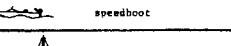
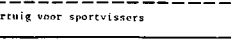
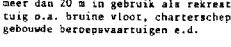
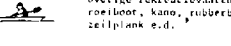
Ligplaatsen

Voor de continu-vaart hoeft geen ligplaats anders dan voor schutten aanwezig te zijn. De semi-continu-vaart en de dagvaart moeten volgens de vtw dagelijks een aantal uren aanleggen en rustperiodes in acht nemen. De tijden zijn mede afhankelijk van de aanwezigheid van een tachograaf. Dit leidt ertoe dat aankomsttijden en vertrektijden van schepen van verschillende exploitatiewijzen vaak onderling hinder veroorzaken als een schip naast een ander schip moet aanleggen of vertrekken (twee-breed afmeren). Om te besparen op de aanleg van remmingwerken/ligplaatsen is het nodig om te onderzoeken of er groepen van schepen zijn die in het specifieke geval toch twee-breed kunnen afmeren zonder onaanvaardbare hinder.

In het landelijk Onderzoek Ligplaatsproblematiek Binnenvaart (lit. [4. 19]) is de verwachting uitgesproken dat door de invoering van de vtw er enige verschuiving in de exploitatiewijzen zal optreden: van continu naar semi-continu, en van semi-continu naar dagvaart. Verder is de verwachting dat de meeste schepen uit de semi-continuvaart en de dagvaart zich wel zullen conformeren aan hun nachtelijke rusttijden, ook al hebben ze een tachograaf. Dit betekent, dat schepen uit die groepen weliswaar op zeer verschillende tijden in de avond kunnen aankomen, maar dat ze 's morgens waarschijnlijk wel weer tegelijk kunnen vertrekken (om 5.00 resp. 6.00 uur). In dat geval zouden schepen met overeenkomstige exploitatiewijze dus wel naast elkaar kunnen afmeren zonder al te veel hinder. Uit overleg met ksv Schuttevaer is gebleken dat de schippers geen voorstander zijn van het strict aanwijzen van ligplaatsen door het sluispersoneel, men regelt dat meestal liever zelf.

Voor het creëren van rustige ligplaatsen is het soms mogelijk gebruik te maken van het feit dat 's nachts minder schepen gesloten behoeven te worden: als bij een sluis met twee kolken 's nachts één kolk buiten gebruik is, kunnen daar de opstelplaatsen zo lang als overnachtingsplaats dienen; zie verder hoofdstuk 5 waar de verschillende nautische eisen geïntegreerd worden.

Appendix 4.5 Scheepsklassen

BINNENVAART			ZEEVAART
VRACHT- EN TANKEVAART	NIET UITSLUITEND VRACHTVERVOEREND		VRACHT- EN TANKEVAART
00 Scheepstype niet te bepalen (b.v. bij mist)	40  sleepboot losvarend		50  vrachtschip voor stukgoed
01  motorvrachtschip	41  sleepboot behorend bij één of meer sleepschepen. De sleepboot kan ook langerij zijn vastgemaakt. Eventueel tweede sleepboot ook kode 41.		51  containerschip, ro-ro vrachtschip, barge-carrier
03  containerschip, ro-ro vrachtschip	42  sleepboot assisterend bij duwact, zeeschip, werkvaartuig of ander drijvend objekt.		52  bulkcarrier
02  motortankschip	43  duwboot losvarend		53  tanker voor olie en andere vloeibare lading
04  gas-tankachip	44  passagierschip, veerboot, rondvaartboot, rode kruisschip e.d.		54  gastanker
05  sleepend motor-vrachtschip	45  dienstvaartuig		60  zeesleepboot, bevoorradingschip: losvarend
11  sleep-vracht-schip	46  werkvaartuig		61  zeesleepboot, bevoorradingschip: sleepend
06  sleepend motor-tankachip	47  gesleept objekt.		62  vissersvaartuig (geen binnenvisser, geen mosselvisser)
12  sleep-tank-schip	48  vissersvaartuig		63  veerboot, ro-ro schip (niet uitsluitend vrachtvervoerend).
07  motorvrachtschip, met één of meer vrachtautog-tuigen langerij	49  overige binnenvaartuigen en drijvende objecten, nog niet genoemd, inkl. bunkerboten en parlevinkers.		64  passagierschip
08  combinatie als 07, waarbij tenminste één van de schepen een tankschip is.			65  zeegeand dienstvaartuig: patrouilleboot, loodsdienst, peil en meetvaartuig, andere tenders e.d.
09  motorvrachtschip één of meer vrachtautog-tuigen duwend			66  zeegeand werkvaartuig: bok, zuiger, kabellegger, bergingsvaartuig, betonningsvaartuig etc.
10  combinatie als 09, waarbij tenminste één van de schepen een tankschip is.			67  gesleept zeegeand objekt: boor-, kranemland, dood schip e.d.
11  sleep-vrachtschip			68  marinevaartuig (ook Kon. landmacht).
12  sleep-tankachip			69  overige zeegeande vaartuigen en drijvende objecten: weerschip, opleidingsvaartuig e.d.
13  41  gekoppelde sleep-vrachtschepen			
14  combinatie als 13, waarbij tenminste één van de schepen een tankschip is.			
15  Vrachtduwbak			
16  Tankduwbak			
17  Vrachtduwbak geladen met containers			
18  Gas-tankduwbak			
			REKREATIEVAART
			80  motorjacht, ook snelvarend
			81  speedboot
			82  zeiljacht varend op (hulp) motor
			83  zeilend jacht
			84  vaartuig voor sportvissers
			85  zeil- c.q. motorschepen met een lengte van meer dan 20 m in gebruik als recreatievaartuig o.a. bruine vloot, charterschepen, omgebouwde beroepsvaartuigen e.d.
			89  overige recreatievaartuigen: roeiboort, kano, rubberboot, zeilplank e.d.

Tabel A4.2: Codering scheepvaart

Type des voies navigables Type of inland waterways		Classes de voies navigables Classes of navigable waterways	Autoteurs et chalands Motor vessels and barges					Convois poussés Pushed convoys					Hauteur minimale sous les ponts Minimum height under bridges	
			Type de bateaux: caractéristiques générales Type of vessel: générales characteristics					Type de convoi: Caractéristiques générales Type of convoy: Générales characteristics						
			Dénomination Designation	Longueur Length	Largeur Beam	Tirant d'eau Draught	Tonnage Tonnage		Longueur Length	Largeur Beam	Tirant d'eau Draught	Tonnage		
D'INTÉRÊT RÉGIONAL OF REGIONAL IMPORTANCE	A l'Ouest de l'Elbe To west of Elbe			m	m	m	T		m	m	m	T	m	
		I	Péniche Barge	38-50	5.05	1.80-2.20	250-400						4.00	
		II	Kast-Campinois Campine Barge	50-55	6.60	2.50	400-650						4.00-5.00	
		III	Gustav Koenings	67-80	8.20	2.50	650-1000						4.00-5.00	
		I	Grosse Finow	41	4.70	1.40	380						3.00	
		II	Barka Motorowa 500	57	7.50-9.00	1.60	500-630						3.00	
		III		67-70	8.20-9.00	1.60-2.00	470-700		118-132	8.23-9.00	1.60-2.00	1000-1200	4.00	
	D'INTÉRÊT RÉGIONAL OF INTERNATIONAL IMPORTANCE		IV	Johann Welker	80-85	9.50	2.50	1000-1500		85	9.50	2.50-2.80	1250-1450	5.25 ou/ou 7.00
			Va	Grands Rhénans Large Rhine Vessels	95-110	11.40	2.50-2.80	1500-3000		95-110	11.40	2.50-4.50	1600-3000	5.25 ou/ou 7.00 ou/ou 9.10
			Vb							172-185	11.40	2.50-4.50	3200-6000	
			VIa							95-110	22.80	2.50-4.50	3200-6000	7.00 ou/ou 9.10
			VIb		140	15.00	3.90			185-195	22.80	2.50-4.50	6400-12000	7.00 ou/ou 9.10
			VIc							270-280 193-200	22.80 33.00-34.20	2.50-4.50 2.50-4.50	9600-18000 9600-18000	9.10
			VII							285-195	33.00-34.20	2.50-4.50	14500-27000	9.10

Tabel A4.3: Gegevens CEMT-klassen

Laad- vermogen klasse	CEMT- klasse	Klassegrenzen laadvermogen	Motor- vermogen [pk]	Standaardschip								Oppervlakte dwarsprofiel				tonnen/ dm
				Laad- vermogen [tonnen]	Lengte [m]	Breedte [m]	Geladen diepgang [m]		Waterverplaatsing [m]		[m²]					
							galaden	85% geladen	geladen	85% geladen	geladen	85% geladen	leeg	leeg		
Motorschepen																
1	0	50 - 249	145	150	28	5,00	1,80	1,60	200	178	50	9,0	8,1	3,5	12	
2	I	250 - 449	260	350	39	5,10	2,40	2,12	450	398	100	12,2	10,8	3,8	19	
3	II	450 - 649	350	550	50	6,60	2,50	2,22	710	628	160	16,5	14,7	5,0	30	
4	IIA	650 - 849	480	750	60	7,20	2,60	2,31	970	858	220	18,7	16,6	5,8	39	
5	III	850 - 1049	615	950	67	8,20	2,60	2,31	1240	1098	290	21,3	18,9	7,0	49	
6	IIIA	1050 - 1249	670	1150	80	8,20	2,60	2,31	1490	1318	340	21,3	18,9	7,0	59	
7	IV	1250 - 1799	930	1550	85	9,50	2,80	2,48	1990	1758	440	26,6	23,6	9,5	73	
8	V	1800 - 3199	1210	2250	95	11,40	3,00	2,65	2860	2523	610	34,2	30,2	12,5	97	
9		3200 - 6500	1855	3600	110	11,40	3,90	3,42	4500	3960	900	44,5	39,0	13,7	113	
Duweenheden																
9		3200 - 6500	2100	5400	180	11,40	3,90	3,41	6500	5740	1150	44,5	38,9	18,0	Per bak	
10		> 6500		10800	188	22,80	3,90	3,41	12850	11230	2050	88,9	77,7	25,0	82 t	

Tabel A4.4: Gegevens laadvermogenklassen in het verkeerstoedelingsmodel



Foto 4.6 Motorvrachtschip CEMT-klasse I (Spits)



Foto 4.7 Motorvrachtschip CEMT-klasse II (Kempenaar)



Foto 4.8 Beunship CEMT-klasse IIa



Foto 4.9 Cementtanker CEMT-klasse IIa



Foto 4.10 Motorvrachtschip CEMT-klasse III (DEK-schip)



Foto 4.11 Containerschip CEMT-klasse IIIa



Foto 4.12 Motortanker CEMT-klasse IIIa

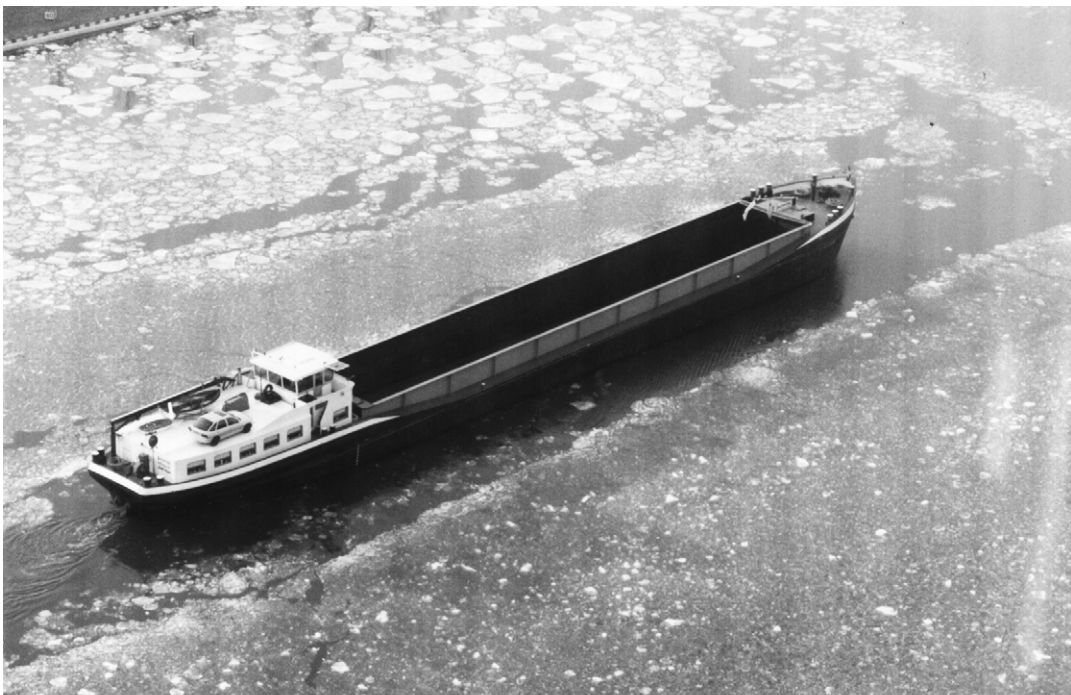


Foto 4.13 Motorvrachtschip CEMT-klasse IV (RHK-schip)



Foto 4.14 Motortanker CEMT-klasse IV



Foto 4.15 Containerschip CEMT-klasse Va (Groot Rijnschip)



Foto 4.16 Duweenheid met een bak CEMT-klasse Va



Foto 4.17 Duweenheid met twee bakken achter elkaar CEMT-klasse Vb



Foto 4.18 Duweenheid met twee bakken naast elkaar CEMT-klasse VIa



Foto 4.19 Duweenheid met vier bakken CEMT-klasse VIb



Foto 4.20 Kruiplijncoaster



Foto 5.1 Layout van sluiscomplex te Terneuzen met (v.l.n.r.) grote zeesluis, Middensluis en binnenvaartsluis als verbinding van Westerschelde (boven) met Kanaal van Gent naar Terneuzen (onder)

Hoofdstuk 5 Lay-out van het sluiscomplex

5.1 Inleiding

Een sluiscomplex omvat de schutsluis met beide voorhavens en de aansluitingen met de vaarwegvakken. De functionele eisen en de gebruikerseisen van het sluiscomplex zijn beschreven in Hoofdstuk 2. In Hoofdstuk 4 zijn de afmetingen van de verschillende elementen bepaald. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de verschillende elementen van het sluiscomplex tot een doelmatige lay-out worden verwerkt. Details van de inrichting van de voorhavens komen in Hoofdstuk 17 aan de orde, de remmingwerken in Hoofdstuk 15.

De sluis heeft een eenvoudige, rechthoekige vorm met aan weerszijden twee hoofden. De voorhaven is ingewikkelder omdat daarin de diverse elementen zoals de fuik, de opstelplaatsen en andere ligplaatsen, de vaarruimte en veiligheidsstroken een plaats moeten krijgen. De voorhaven geeft een vlote en veilig bevaarbare toegang tot de sluis en is voorzien van beschutte ligplaatsen. De aansluiting van de voorhavens aan de rest van de vaarweg hangt voornamelijk af van de situatie ter plaatse. In principe zijn twee niveaus van inpassing te onderscheiden:

1. het dimensioneren en inrichten van de voorhavens, wat leidt tot de lay-out van het sluiscomplex;
2. het aansluiten van de voorhavens aan de vaarweg, wat leidt tot de overall-inpassing van het sluiscomplex.

De lay-out en de overall-inpassing zijn sterk bepalend voor de vlotheid en veiligheid van de scheepvaartafwikkeling. De twee inpassingsniveaus zijn in de praktijk niet echt te scheiden. Moeilijkheden bij de overall-inpassing leiden er vaak toe dat onderdelen van de lay-out moeten worden aangepast. Het maken van de lay-out in samenhang met de omgeving is daarom een iteratief proces, met inbreng van deskundigen uit verschillende disciplines.

Als het ontwerp gemaakt wordt voor een *geheel nieuwe sluis*, in een situatie zonder ruimtelijke beperkingen, zal bij voorkeur onverkort aan de eisen ten aanzien van afmetingen, nautiek, morfologie, spuien etc. worden voldaan.

Als een sluiscomplex wordt aangepast door er een *extra schutkolk* bij te bouwen, moet de totale lay-out opnieuw, als een geïntegreerd geheel, ontworpen worden. Dat wil niet zeggen dat beslist alles vernieuwd moet worden, maar wel dat het functioneren van de oude en nieuwe onderdelen van het complex niet apart kan worden beoordeeld.

Bij ontwerpen voor *aanpassingen van de voorhavenuitrusting* bij bestaande sluizen, passen de aanwezige remmingwerken etc. vaak niet meer bij het nieuwe verkeersbeeld. Voor de nieuwe prognose van de verkeersbelasting is veelal een verkeersstudie nodig om de benodigde lengte aan remmingwerken vast te stellen.

Bij een *lage verkeersbelasting* kan men veelal volstaan met lagere eisen ten aanzien van nautische factoren zoals veiligheid, vlotheid en comfort. Dit vanwege het feit dat de beperkingen door het weinige verkeer nauwelijks worden gevoeld en geen aanleiding geven tot onveiligheid. Bovendien is het economisch belang niet groot genoeg om dure ingrepen te rechtvaardigen.

Dit hoofdstuk is als volgt opgebouwd. Eerst worden enkele voorbeelden van tegenstrijdige eisen beschreven die het maken van keuzes in de lay-out en de inpassing in z'n omgeving bemoeilijken (par. 5.2). Het samenstellen van de lay-out van de voorhavens komt aan bod in par. 5.3. Daarbij zijn voor gewone binnenvaartsluizen vrij concrete richtlijnen beschikbaar, maar voor zeesluizen en recreatievaartsluizen blijven de richtlijnen globaal. Enkele mogelijkheden worden behandeld om de lay-out aan te passen als de voor het sluiscomplex beschikbare ruimte te klein is. Verder wordt aangegeven hoe spuidelen geïntegreerd moeten worden in de lay-out. Bij de overall-inpassing (par. 5.4) is naast het ruimte-

beslag vooral de aansluiting van de voorhavens aan de vaarweg bepalend. Ten slotte worden in par. 5.5 enkele praktijkvoorbeelden gegeven waarin de integratie van diverse eisen en inpassingsniveaus naar voren komen.

5.2 Tegenstrijdigheid van de eisen

In het programma van eisen zullen eisen omtrent de lay-out en de overall-inpassing van het sluiscomplex voorkomen die meestal tegenstrijdig zijn. Het belang en de invloed van elk van deze eisen moeten tegen elkaar afgewogen worden. In deze paragraaf wordt een aantal van deze tegenstrijdige eisen beschreven. Oplossingen worden niet gegeven, alleen de afweging van belangen wordt geschetst.

Morfologie < > manoeuvreren

In voorhavens langs rivieren met sedimenthoudend water kan sedimentatie optreden door de lage stroomsnelheden in de voorhavens. Dit is om twee redenen bezwaarlijk: het onderhouds-baggerwerk is kostbaar, en tijdens de uitvoering van het baggerwerk zijn de baggerwerktuigen hinderlijk voor de scheepvaart. Voor het beperken van de sedimentatie is een nauwe voorhavenmond gewenst. Voor de scheepvaart is echter een brede voorhavenmond gewenst, vooral als er bovendien een hinderlijke stroom staat.

Veiligheid < > pompen/spuien langs de sluis

Het kan nodig zijn om water langs de sluis te voeren voor de waterhuishouding of om schutwaterverliezen te compenseren. Door het spuien of pompen kan zowel boven als beneden de sluis een dwarsstroom ontstaan die hinderlijk is voor de scheepvaart. Een oplossing met een omleidingskanaal vergt meer ruimte, maar het kost minder moeite om hinder voor de scheepvaart te beperken dan de oplossing met een spuirool dat geïntegreerd is in de sluis.

Golfoordringing < > manoeuvreren

Bij voorhavens van sluizen aan open water dringen soms hinderlijke windgolven binnen terwijl voorhavens aan een drukke vaarweg vaak last hebben van binnenlopende scheepsgolven. Men zal de havenmond dan zo smal mogelijk maken en/of deze een zodanige oriëntatie geven dat golven nauwelijks meer binnendringen. Vaak heeft dat tot gevolg dat de scheepvaartroute één of meer bochten krijgt en moeten de optimale breedte en oriëntatie van de havenmond met een aparte nautisch/hydraulische studie worden bepaald.

Golfopwekking < > manoeuvreren

In ruime voorhavens bestaat de neiging om snel te varen. Hierdoor kunnen golven ontstaan die in de voorhaven worden opgewekt zoals scheepvaartgolven of windgolven die hinder opleveren voor gemeerd liggende schepen.

Vlotheid < > waterschaarste

Ter beperking van de schutwaterverliezen kan men in perioden van waterschaarste besluiten tot maatregelen om per schutting zo veel mogelijk schepen tegelijk te schutten. Het aantal schuttingen, en daarmee het waterverbruik, neemt dan af. Door deze maatregelen nemen echter de gemiddelde passeertijd en -kosten voor de scheepvaart toe. Omdat de perioden van waterschaarste meestal kort duren, hoeft het bezwaar voor de scheepvaart gemiddeld over het jaar niet groot te zijn. Wel zal men meer (eenvoudige) wachtplaatsen in de voorhaven moeten aanbrengen.

Verder is het mogelijk om het schutwaterverlies te beperken door het water terug te pompen. Hierbij moeten de kosten van het gemaal, de energie en de mogelijk extra wachttijd voor schepen als gevolg van het pompen worden beschouwd. Ook kunnen spaarbekkens toegepast worden zoals bij de oude schutsluis van Panheel (foto 5.2) waarbij tevens een gemaal aanwezig is.

Vlotheid < > beperken zoutdoordringing

Schutsystemen die zoutindringing beogen tegen te gaan, werken over het algemeen vertragend op het schutten, omdat er bij deze systemen naar gestreefd wordt het zoute en het zoete water zo min mogelijk te vermengen (Hoofdstuk 21). Om die reden moet de waterbeweging door vul- en ledigingsstromingen, varende schepen en schroefstralen, zo rustig mogelijk zijn. Deze eis vertraagt zowel het varen als het nivelleren. Om de vereiste schutcapaciteit te halen, zal in principe een grotere sluis nodig zijn die op zijn beurt het zoutbezwaar weer laat toenemen.

Ruimtebeslag < > beperken zoutdoordringing

Sommige zoutbestrijdingssystemen zoals een luchtbellenscherm, vergen nauwelijks extra ruimte en hebben daardoor weinig invloed op de lay-out, maar ze zijn beperkt effectief. Systemen die effectiever zijn, vergen veel ruimte en bepalen daarmee sterk de lay-out en soms zelfs de locatiekeuze. (foto 5.3, Kreekraksluizen, systeem buiten werking)

Nautisch optimum < > beschikbare financiën

Gewoonlijk wordt de ontwerper om financiële redenen gedwongen te zoeken naar mogelijke besparingen, met behoud van de vlotheid en veiligheid van de scheepvaart. Soms kan een nautisch niet-optimale oplossing geaccepteerd worden, bijvoorbeeld als de bezwaren zich slechts incidenteel voordoen.

Beschikbaarheid van de grond < > optimaal benodigde ruimte

Als de benodigde grond voor het sluiscomplex niet geheel beschikbaar of te verwerven is, zal het ontwerp moeten worden aangepast aan de mogelijkheden binnen de beschikbare ruimte (zie par. 5.5).

Bij grondaankoop kan men te maken krijgen met vervuilde grond en bijgevolg met grote hoge kosten. Dit kan voldoende aanleiding zijn om een overigens gunstige oplossing toch niet uit te voeren.

Bij de inpassing van het sluiscomplex kan het gebeuren dat eisen gesteld worden aan de afstand tot bestaande bebouwing, met het oog op veiligheid, geluid, trillingen en dergelijke.

5.3 Dimensionering en indeling van de voorhavens

5.3.1 Inleiding

Ter inleiding worden de in Hoofdstuk 2 geformuleerde eisen voor de lay-out van de voorhavens kort samengevat:

- het sluiscomplex moet condities scheppen voor een vlotte en veilige passage, inclusief de verkeersafwikkeling in de voorhavens;
- daartoe moeten de voorhaveningang en de voorhaven zelf voldoende ruim en goed georiënteerd zijn;
- de voorhaven moet ligplaatsen bieden zowel voor het schutten als voor eventueel andere functies;
- de ligplaatsen moeten veilig zijn in verband met passerende schepen, golven, stroom en eventueel ijs.

De lay-out eisen betreffen vooral de voorhaven; voor de sluiscolk is de lay-out vanzelfsprekend een rechthoek met deuren aan beide zijden (en eventueel een tussenhoofd). De voorhaven moet liefst recht in het verlengde van de sluis-as liggen en, zo mogelijk, over de gehele lengte recht zijn. Als dat laatste niet mogelijk is, moet de in-/uitvaarstrook (zie verder) als het ware van een bochtverbreding worden voorzien.

De indeling van de voorhaven kan op een systematische wijze worden ontwikkeld door (bijvoorbeeld) eerst een indeling in de breedte te maken en vervolgens de benodigde lengte in te delen. Aparte aandacht vergt de lay-out bij spuien langs de schutsluis. Onderscheid wordt gemaakt in de bekende drie categorieën sluizen, te weten voor binnenvaart, voor zeevaart en voor recreatievaart. Voor binnenvaartsluizen en sluizen voor de recreatievaart zijn door de cvb richtlijnen opgesteld (lit. [5.2]) die hierna kort worden samengevat en op enkele punten nader uitgewerkt en aangevuld.

5.3.2 Indeling in de breedte voor binnenvaartsluizen

Voorhaven met één kolk

Bij het maken van een indeling voor de breedte van de voorhaven wordt de strokenindeling volgens de cvb richtlijnen voor de minimumsluis uitgewerkt (zie fig. 4.18).

De opstelplaats en eventuele wachtplaatsen zijn voor invarende schepen aan de stuurboordzijde gesitueerd. Dat past bij het gebruikelijke verkeersbeeld (bij ontmoeten uitwijken naar stuurboord), zodat de situatie geen aanleiding geeft tot ongewenste kruisende koersen.

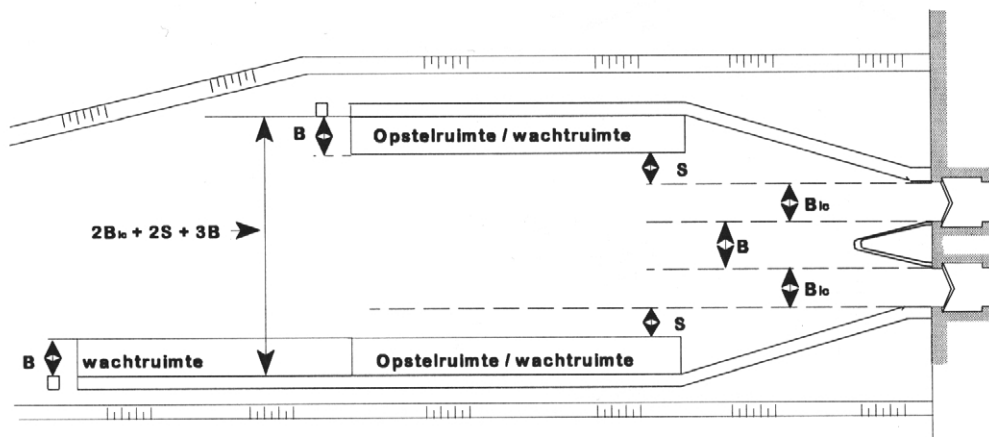
De breedte van de opstelplaats is minimaal gelijk aan de breedte van het maatgevende schip. In veel gevallen wordt hiervoor ook de breedte van de schutcolk genomen. De opstelplaats is breed (en lang) genoeg voor één kolkvulling. De in-/uitvaarstrook bestaat uit de breedte van de schutcolk (bij de minimumsluis dus nauwelijks breder dan het maatgevende schip) plus veiligheidsstroken aan weerszijden. Deze veiligheidsstroken zijn gereserveerd om te voorkomen dat uitvarende schepen te dicht bij de schepen op de opstelplaats of bij de oever komen. De cvb adviseert concrete waarden voor de verschillende stroken als functie van de scheepsklasse (zie tabel in par. 4.7.1.3).

De breedte van de voorhaven volgt uit sommatie van de breedtes van opstelplaats, in-/uitvaarstrook en veiligheidsstroken.

Een capaciteitssluis is vaak zo breed dat in de kolk twee kleinere schepen of het maatgevende schip met een klein schip naast elkaar kunnen liggen. Krijgt dan de opstelruimte dezelfde afmetingen als de schutcolk, dan zullen de schepen in de opstelruimte naast elkaar moeten vastmaken. Dat zullen schippers liever vermijden. Als de voorhaven voldoende lang is, kan de opstelplaats langer en smaller worden, maar ook kunnen bij gebrek aan beschikbare voorhavenlengte, aan de tegenoverliggende remming opstelplaatsen worden ingericht.

Als bij een sluis naast opstelplaatsen ook wachtplaatsen nodig zijn, kunnen die ook aan de andere zijde, tegenover de opstelplaats, gesitueerd worden. Het situeren van opstel- of wachtplaatsen aan de verkeerde zijde is echter bij sluizen met één kolk minder gewenst aangezien het aanleiding geeft tot kruisende koersen met de schepen die de sluis uitvaren.

Voorhaven met twee kolken



Figuur 5.1 Voorhaven van een sluizencomplex met twee identieke sluizen (Uit: CVB, Lit. [5.2])

De cvb richtlijnen bevatten een indeling voor een sluiscomplex met twee kolken (zie fig. 5.1). Dit is een voorbeeld waarbij aan beide zijden opstelplaatsen (en eventueel ook wachtplaatsen) zijn aangegeven. Het principe van alle ligplaatsen aan stuurboordzijde is verlaten zodat hier kruisend verkeer zal optreden. Zie ook foto 5.2 (Schutsluizen Panheel).

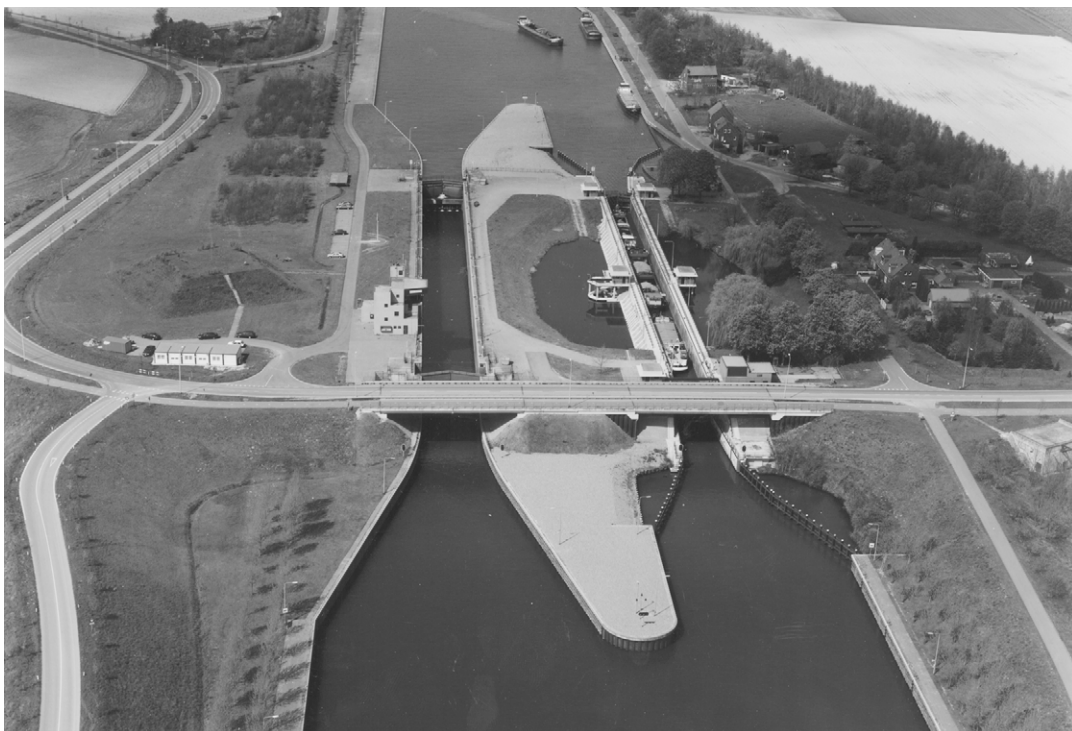


Foto 5.2 Layout van sluiscomplex te Panheel met nieuwe sluis met woelkelder (links) en oude sluis met spaarbekens (rechts) als aansluiting van Kanaal Wessem-Nederweert aan de Maas

Voor de voorhaven-indeling speelt de breedte van het sluiseland een rol. Als het sluiseland breed is, bijvoorbeeld meer dan twee maal de kolkbreedte en de voorhaven eigenlijk te kort is voor de vereiste wacht- en opstelplaatsen, kan in de as van het sluiseland een remmingwerk geplaatst worden dat aan beide zijden als opstelplaats kan dienen.

Als het sluseiland - om wat voor reden dan ook - smal is en beide sluiscolken staan aan dezelfde zijde open, kan het voorkomen dat schepen bij het in-/uitvaren in elkaars vaarwater komen. Een veilige afstand tussen hun vaarstroken is er dan niet. De beide kolken worden in verkeerstechnische zin afhankelijk, waardoor de capaciteit afneemt. De vraag of dit een ernstig bezwaar is zal samenhangen met het verkeersaanbod, de vlootsamenstelling en de grootte van de schepen (eventueel sleepbootgebruik) in relatie tot de kolk grootte. Onderstaand schema geeft een overzicht van de gradaties van afhankelijkheid:

Schepen varende uit verschillende kolken in dezelfde voorhaven			
	2 grote schepen	groot en klein schip	2 kleine schepen
kolken op kleine afstand	sterk afhankelijk	matig afhankelijk	niet afhankelijk
kolken op grote afstand	matig afhankelijk	niet afhankelijk	niet afhankelijk

Een voorbeeld van een zeer smal sluseiland vindt men bij de Krabbersgatsluizen bij Enkhuizen (Paragraaf 5.5.3). Daar zijn om de kosten van de sluis-tunnelcombinatie te beperken, de beide kolken op de (constructief) minimale afstand van elkaar gelegd.

Om afhankelijkheid te vermijden moet het sluseiland zeker niet smaller zijn dan de breedte van het maatgevende schip.

In breedte verlopende voorhaven

Als de ruimte het toelaat is het aantrekkelijk om het begin van de voorhaven (dus bij de mond) extra breed te maken en vervolgens naar de sluis toe de beide oevers onder een hoek van 1:10 ten opzichte van de sluis-as te laten convergeren tot bij het begin van de fuik de breedte volgens de cvb richtlijnen wordt bereikt (Foto 5.3, Kreekraksluizen). Dit heeft als voordeel dat schepen die op enige afstand van de sluis afgemeerd liggen minder last ondervinden van de waterbeweging van passerende schepen. Dit is van belang omdat op grotere afstand van de sluis zowel invarende als uitvarende schepen gemiddeld sneller varen dan dicht bij de sluis. Door de haven te verbreden wordt de hinder verminderd. Dicht bij de sluis is de extra breedte niet nodig. Deze oplossing is ook aantrekkelijk in situaties waar het invaren van de voorhaven bemoeilijkt wordt door bijvoorbeeld stroom of golven, omdat de extra breedte in de vrije ruimte gelegenheid biedt om zo nodig de koers na een matige invaarmanoeuvre te corrigeren.



Foto 5.3 Layout van Kreekraksluizen in de Schelde-Rijnverbinding

5.3.3 Indeling in de lengte voor binnenvaartsluizen

De indeling wordt gemaakt door, uitgaande van de buitenzijde van het sluishoofd, achtereenvolgens te situeren (zie fig. 4.18 en par. 4.7.1): de fuik, opstel- en wachtplaatsen en de vrije ruimte.

- **Fuik**
De lengte van de fuik met geleidewerken wordt bepaald door de hoek ten opzichte van de sluisas en de breedte van de opstelplaats met de naastliggende veiligheidsstrook. De hoek bedraagt normaal 1:6 maar mag ook 1:4 bedragen als gebruik van de boegschroef regel is. Tussen sluishoofd en fuik wordt, wanneer het geleidewerk lager is dan het sluishoofd, aanbevolen een recht, ca. 3 m lang geleidewerk aan te brengen. Voor CEMT-klasse Va wordt voor de minimumsluis de fuik met een gekromd deel op het sluishoofd aangesloten terwijl voor klasse Vb deze voorkeur altijd geldt (zie par. 4.7.1.4).
- **Opstelplaatsen**
De lengte van opstelplaatsen hangt af van de lengte en de breedte van de schutkolk. De cvb adviseert de opstelruimte tot 30% langer te maken dan de nuttige lengte van de schutkolk. Dat is gunstig voor de snelheid van aanleggen en ontmeren, want als de opstelplaats wat langer is dan de schutkolk, hebben de schepen op de opstelplaats meer tussenruimte bij het aanleggen (zie par. 4.7.1.5).
- **Wachtplaatsen**
Als er wachtplaatsen nodig zijn worden die bij voorkeur aansluitend aan de opstelplaatsen gesitueerd. De benodigde lengte voor de wachtplaatsen wordt bepaald door middel van een verkeersstudie (zie par. 4.7.1.5).
- **Vrije ruimte**
De vrije ruimte (lengte) die in de cvb richtlijnen wordt gedefinieerd als de ruimte die de schipper nodig heeft als overgang tussen de gewone vaart op de vaarweg en het manoeuvreren in de voorhaven. Die overgang houdt in: vaart minderen ('afstoppen') en eventueel een invaarmanoeuvre corrigeren. De vrije ruimte ligt tussen de wachtplaatsen en de voorhavenmond. De afmetingen van de vrije ruimte hangen af van verschillende factoren (zie par 4.7.1.2).

De lengte van de voorhaven wordt bepaald door sommatie van de vier genoemde lengtes. Het bovenstaande is gebaseerd op sluizen met slechts één categorie van schepen (gewone beroepsvaart). Vaak moeten extra voorzieningen getroffen worden voor de combinatie met recreatievaart (zie par. 5.3.6). Voor kegelschepen moet een aparte ligplaats worden ingericht aangezien deze bepaalde afstanden tot andere schepen moeten aanhouden (zie par. 4.7.1.5). Omdat deze schepen relatief weinig voorkomen is het meestal voldoende één ligplaats te bieden die als opstel- en als wachtplaats kan dienen. Het is aanvaardbaar deze ligplaats op wat grotere afstand van de sluis te situeren.

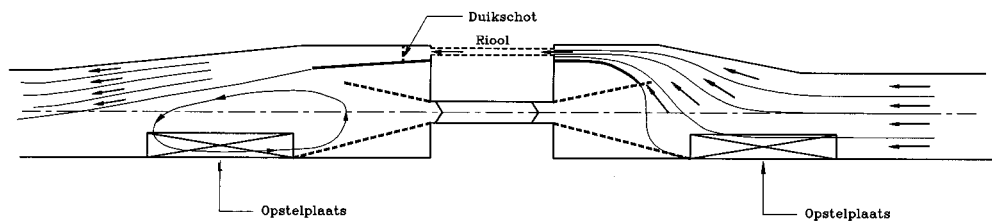
5.3.4 Indeling bij spuien langs binnenvaartsluizen

De lay-out van het sluiscomplex wordt beïnvloed door de grootte van het spuidebiet op het moment dat nog scheepvaartverkeer is toegestaan. De oplossingen worden gepresenteerd in volgorde van oplopend debiet. Opgemerkt wordt dat in de regel een hydraulische en een nautische expert ingeschakeld moeten worden voor een goed ontwerp.

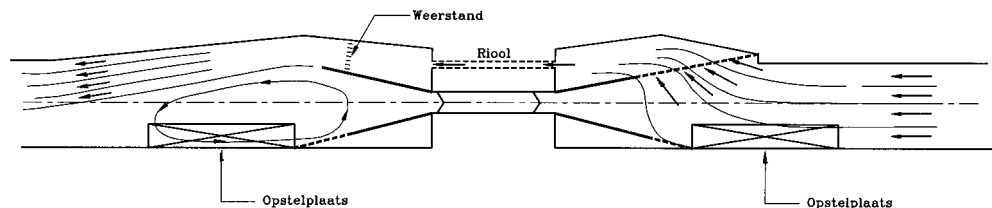
Spuien door de schutsluis

Het spuien door deuropeningen (of riolen) van een schutsluis kan plaatsvinden buiten de bedieningstijden van de sluis om, of als er geen scheepvaartverkeer is. Dit spuien is dus alleen mogelijk als spuionderbrekingen geen bezwaar opleveren. Gespuid wordt door de bovendeuren (of bovenriolen) waarbij de schutsluis als woelbak dient terwijl de benedendeuren openstaan. De stroming uit de kolk zal in de benedenvoorhaven gaan meanderen door de grote breedte van de voorhaven en verderop aan een oever gaan aanliggen. Als het regelmatig voorkomt dat tijdens het spuien ook schepen in de benedenvoorhaven liggen, is het aan te raden de betreffende opstel-/wachtruimtes verder van de sluis te leggen dan gebruikelijk.

Eenzijdig spuimiddel



Figuur 5.2 Eenzijdig spuimiddel met open fuiken



Figuur 5.3 Eenzijdig spuimiddel met gesloten fuiken

Om onafhankelijk van het scheepvaartverkeer te kunnen spuien, worden bij een beperkt spuidebiet in een vaarweg met een schutsluis, vaak één of meerdere riolen eenzijdig naast de schutsluis gelegd. De in- en uitstroming van het riool (of riolen) moeten zoveel mogelijk buiten de vaarbaan en de opstel-/wachtplaatsen gehouden worden. Voor de slusingang zelf mag geen stroming staan. Het water stroomt door het riool onder natuurlijk verval of door middel van een gemaal.

De opstel-/wachtplaatsen worden zowel bij de in- als de uitstroomzijde aan de kanaaloever gelegd die tegenover het riool ligt. De rioolmonden worden zo diep mogelijk en zo dicht als kan bij de kanaaloever geplaatst in de vleugelwanden van de sluis, en zo ver mogelijk van de vaarbaan. De voorwaarde is dat bij de opstel-/wachtplaatsen niet te veel stroom meer is.

Over het jaar gezien variëren spuidebieten (of aanvoerdebieten) meestal sterk: in de incidenteel voorkomende natte (of juist droge) perioden zijn de debieten hoog, de rest van de tijd gering. Wanneer geëist wordt dat het scheepvaartverkeer ook in tijden van grotere debieten door moet kunnen gaan, kan niet volstaan worden met een riool zonder voorzieningen. De rioolmonden moeten dan uitgebreid worden met aparte, open toe- en afvoerkanaal langs de kanaaloever (zie fig. 5.2 en 5.3). Deze toe- en afvoerkanaal worden tot stand gebracht door een vrijstaand damwandscherm aan te sluiten op de vleugelwand van de sluis.

Het punt van instroming van het aanvoerkanaal ligt op een afstand van minimaal een halve tot een hele scheepslengte van de slusingang. Het vrijstaande damwandscherm kan uitgevoerd worden met een gebogen, naar de rioolmond toe convergerende vorm en ligt buiten het gebied waar de schepen kunnen komen. De remmingwerken van de fuik zijn geheel open (fig. 5.2). Een alternatief hiervoor is dat het vrijstaande damwandscherm deel uitmaakt van een fuikpoot waarbij deze fuikpoot verlengd wordt tot de kanaaloever en deze verlenging alleen bij de bodem open is (fig. 5.3). (Opm. Deze verlenging kan bijvoorbeeld uitgevoerd worden als open remmingwerk met in het water stekende schorten met daaronder een bodemspleet.). De andere fuikpoot heeft dezelfde lengte maar is geheel dicht.

Het water dat vanuit het aanvoerpand naar het punt van instroming toegaat, stroomt alzijdig, dus ook vrijwel dwars op de vaarbaan. Nabij het punt van instroming staat in het kanaal een dwarsstroom die ongeveer gelijk is aan die van de langsstroomsnelheid in het aanvoerpand. Wanneer deze laatste hoger is dan de toelaatbare dwarssnelheid (bijvoorbeeld 0,30 m/s) levert dit nautisch gezien problemen op. Vlak voor het punt waar het water het instroompunt bereikt, nemen de stroomsnelheden verder toe. Dit moet buiten het gebied van het vaarwater blijven.

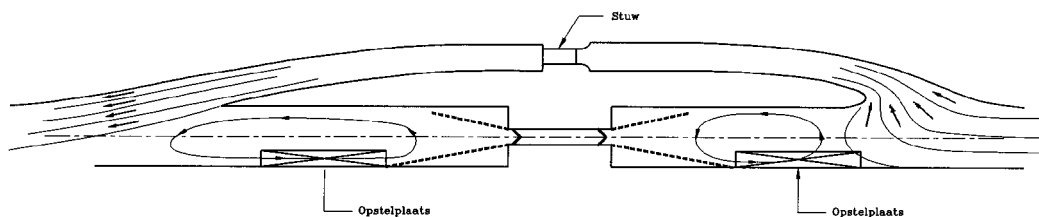
Het punt van uitstroming ligt ook tussen een halve en een hele scheepslengte voorbij de slusingang tegen de kanaaloeverwand aan. De constructie bestaat uit een vrijstaand damwandscherm. Dit scherm kan dicht langs de oeverwand staan in combinatie met een open fuikconstructie (fig. 5.2) of weer onderdeel uitmaken van een fuikpoot (fig. 5.3) waarbij de andere fuikpoot op identieke wijze wordt uitgevoerd. Door gebruikmaking van een debietspreidende constructie (diffuser, palenscherm, duikschot, drempel en dergelijke) achter de riooluitmonding wordt bereikt dat op het punt van uitstroming de stroomsnelheid afgenomen is tot minder dan 0,9 m/s.

Het uitstromende water wordt langs de kanaaloever geleid. Door een zo vloeiend mogelijk verloop wordt gezorgd dat de stroming de kanaaloever zo lang mogelijk volgt. In benedenstroomse richting nemen de stroomsnelheden verder af tot een punt waar de snelheden laag zijn en de stroming de kanaaloever los laat en verder het kanaal opgaat. Net voorbij het punt van uitstroming wordt een neer aangedreven die in de voorhaven circuleert en stroomsnelheden geeft van ca. 1/3 deel van de hoofdstroom. Bij een hoofdstroom van 1 m/s geeft dit dus een snelheid in de neer van ca. 0,30 m/s. Dit is als dwarsstroomsnelheid voor de slusingang en bij de ligplaatsen iets meer dan toelaatbaar.

Tweezijdig spuumiddel

Bij grotere debieten is aan beide zijden van de schutsluis een spuumiddel in de vorm van een of meerdere riolen nodig. De toe- en afvoerkanalen worden nu aan beide kanaaloevers op geheel gelijke wijze uitgevoerd als bij het eenzijdige spuumiddel (fig. 5.2 en 5.3). Door steeds te zorgen voor een zo symmetrisch mogelijke stromingssituatie met aan weerszijden een identiek spuumiddel, worden grote dwarsstroomsnelheden voorkomen. De opstel-/wachtruimtes van beide voorhavens worden schuin tegenover elkaar geplaatst zoals in de situatie zonder stroming. De opstel-/wachtruimte aan de zijde van het afvoerkanaal zal echter verder naar achter geplaatst moeten worden, bijvoorbeeld op twee scheepslengten afstand vanaf de slusingang, vanwege de directe hinder van de spuistroom.

Open omloopkanaal



Figuur 5.4 Open omloopkanaal om schutsluis

Als het debiet zo groot is dat geen voldoende lage stroomsnelheden kunnen worden verkregen, is een oplossing met een open omloopkanaal nodig om het stromende water om de schutsluis heen te leiden (fig. 5.4). In het omloopkanaal bevindt zich een spuisluis, stuw of gemaal. De punten waar het water uit het kanaal onttrokken en weer geloosd wordt, bevinden zich voorbij de einden van de opstel- en eventuele wachtplaatsen. Beide opstel-/wachtruimtes in de voorhavens bevinden zich aan één zijde en wel aan de zijde tegenover de open waterloop.

De hoek tussen de vaarweg en het aanvoerkanal ligt bijvoorbeeld tussen 20° en 45°. Hierbij moet gezorgd worden voor voldoende grote afrondingsstralen voor de bochten (met name de binnenbocht bij het middeneiland) om een versnellende stroom in het omloopkanaal te verkrijgen en een te sterke dwarsstroming op de vaarweg te voorkomen.

De hoek tussen afvoerkanal en vaarweg mag niet te groot zijn (bijvoorbeeld minder dan 20°) terwijl de afrondingsstraal van de bocht aansluitend op het kanaal groot genomen moet worden om de spuistroom zo lang mogelijk te laten aanliggen aan dezelfde kanaaloever. Het afvoerkanal heeft een enigszins divergerend verloop voor afname van de stroomsnelheid.

Scheepvaartomleiding

Wanneer er sprake is van een nog groter debiet (bijvoorbeeld Haringvlietsluizen, sluizen Afsluitdijk) wordt de scheepvaart om het spuumiddel heen geleid, net zoals bij een schutsluis naast een stuw in een

rivier. In deze scheepvaartomleiding ligt de schutsluis (Zie foto 5.4, Nieuwe Statenzijl). De af- en aantakking van de scheepvaartomleiding vindt onder flauwe hoeken plaats met het oog op veilig in- en uitvaren ondanks de dwarsstroom. De afrondingsstraal aan de bovenstroomse zijde van het middeneiland moet voldoende groot zijn voor de goede toestroming naar de spuisluis. De opstel-/wachtruimtes moeten geheel binnen de scheepvaartomleiding liggen.



Foto 5.4 Layout van sluiscomplex te Nieuwe Statenzijl met schutsluis (links) en spuisluis (rechts)

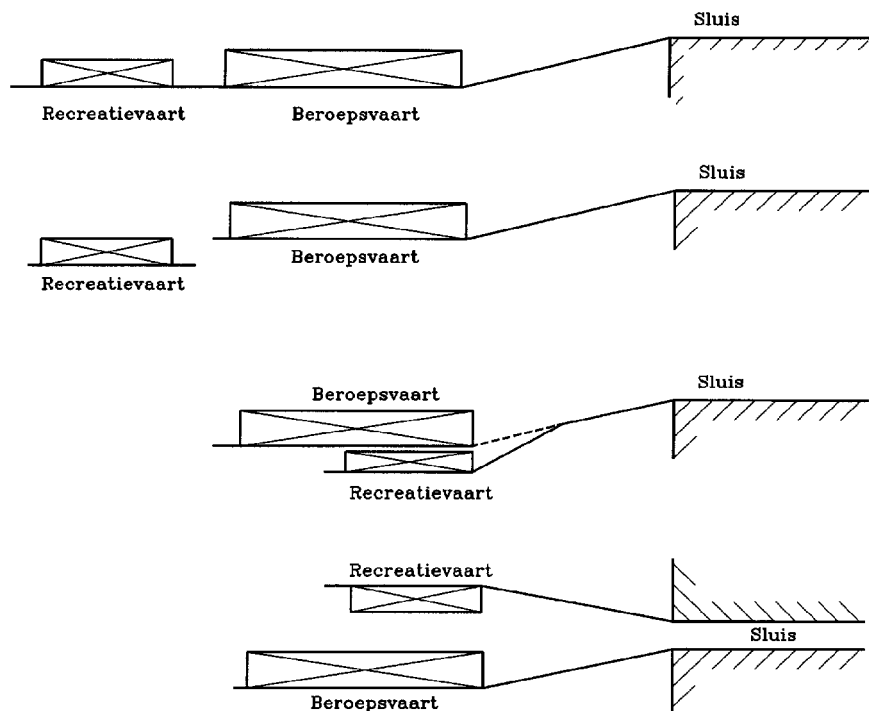
5.3.5 Indeling voor recreatievaart

Hiervoor kunnen de richtlijnen van de cvb (lit. [5.2]) gevolgd worden. De afmetingen van de verschillende onderdelen zijn behandeld in par. 4.7.1. In principe is de lay-out dezelfde als voor de binnenvaart, maar de hoek van de fuikpoten is nu 1:3. Bij een drukke sluis (bijvoorbeeld meer dan 2.000 passages per jaar) wordt een tweezijdige opstel-/wachtruimte aanbevolen, die wisselend als opstel- en wachtruimte kunnen dienen.

5.3.6 Indeling bij combinatie van beroepsvaart en recreatievaart

Bij sluizen met zowel recreatievaart als beroepsvaart is het voor de veiligheid van de recreatievaart gewenst dat voor deze categorie schepen aparte ligplaatsen worden ingericht. De plaatselijke omstandigheden zijn in de regel bepalend voor hoe de recreatievaart een veilige ligplaats geboden kan worden. Soms kan gebruik worden gemaakt van het feit dat de diepgang van recreatievaartuigen gering is, zodat de ligplaats voor de recreatievaart dicht bij een talud gelegd kan worden. Wel moet rekening worden gehouden met golfbeweging door beroepsvaart door middel van voldoende kielspeling. Eerst vaart de beroepsvaart de sluis in, daarna volgen de recreatievaartuigen. De volgende oplossingen voor de opstel-/wachtplaatsen voor de recreatievaart kunnen worden onderscheiden (zie fig. 5.5):

- 1 in het verlengde van en op enige afstand van de opstel-/wachtplaatsen van de beroepsvaart (voorbeeld sluizen te Heel, par. 5.5.2);
- 2 iets terugliggend van en op enige afstand van de opstel-/wachtplaatsen van de beroepsvaart (voorbeeld sluizen te Lith, par. 5.5.3);
- 3 achter de opstelplaatsen van de beroepsvaart in een aparte "box" (voorbeeld Krabbersgatsluizen, par. 5.5.4, oude Oranjesluizen, foto 5.5);
- 4 aan de tegenoverliggende zijde van de opstelplaatsen van de beroepsvaart.



Figuur 5.5 Opstel-/wachtplaatsen bij combinatie van beroeps- en recreatievaart

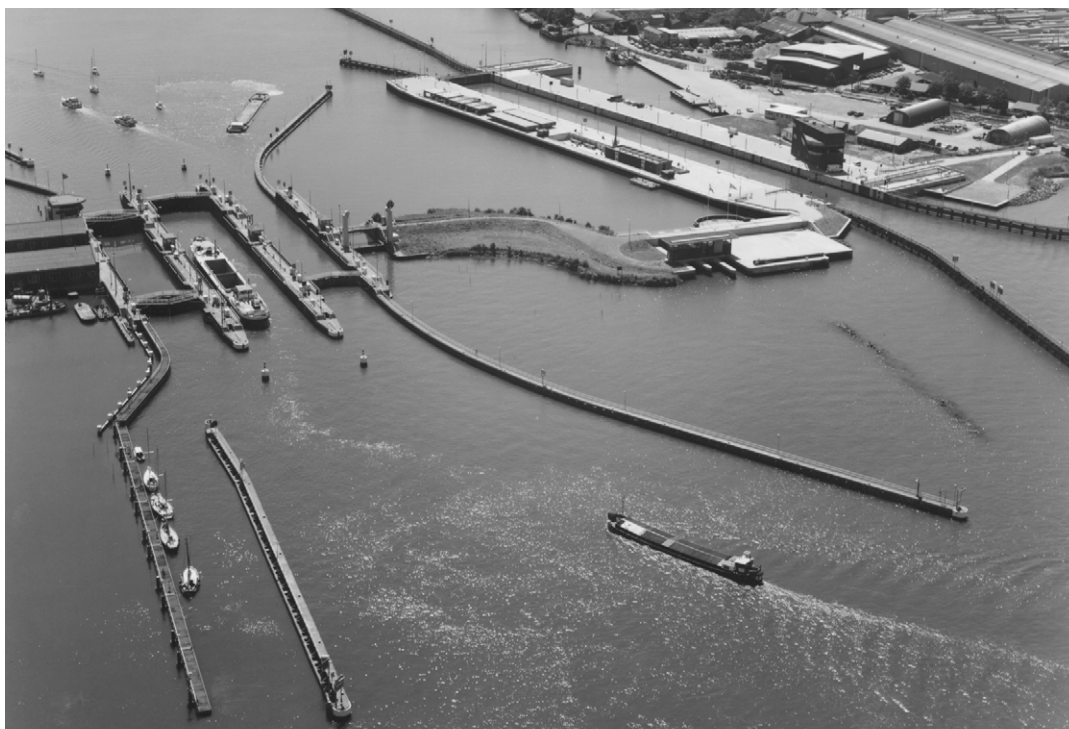


Foto 5.5 Layout van Oranjesluiscomplex te Amsterdam met (v.l.n.r.) 3 schutsluizen, spuisluizen en duwvaartsluis

De grootte van de opstelplaats voor de recreatievaart komt bijvoorbeeld overeen met die van de horizontale afmetingen van de kolk of is kleiner wanneer de recreatievaart maar een onderdeel is van het aantal passerende schepen. De oplossingen 1 en 2 hebben het nadeel dat de ligplaatsen ver van de sluis liggen. Dit kan de sluiscapaciteit negatief beïnvloeden. Oplossing 3 en in mindere mate de oplossing 2 hebben het voordeel dat de ligplaatsen voor de recreatievaart onbereikbaar zijn voor de beroepsvaart.

De motor-/zeiljachten liggen dus veilig. Oplossing 4 heeft het nadeel dat de recreatievaartuigen de uitvarende schepen in principe kunnen kruisen hoewel de recreatievaartuigen pas mogen wegvaren nadat de beroepsvaart de sluis is ingevaren. De technisch beste oplossing is de derde met aparte boxen als er veel recreatievaart is en voldoende ruimte aanwezig is. Uiteraard dienen de kosten ook bij de keuze meegewogen te worden.

5.3.7 Indeling voor zeevaart

Bij de grote zeevaartsluizen dient de voorhaven alleen als manoeuvreerruimte omdat ligplaatsen niet nodig zijn (zie par. 4.7.1). De lay-out en de afmetingen worden dan ook vrijwel uitsluitend bepaald door de eis dat er voldoende ruimte moet zijn om binnen te komen vanaf onbeschut water met stroom, wind en/of golven, vaart te minderen en te manoeuvreren, al dan niet met sleepboothulp. In vrijwel alle gevallen is daartoe een nautisch onderzoek aan te bevelen.

5.3.8 Mogelijke maatregelen bij ruimtegebrek

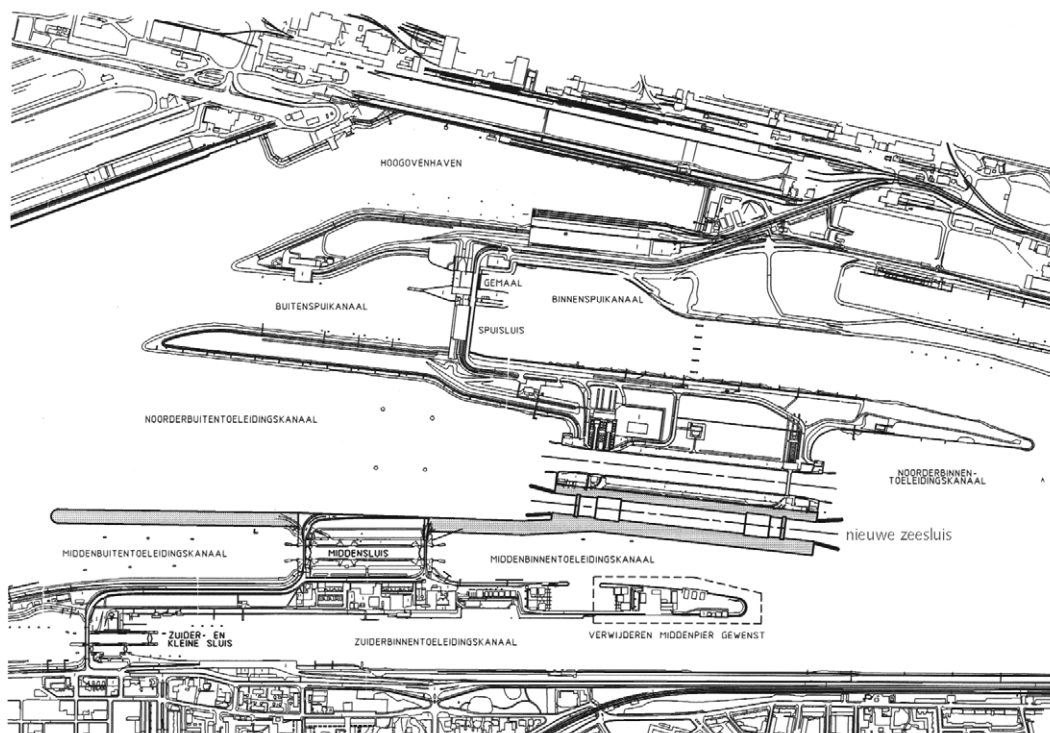
Ruimtelijke beperkingen kunnen het gevolg zijn van bijvoorbeeld bestaande bebouwing of belangrijke natuurwaarden. Als de omgeving veel ruimtelijke beperkingen oplegt, kan dat de lay-out sterk beïnvloeden. Hieronder worden enkele voorbeelden van mogelijke maatregelen gegeven.

Aanpassingen bij gebrek aan lengte voor de voorhavens

Wanneer er te weinig ruimte is om de voorhaven zijn nautisch optimale lengte te geven, wordt het invaren moeilijker (men moet langzamer invaren, of sneller afstoppen).

Het is mogelijk de voorhaven net iets langer te maken door de sluis uit te voeren met een zodanig deurtype dat het sluishoofd kort kan blijven. De extra kosten voor een ander deurtype moeten worden afgewogen tegen de verkregen meerdere lengte voor de voorhaven. Hefdeuren, roldeuren en enkele draaideuren op de kop van de sluis geven kortere hoofden - en dus kortere sluisen - dan puntdeuren en enkele draaideuren met deurkas.

Als de sluis te lang is doordat er een brug over een van de hoofden is gesitueerd, kan men overwegen de wegkruising te verplaatsen tot buiten de voorhavens.



Figuur 5.6 Buitenvoorhaven IJmuiden met één van de mogelijke locaties van de nieuwe zeesluis

Als in de voorhaven te weinig lengte beschikbaar is voor de wachtplaatsen, kan overwogen worden de sluis breder te maken waardoor de sluiscapaciteit toeneemt en de benodigde wachtruimte afneemt. Dit is het geval geweest bij de 2e Sluis Lith. Ruimtegebrek leidde dus tot een grotere sluis.

Aanpassingen bij gebrek aan breedte voor de voorhavens

Als de ruimte te smal is voor een nautisch optimale voorhaven, kan soms een smallere (oftewel minder veilige) voorhaven geaccepteerd worden, op voorwaarde dat extra veiligheidsvoorzieningen of een verkeersregeling worden ingesteld.

Wanneer een nieuwe sluis in een bestaand sluiscomplex gebouwd moet worden, zal bij gebrek aan breedte de nieuwe schutkolk dicht naast de andere kolk worden gelegd. Een voorbeeld is een van de varianten voor de nieuwe zeesluis te IJmuiden naast de bestaande Noordersluis waar de beschikbare totale breedte krap is (zie fig. 5.6). In plaats van een voor deze sluisen gebruikelijk deurtype als de roldeur, moet een ander deurtype gekozen worden. Verder wordt de onderlinge afstand van de kolken zo klein dat grote schepen met het oog op de veiligheid en de benodigde fysieke ruimte (schip plus sleepboten) bij het in- en uitvaren op elkaar zullen moeten wachten. In verkeerstechnische zin zijn de kolken dan afhankelijk waardoor de capaciteit per kolk kan teruglopen (par. 5.3.2).

5.3.9 Invloed van andere functies op de lay-out

Voorhavens van sluisen worden vaak gebruikt om te rusten of te overnachten en soms dienen ze ook als vluchthaven of dwanghaven (zie par. 4.8).

Rust-/overnachtingsplaatsen

De belangrijkste eis voor een rust-/overnachtingsplaats is, dat schepen er veilig en - in principe - ongestoord kunnen rusten. Een overnachtingsplaats beschikt in elk geval over een (te voet begaanbare) verbinding met de oever. (Zie foto 5.6, schutsluizen te Hansweert en foto 5.8, Volkeraksluizen)

In par. 4.8.1 is uiteengezet hoe de benodigde lengte aan ligplaatsen voor rusten/overnachten kan worden bepaald. Hoewel als gevolg van de Vaartijdenwet ook overdag rustplaatsen nodig zijn, worden ze over het algemeen meer 's nachts dan overdag gebruikt. Daardoor kunnen sommige ligplaatsen overdag als opstel-/wachtplaats dienen, terwijl ze 's nachts als rust-/overnachtingsplaats bestemd zijn.

Voor de lay-out betekent dit dat de rustplaatsen meestal in het verlengde van de opstel- en/of wachtplaatsen worden gesitueerd. Daarbij moet er op gelet worden dat passerende schepen op die plaats niet te veel hinderlijke waterbeweging veroorzaken. Vooral als de voorhaven smal is, zal het sluispersoneel op vaarsnelheid en passeerafstand moeten toezien.



Foto 5.6 Layout van twee duwvaartsluizen te Hansweert In Kanaal door Zuid Beveland

Vluchtligplaatsen

Een vluchthaven en ook vluchtligplaatsen in voorhavens moeten schepen onder extreme omstandigheden een veilige ligplaats bieden (par. 4.8.2). De vereiste veiligheid stelt bijzondere eisen aan de situering van de ligplaatsen: onder extreme omstandigheden nog goed bereikbaar en bovendien beschut gelegen. Voor vluchtplaatsen in de voorhaven zullen deze eisen meestal niet de hoogste prioriteit bij de lay-out krijgen. Toch zal men door aanpassing van de vormgeving van het complex, inclusief dammen etc., veilige hydraulische condities trachten te creëren. Als bijvoorbeeld hinder door windgolven te verwachten is, moet de havenmond en de plaats van de ligplaatsen daarop worden aangepast.

In par 4.8.2 zijn overwegingen over de benodigde ligplaatscapaciteit voor de vluchtfunctie gegeven. De gewone opstel- en wachtplaatsen kunnen in de regel gebruikt worden als vluchtligplaats mits ze onder extreme omstandigheden voldoende beschut liggen en bereikbaar blijven. Het komt er op neer dat dan meestal geen extra aanlegplaatsen nodig zijn zodat de invloed op de lay-out nihil is.

5.4 Aansluiting van de voorhavens

Bij de overall-inpassing gaat het om de aansluiting van de sluis met voorhavens op het vaarwater aan beide zijden. Voor de aansluiting van de voorhaven maakt het veel uit of de mond aan stilstaand dan wel aan stromend water ligt, of eventueel aan open water. De verschillende gevallen worden apart beschreven.

5.4.1 Aansluiting aan stroomloos water

Sluis tussen twee kanaalpanden

Bij een aansluiting van een sluis aan een kanaalpand kunnen de schippers het laatste deel van het kanaal benutten om vaart te verminderen en naar de opstel-/wachtplaats manoeuvreren. Er is dan geen aparte vrije ruimte nodig, afgezien van een overgangslengte om het verschil in breedte tussen kanaal en voorhaven onder circa 1:10 te overbruggen, zodat schepen vanuit het kanaal ook de eerste (verst van de sluis gelegen) ligplaats gemakkelijk kunnen bereiken.

Verder mogen de kanaaldelen aansluitend aan de voorhaven geen krappe bochten hebben. Als het kanaal zelf niet recht is, zal men tenminste moeten proberen het sluiscomplex inclusief de voorhavens geheel recht te houden.

Om hinder van translatiegolven bij de sluisingang en in de sluis tegen te gaan, wordt de voorhaven tot aan de sluis breed gehouden, dus niet convergerend. De geleidewerken van de fuik horen dan ook open te zijn constructies in plaats van gesloten damwanden.

Sluis als zijtak aan doorgaand vaarwater

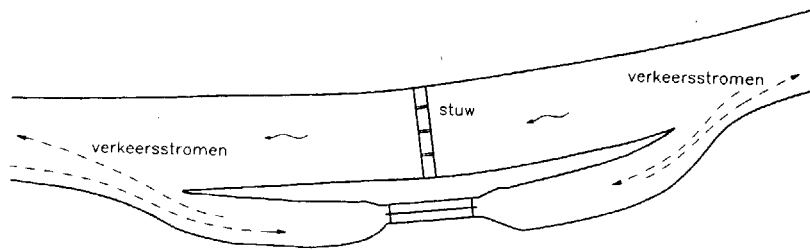
In dit geval is de voorhaven met sluis beschouwd als nevenvaarwater ten opzichte van de doorgaande vaarweg. Het in- en uitvaren wordt soms bemoeilijkt door het feit dat de scheepvaart op het hoofdvaarwater voorrang heeft. De optimale hoek van de aansluiting hangt af van de plaatselijke situatie en van de vraag hoe de belangrijkste verkeersstromen lopen die van de sluis gebruik maken. Bij het in- en uitvaren van de voorhaven heeft men soms beperkt uitzicht en moet een (scherpe) bocht gevaren worden. De golven die door de scheepvaart op het hoofdvaarwater worden opgewekt kunnen in de voorhaven veel hinder veroorzaken, vooral bij een ongunstige vorm en aansluithoek van de voorhaven. Met golven worden zowel de lange, primaire golf (boeggolf, waterspiegeldaling naast het varende schip en hekgolf) als de korte, secundaire golven bedoeld. Bij een convergerende vorm en steile oevers van de voorhaven of een fuik, voorzien van dichte (dam)wanden, zullen de golven naar de sluis toe hoger worden. Ongunstige nautische condities moeten dan ook zo goed mogelijk ondervangen worden door een geschikte vormgeving van de voorhaven. Enkele mogelijkheden zijn:

- Golven worden zoveel mogelijk buiten de voorhaven gehouden door de ingang zo nauw te maken als nautisch aanvaardbaar is, zowel qua breedte als waterdiepte van de ingang. De voorhaven direct na de ingang moet dan wel breed zijn om ondanks de nauwe mond toch veilig te kunnen in- en uitvaren.
- De voorhaven wordt tot aan de sluis breed en diep gehouden om de invloed van de primaire golfbeweging vanuit het hoofdvaarwater dat merkbaar is als “zuiging” in de voorhaven, te beperken (o.m. geen dichte fuiken).
- De voorhaven wordt zo haaks mogelijk op het hoofdvaarwater aangesloten om de schuin invallende, korte golven minder de voorhaven binnen te laten dringen. Verder wordt de voorhaven zo mogelijk voorzien van golfdempende taluds om de korte golven te dempen.
- Zorgen voor ongehinderd uitzicht (zichtlijnen volgens cvb).
- Opstel- en wachtplaatsen zo situeren dat ze zo min mogelijk door dwars invallende golven getroffen worden.

5.4.2 Aansluiting aan stromend water

De aansluiting van sluisvoorhavens aan stromend water (een rivier) legt vergaande eisen op aan het voorhaven-ontwerp.

Aansluiting van een schutsluis langs een stuw in de rivier



Figuur 5.7 Sluizencomplex te Lith

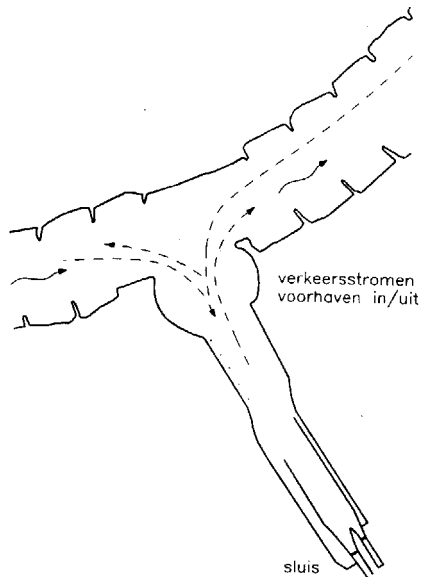
De aansluiting met een scherpe hoek betreft meestal een schutsluiscomplex naast een stuw in de rivier. Voorbeelden zijn de sluizen in de Maas (fig. 5.7, sluizen te Lith en foto 5.7, sluizen te Sambeek) en de Rijn. De voorhavens worden vanuit één richting binnengevaren. De bovenvoorhaven moet langer zijn dan de benedenvoorhaven omdat de schepen in het eerste geval stroomafwaarts varend binnenkomen en daardoor een hogere invaarsnelheid hebben.



Foto 5.7 Layout van sluiscomplex te Sambeek aan de Maas met stuw (links) en 3 schutsluizen

Er zijn ook voorbeelden van scherpe aansluitingen bij sluizen die de verbinding vormen tussen een rivier en een kanaal, bijvoorbeeld sluis St. Andries en sluis Engelen bij Den Bosch. Hier heeft men gekozen voor een niet-haakse aansluiting mede omdat een dwarse invaart door de stroom te moeilijk was. De aansluiting is ontworpen om alleen van de benedenstroomse zijde (opvarend) te worden binnengevaren. Schepen die van de bovenstroomse kant komen (afvarend) moeten eerst op de rivier rond gaan (opdraaien) voor ze kunnen binnenvaren. Deze oplossing is dus alleen aanvaardbaar als de rivier daarvoor breed genoeg is en het scheepvaartverkeer niet te druk.

Aansluiting ongeveer dwars op de rivier georiënteerd



Figuur 5.8 Aansluiting ongeveer dwars op de rivier

Deze aansluiting van een kanaalpand op een rivier is bedoeld om zowel afvarend (dat wil zeggen vanaf de bovenstroomse zijde) als opvarend binnen te varen. Voorbeelden zijn sluizen bij Tiel (Amsterdam-Rijnkanaal, fig. 5.8), Zwolle (Zwolle-IJsselkanaal) en Eefde (Twenthekanaal). Bij deze voorbeelden is de mond breed en zijn achter de mond halfcirkelvormige verbredingen aangebracht. Dankzij deze vorm draait in de voorhaven, juist binnen de mond, een grote neer die aangedreven wordt door de stroming in de rivier. De stroomsnelheid in de rivier voor de havenmond mag niet te hoog zijn om nog veilig te kunnen in- en uitvaren. Als de stroomsnelheid in de rivier erg hoog is (bijvoorbeeld meer dan 2 m/s) en de haven heeft een breedte van minder dan een scheepslengte kan zo'n dwarse aansluiting niet veilig worden binnengevaren, ook niet vanaf de benedenstroomse zijde. Dan moet een oplossing met een scherpe hoek worden gekozen (zie boven).

Sedimentatie versus nautische eisen

Als een voorhaven aansluit op sedimenthoudend stromend water is er grote kans dat er sediment in de haven neerslaat. Om binnendringen van sediment tegen te gaan is een nauwe voorhavenmond gewenst. De geometrie van de aansluiting inclusief de mond luistert heel nauw: kleine veranderingen in de mond kunnen de sedimentatie sterk beïnvloeden.

Een nauwe mond is echter ongunstig voor de scheepvaart, zeker als er stroom staat die de invaart bemoeilijkt. Hinderlijke stroom kan zijn: sterke stroom mee, sterke dwarsstroom (of onder een andere ongunstige hoek), een in de tijd veranderend stroombeeld, plotselinge veranderingen in dwarsstroom (gradiënt, langs de baan van het schip). Voor de toelaatbare dwarsstroom en dwarsstroom-gradiënt bij de mond van de voorhaven kunnen geen algemeen geldende, kwantitatieve normen gegeven worden. Een goede schatting wordt verkregen door te vergelijken met bestaande situaties die qua lay-out, stroom en maatgevend schip ongeveer overeenkomen met de ontworpen situatie.

De combinatie van een nauwe havenmond met langstreckende stroom vereist dat relatief snel gevaren wordt. Dat is echter alleen toelaatbaar als daarvoor binnen de voorhavenmond voldoende ruimte (breedte en lengte) beschikbaar is om veilig vaart te minderen en eventueel de manoeuvre te corrigeren. Als die ruimte er niet is moet de havenmond breder gemaakt worden, wat inhoudt dat meer sedimentatie zal optreden.

De optimalisatie van het voorhavenontwerp voor de hierboven geschetste nautisch-morfologische afweging vergt een gecombineerde nautisch/hydraulisch/morfologische studie (voorbeeld Tweede Sluis te Lith, lit. [5.3]).

Nautische aanbevelingen

Uit nautische overwegingen kunnen geen concrete richtlijnen voor afmetingen en vormgeving van de voorhaven worden afgeleid, omdat die door een groot aantal factoren worden bepaald: stroomcondities, manoeuvreer-eigenschappen van de vloot, verkeersregeling, breedte van de mond/kanaal etc. Wel kunnen aanbevelingen worden gedaan. Voor de scheepvaart is het gunstig als:

- de invaart volgens een vloeiende lijn kan plaatsvinden, dus zonder scherpe bochten; een invaart met bocht en tegenbocht is erg bezwaarlijk;
- voor de voorhavenmond de dwarsstroomsnelheid niet te hoog en de stroomgradiënt niet te sterk is;

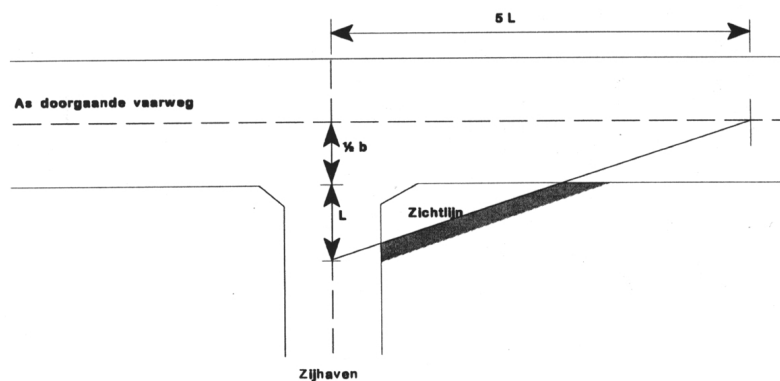
- de voorhaven breed is om een eventueel matige manoeuvre te kunnen corrigeren, ook als er schepen afgemeerd liggen en om tijdens het afstoppen veilig een uitvarend schip te kunnen ontmoeten;
- de voorhaven lang is om rustig vaart te kunnen minderen;
- de situatie zowel vanaf de rivier als vanuit de voorhaven goed te overzien is, zowel overdag als 's nachts;
- de taluds van oevers en damkoppen bij de voorhavenmond steil of verticaal zijn, zodat men er dicht langs kan varen, en ze goed zichtbaar zijn, zowel overdag als 's nachts;
- de voorhaven diep is omdat dit minder hinder geeft van scheepsgolven en de manoeuvreerbaarheid vergroot;
- de voorhaven flauwe stortsteen-taluds heeft omdat dat zowel scheeps- als windgolven dempt.

Opmerking:

De nautisch gewenste steile oevers in de havenmond staan bloot aan sterke hydraulische belastingen als de schepen er dicht langs varen. Daarmee moet rekening worden gehouden bij het ontwerp van de betreffende oeverbescherming.

Uitzicht

Met het oog op het zicht bij de voorhavenmond kan in principe de richtlijn gebruikt worden die de CVB heeft opgesteld voor de haakse aansluiting van zijhavens aan een vaarweg met geen of weinig stroom (zie fig. 5.9). Bij sterke stroom echter zal men aan de stroomopwaartse zijde, zowel voor het invaren als voor het uitvaren, meer uitzicht moeten eisen dan de richtlijn geeft. Dit komt omdat de stroom de snelheid van schepen uit bovenstroomse richting verhoogt. Zo zal een invarend schip een flink deel van de voorhaven moeten kunnen overzien omdat hij met relatief hoge snelheid naar binnen vaart. Voor de situatie dat de aansluiting schuin is, zijn geen kwantitatieve richtlijnen beschikbaar. Een kwalitatieve richtlijn is, dat elke schipper het vaarwater geheel moet kunnen overzien over een zodanige afstand dat hij tijdig kan uitwijken of stoppen. Het is duidelijk dat deze eis met gedegen praktische kennis van zaken moet worden gehanteerd.

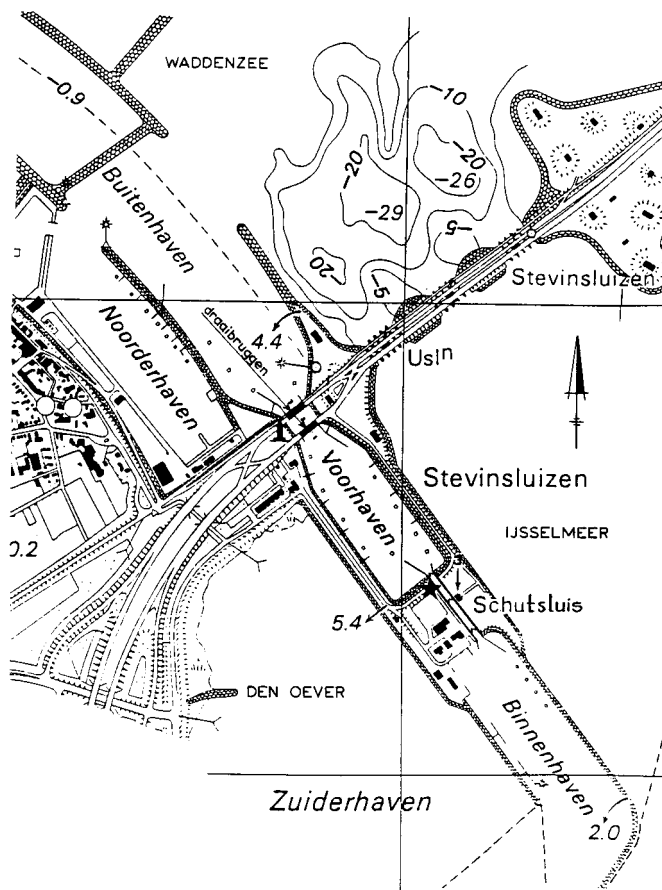


Figuur 5.9 Zichtlijn (Uit: CVB, Lit. [5.2])

5.4.3 Aansluiting aan water met golfhinder

Golven in een voorhaven kunnen worden veroorzaakt zowel door de overige scheepvaart (voorhaven aan drukke vaarweg) als door wind (voorhaven aan open water). Zowel invarende als afgemeerde schepen kunnen daar last van ondervinden.

Als een schip, voor en tijdens het binnenlopen van de voorhaven last heeft van golven zal het vaak proberen de hinder te beperken door sneller te varen. Dat vereist een ruime voorhaven met een brede voorhavenmond. Deze brede voorhavenmond kan echter veel golfdoordringing veroorzaken.



Figuur 5.10 Voorhavens Kornwerderzand

Het binnendringen in de voorhaven van golven van buitenaf kan vaak met succes bestreden worden door de havenmond niet alleen smaller te maken maar ook anders te oriënteren (als de ruimte dat toelaat) of een golfdempende strekdam voor de mond aan te leggen.

Een voorbeeld van een andere oriëntatie is de zuidelijke voorhaven van Kornwerderzand (fig. 5.10) die op het zuidoosten is georiënteerd omdat vanuit die richting de strijklengte (wind, golven) veel kleiner is dan vanuit de richting waar de meeste scheepvaart vandaan komt, namelijk het zuid-zuidwesten. Het gevolg is wel dat de scheepvaartroute bochtiger wordt. In dergelijke gevallen zullen de optimale breedte en oriëntatie van de havenmond met een aparte nautisch-hydraulische studie moeten worden bepaald.

Bij de Volkeraksluizen (foto 5.8) zijn zowel voor de duwvaartsluizen als de jachtensluis geleidedammen aangebracht ter beperking van de golfdoordringing in de voorhavens.

Golfhinder, vooral bij de opstelplaatsen, wordt bevorderd als een voorhaven naar de slusingang toe steeds nauwer wordt, omdat door de vernauwing de binnenlopende golven steeds hoger worden. Als het binnendringen van golven niet afdoende kan worden voorkomen, kan de hinder nog gereduceerd worden door de haven van golfdempende taluds te voorzien. Die zijn vooral effectief tegen relatief korte golven en zijn daarom aan te bevelen in alle havens waar varende schepen hinderlijke golven opwekken.



Foto 5.8 Layout van sluiscomplex Volkerak met (v.l.n.r.) jachtensluis, spuisluis en drie duwvaartsluizen als verbinding van Volkerak (onder) met Haringvliet (boven)

5.5 Voorbeelden

5.5.1 Inleiding

De voorgaande hoofdstukken en paragrafen bevatten richtlijnen en methoden voor het bepalen van de hoofdafmetingen van een schutsluis en voorhavens en voor de lay-out, met het oog op de verschillende functies van het complex.

Het ontwerpen van de lay-out van de sluis met de voorhavens is een proces van overleg en interactie van diverse deskundigen. De belangrijkste disciplines in het ontwerpteam zijn:

- verkeerskunde
- nautiek
- hydraulica, morfologie
- constructieve waterbouw
- staal- en werktuigbouw
- elektrotechniek
- natuurbeheer
- kostencalculatie
- planningsdeskundigheid

Om een beeld te geven waar zo'n ontwerp voor de voorhavens in de praktijk toe leidt worden in de volgende paragrafen de lay-outs en de overall-inpassing van de voorhavens van drie sluiscomplexen toegelicht. Het eerste voorbeeld in par. 5.5.2 betreft het bestaande sluiscomplex te Heel in de Maasroute waarbij de remmingwerken zijn vernieuwd en aangepast aan het veranderde scheepvaartverkeer en bijgestelde prognoses voor de toekomst, zonder de voorhavenvorm aan te passen. Het tweede voorbeeld is het sluiscomplex Lith (par. 5.5.3) waar door de bouw van een tweede sluis de voorhavens uitgebreid, ingericht en opnieuw aangesloten moesten worden. Het derde voorbeeld zijn de nieuwe Krabbersgatsluizen (par. 5.5.4) waar ook geheel nieuwe voorhavens voor ingericht zijn.

5.5.2 Sluiscomplex te Heel



Foto 5.9 Layout van sluiscomplex te Heel (links) en Linne (rechts) aan de Maas

Bij het bestaande sluiscomplex Heel zijn de voorhavens opnieuw ingericht met nieuwe remmingwerken (lit. [5.4] en [5.5]). Het sluiscomplex bestaat uit twee kolken (Westsluis en Oostsluis) en kan worden beschouwd als hoogbelast. Dat komt in de lay-out tot uitdrukking door de aanwezigheid van veel wachtplaatslengte voor de overliggers (schepen die niet met de eerstvolgende schutting meekunnen). Het sluiseland is smal waardoor in het verlengde er geen ruimte is voor ligplaatsen. Wel is het sluiseland aan beide zijden verlengd met een smalle kofferdam voor het scheiden van het verkeer van de beide sluizen. De ligplaatsen bevinden zich voor de bovenvoorhaven (aansluiting Maas) en benedenvoorhaven (aansluiting Lateraal Kanaal), aan de westzijde en aan de oostzijde van de voorhavens. Fig. 5.11 toont de lay-out van de oude en de nieuwe, gerenoveerde situatie waarbij de oude lay-out in dunne lijnen en de nieuwe lay-out in dikke lijnen is weergegeven. De nieuwe situatie (foto 5.9) is gebaseerd op de toekomstige behoefte. Ter toelichting wordt de volgende informatie gegeven:

Voorhavenbreedte

De beschikbare breedte van de voorhavens is vergroot door de nieuwe remmingwerken dicht bij de (ongewijzigde) oevers te plaatsen. De benedenvoorhaven heeft een constante breedte en bij de bovenvoorhaven neemt de breedte naar de rivier toe (divergerende vorm).

Fuiken

Bij de benedenvoorhaven is de fuik 110 m lang (code G) en 1:6 gemaakt. Door de divergerende vorm van de bovenvoorhaven is de opstelruimte op enige afstand van de sluis relatief breed zodat de 1:6 fuik aan deze zijde slechts 90 m lang hoeft te zijn (code E).

Opstelplaatsen

Beide sluizen hebben elk in de boven- en benedenvoorhaven een opstelplaats. De vier opstelplaatsen voor de beroepsvaart (code D) zijn elk 170 m lang. Dit is 1,3 x de kolk lengte van 132 m.

Aan de westzijde van de bovenvoorhaven is aansluitend op de opstelplaats, 245 m wachtplaats voor de gewone beroepsvaart ingericht (code C). Voor de benedenvoorhaven is de behoefte aan wachtplaatsen gering, zodat hier geen aparte wachtplaatsen gemaakt zijn.

Kegelligplaatsen

Er zijn aparte kegelligplaatsen van 110 m lengte (code A) zowel aan de westzijde van de boven- en benedenvoorhaven ingericht op 100 m afstand van de dichtstbijzijnde ligplaatsen van andere schepen.

Recreatie opstel-/wachtplaatsen

Voor de recreatievaart zijn twee opstel-/wachtplaatsen van 50 m lengte (code F) ingericht. Deze bevinden zich op 30 m afstand van de opstelplaats voor de beroepsvaart aan de oostzijde van de bovenvoorhaven en aan de westzijde van de benedenvoorhaven. Deze wacht-/opstelplaatsen liggen dus op grote afstand van de kolk. De bolders zijn gedimensioneerd op de beroepsvaart aangezien in de praktijk deze wachtplaatsen zeer frequent als overnachtingsplaats gebruikt worden door geladen vrachtschepen.

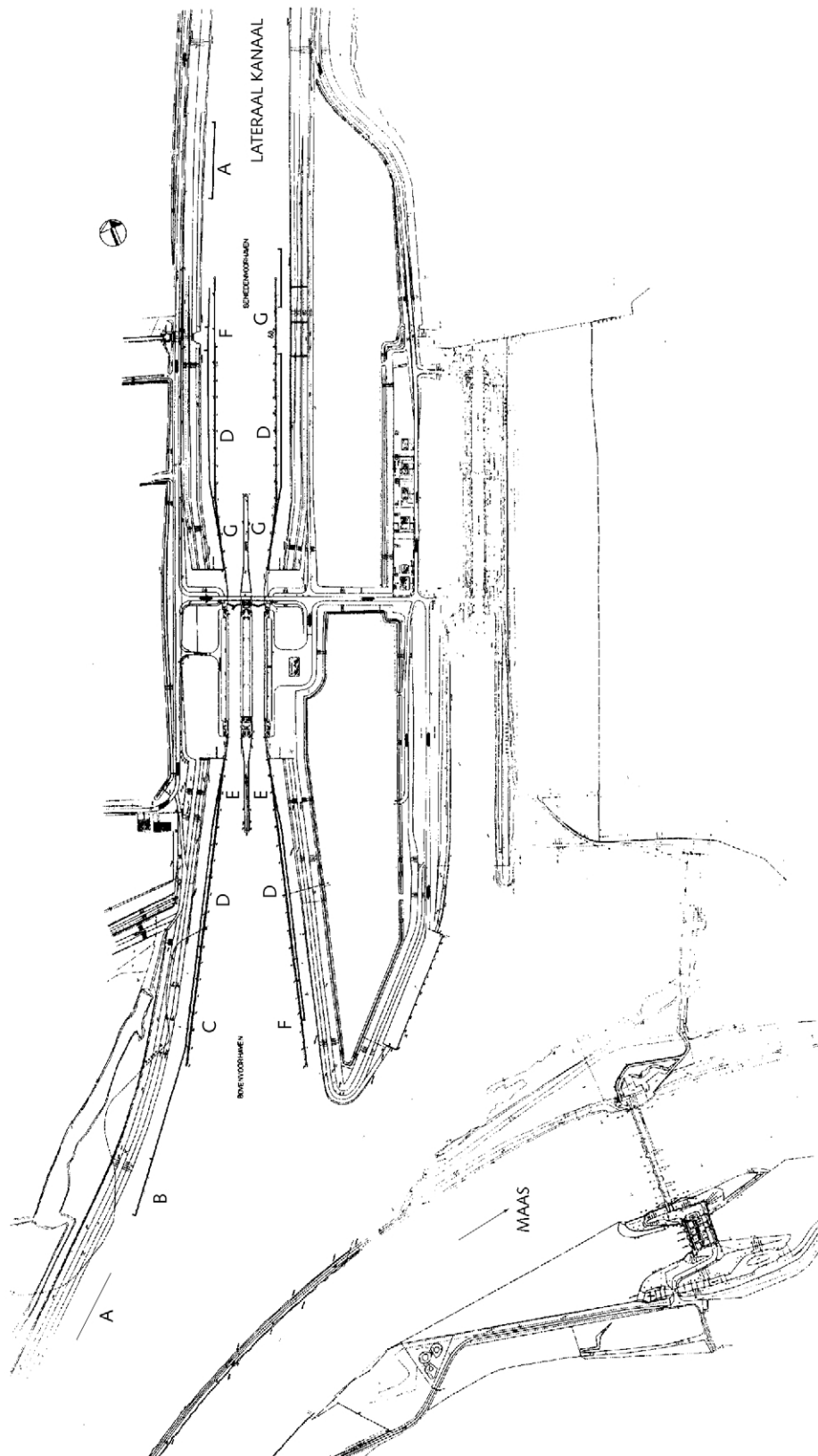
Overnachtingsplaatsen

De overnachtingsplaatsen vallen grotendeels samen met de opstelplaatsen aan de oostzijde (voorbeeld van dubbelfunctie). De bedoeling was dat de oostkolk 's nachts buiten dienst bleef zodat de overnachtingsplaatsen rustig zijn. In de praktijk blijkt echter dat beide sluizen ook 's nachts in bedrijf zijn.

De tachograaf-gebruikers die dus ook overdag moeten kunnen rusten, hebben een overnachtingsplaats op grotere afstand van de sluis gekregen. Aan de oostzijde van de benedenvoorhaven is een 75 m lange overnachtingsplaats (code B) aangebracht op 60 m afstand van de dichtstbijzijnde ligplaatsen van de andere schepen. Verder is er een 80 m lange overnachtingsplaats voor de dagvaart ingericht aan de westzijde van de benedenvoorhaven als combinatie met de recreatie wacht-/opstelplaats (dubbelfunctie), dus op grote afstand van de Westsluis. De remming is gedimensioneerd op de beroepsvaart.

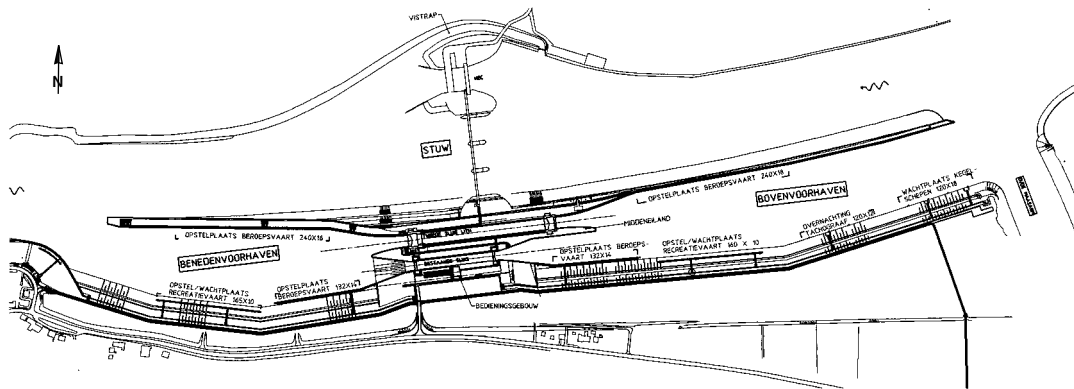
Vluchtligplaatsen

Hiervoor zijn geen bijzondere voorzieningen getroffen; de voorhavens voldoen in de gerenoveerde situatie al aan de te stellen eisen.



Figuur 5.11 Voorhavens sluiscomplex te Heel/Wachtplaatsen

5.5.3 Sluiscomplex te Lith



Figuur 5.12 Voorhavens sluiscomplex te Lith

Algemeen

Als onderdeel van de verbeteringen van de Maasroute is de schutcapaciteit van het sluis- en stuwcomplex Lith vergroot door de aanleg van een tweede schutsluis (lit. [5.6]). Deze nieuwe schutsluis is geschikt voor tweebaksduwvaart, heeft nuttige kolkafmetingen van 18 x 200 m², een minimale drempeeldiepte van 4,70 m en is geplaatst tussen de stuw en de oude schutsluis. De tussenruimte tussen de oude en de nieuwe schutsluis is slechts ca. 30 m. De voorhavens zijn geheel verruimd en opnieuw ingericht en de aansluitingen van de voorhavens aan de Maas zijn aangepast.

Lay-out voorhavens

Uitgangspunt voor de nieuwe voorhavens is dat de bestaande lengte van voorhavens niet uitgebreid mocht worden wegens bestaande claims op terreinen. De bovenvoorhaven (oostzijde) is met een lengte van ca. 800 m langer dan de benedenvoorhaven (westzijde) die een lengte heeft van ca. 500 m. De bovenvoorhaven is langer omdat de stoplengte van de afvarende schepen door hun grotere vaarsnelheid groter is dan van opvarende schepen.

De voorhavens zijn aan de noordzijde verbreed door het grootste deel van de oude scheidsdammen tussen Maas en voorhavens aan de voorhavenzijde weg te halen en uit te voeren met damwanden in plaats van taluds. Ook de zuidzijde van beide voorhavens is verruimd doordat de oeverlijn met taluds een stuk naar achteren is verlegd (zie fig. 5.12).

Om zoveel mogelijk lengte voor de opstel- en wachtruimtes in de benedenvoorhaven te realiseren, verlopen de fuiken onder 1:4. Aan de bovenstroomse zijde zijn deze hoeken hetzelfde. De fuiken zijn uitgevoerd als dichte (damwand)constructies. Het middeneiland tussen oude en nieuwe sluis heeft afgeronde koppen.

De nieuwe, tweede sluis is uitsluitend bestemd voor de beroepsvaart. Voor de tweede sluis zijn aan de noordelijke oevers van de voorhavens opstelplaatsen gemaakt van 240 m lengte (1,2 x kolk lengte) en 18 m breedte (gelijk aan de kolk breedte). De schepen liggen hier tegen beklede damwanden. De bodem is ter plaatse beschermd met stortsteen. Achter de bovenstroomse opstelplaats is nog enige ruimte om een wachtplaats in te richten maar hier is vanafgezien mede vanwege de moeilijke bereikbaarheid voor schepen die met de stroom mee binnenvaren. Aan de benedenstroomse zijde is alle beschikbare ruimte voor wachtplaatsen benut.

De oude sluis is bestemd voor zowel beroeps- als recreatievaart. Aan de zuidelijke oevers van de voorhavens zijn ligplaatsen met drijvende remmingwerken aangelegd. Aansluitend aan de fuik zijn opstelplaatsen voor de beroepsvaart gemaakt met een lengte van 132 m (1,2 x nuttige kolk lengte van 110 m) en een breedte van 14 m (is kolk breedte). Op een (langs)afstand van 30 m van de opstelplaatsen van de beroepsvaart en ca. 10 m dichterbij de oever zijn opstel-/wachtplaatsen voor de recreatievaart gemaakt met een lengte van 160 m. In de bovenstroomse voorhaven, op enige afstand van de wacht-

plaatsen voor de recreatievaart, zijn een overnachtingsplaats van 120 x 12 m² voor tachograafschepen en een wachtplaats van 120 x 18 m² voor kegelschepen gemaakt. Wanneer in de toekomst een tekort aan wachtruimte ontstaat, kan in de bovenstroomse voorhaven de tachochraaf/overnachtingsplaats vervangen worden door een wachtplaats voor de beroepsvaart. In de benedenstroomse voorhaven kan achter de opstel-/wachtruimte voor de recreatievaart nog een wachtplaats gecreëerd worden. In de benedenstroomse voorhaven was geen ruimte meer beschikbaar voor een wachtplaats van een kegelingschip, daarom is deze wachtplaats buiten de haven aan de noordoever van de Maas aangelegd.

Overall-inpassing

Voor de voorhavenmonden is een gecombineerd hydraulisch, morfologisch en nautisch modelonderzoek uitgevoerd. Dit met het oog op het beperken van de sedimentatie in de voorhaven en het veilig en vlot kunnen varen vanuit de voorhavens naar de Maas of andersom.

Voor de bovenstroomse voorhavenmond is aan beide zijden van de mond gebruik gemaakt van damwanden die voor de scheepvaart een betere oriëntatie geven en minder veiligheidsbreedte vereisen dan taluds. De mond heeft een zodanige breedte en oriëntatie dat de schepen vlot en veilig vanuit de Maas naar de voorhaven en andersom kunnen varen. Sedimenttoevoer naar de voorhaven is tegengegaan door de lengte waarover de uitwisseling van het stromende, sedimenthoudende water in de rivier met het langzaam circulerende water in de voorhaven plaatsvindt, klein te houden en door de snelheidsverschillen op dit grensvlak beperkt te houden. Hiertoe is de breedte van de mond (oftewel de lengte van het grensvlak met uitwisseling) verkleind tot ca. 130 m. De zuidelijke Maasoever juist bovenstrooms van de voorhavenmond is op een speciale manier gericht. De stroming in de Maas laat daardoor de zuidelijke oever al voor de voorhavenmond los om nabij de kop van het tusseneiland weer aan te liggen, waardoor de stroom niet de voorhavenmond inschiet.

De benedenstroomse havenmond is eveneens voorzien van damwandconstructies, heeft een kleinste breedte van ca. 90 m en is door zijn oriëntatie ook goed toegankelijk voor de schepen. De stroming in de Maas aan de zuidelijke oever laat het tusseneiland nabij de kop los om vervolgens net benedenstrooms van de voorhavenmond weer aan te gaan liggen. Ook bij deze mond blijft de sedimenttoevoer naar de voorhaven beperkt door het korte grensvlak tussen rivier en voorhaven en de beperkte snelheidsverschillen op dit grensvlak.

5.5.4 Krabbersgatsluizen te Enkhuizen

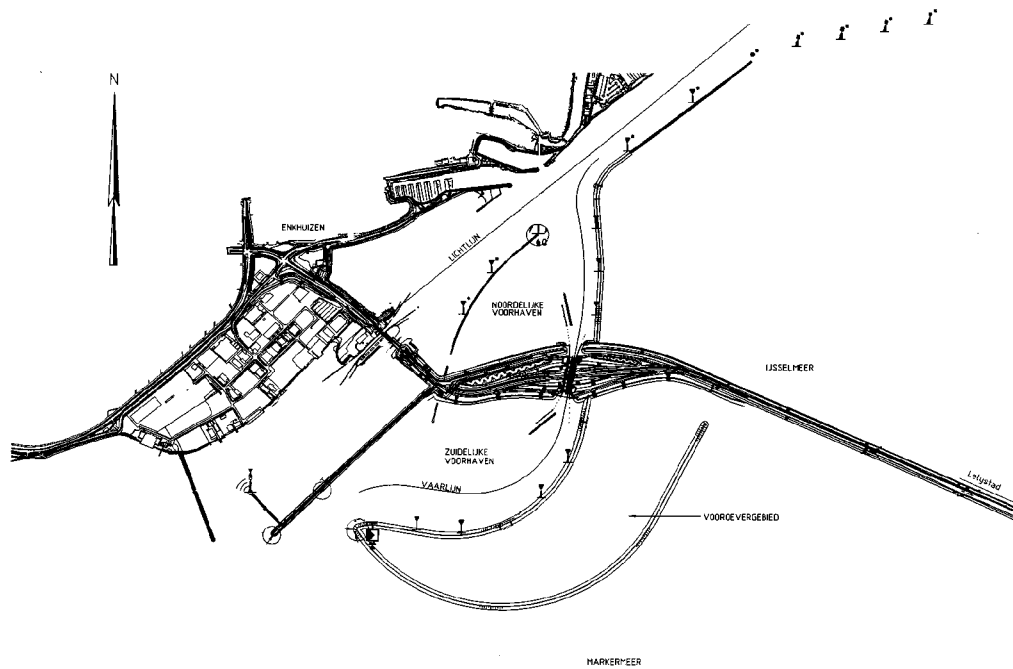
Algemeen

Het sluiscomplex te Enkhuizen vormt de verbinding van Markermeer met IJsselmeer in de dijk Enkhuizen/Lelystad. Er is een schutsluis van 115 x 12 m² en een naastgelegen spuisluis, die alleen met lage stroomsnelheden doorvaarbaar is. De twee nieuwe schutsluizen liggen ca. 800 m verderop in een kunstmatige polder tegen de dijk aan. Het wegverkeer gaat onder de sluizen door. De nieuwe sluizen hebben nuttige kolkafmetingen van 125 x 12,5 m² met een tussenafstand van (slechts) 4,5 m. De sluizen zijn in de eerste plaats bedoeld voor de recreatievaart hoewel ook beroepsvaartuigen tot en met CEMT-klasse Va met een hoge opbouw de sluizen moeten kunnen passeren (lit. [5.7]).

Lay-out voorhavens

De ligplaatsen voor beide sluizen liggen alleen aan de westelijke kant en bestaan in beide voorhavens uit een opstelplaats voor beroepsvaart en daarachter uit een opstel-/wachtbox ter grootte van de kolk voor

de recreatievaart (zie fig. 5.13). Vanwege de grote capaciteit van de sluizen zijn geen opstelplaatsen voor de oostelijke sluis aangebracht. Dat de opstelplaats en de box voor de zuidelijke voorhaven aan de bakboordzijde voor het invaren gesitueerd zijn, heeft onder meer te maken met een logischer vaarroute naar de sluis toe. Recreatievaartuigen verlaten de boxen net voor de fuik, voor het invaren van één van beide sluizen. Om kruisend verkeer te voorkomen zal soms gewacht moeten worden met het uitvaren van de westelijke sluis om het invaren in de oostelijke sluis mogelijk te maken of andersom.



Figuur 5.13 Voorhavens Krabbersgatluizen te Enkhuizen

Fuikpoten zijn alleen aangebracht voor de westelijke sluis aan de westzijde en voor de oostelijke sluis aan de oostzijde. Uit kostenoverwegingen is een gezamenlijke middensluiswand toegepast die ook niet als remmingwerk is doorgetrokken tot in de voorhaven. De consequentie is dat schepen uit beide sluizen elkaar op korte afstand kunnen ontmoeten of passeren. Voor de recreatievaart is dit geen bezwaar. Wanneer schepen van de beroepsvaart in het geding zijn, zal op elkaar gewacht moeten worden.

Overall-inpassing

De voorhavens van de nieuwe sluizen zijn zeer ruim bemeten en zijn gescheiden van die van de oude sluizen door reeds aanwezige scheidingsdammen.

De nieuwe, zuidelijke voorhaven heeft met het Markermeer een scheidingsdam in gebogen vorm gekregen om de golfdoordringing vanuit het Markermeer tegen te gaan. De nieuwe voorhavenmond is ca. 200 m breed en ligt apart van de voorhavenmond van de oude sluis. De schepen varen door de voorhavenmond in een zeer ruime bocht naar de opstelplaatsen van de nieuwe sluizen. Bij zuidwestelijke winden kan voor de sluisingang enige hinder ontstaan van windgolven die in het voorhavengebied zelf opgewekt zijn (strijklengte van de wind maximaal 1 km).

De 250 m brede mond van de nieuwe, noordelijke voorhaven is ontstaan door een opening in de bestaande Krabbersgatdam te maken. Deze voorhaven is aan de oostzijde van het IJsselmeer gescheiden door een vrijwel rechte scheidingsdam. Ook aan deze zijde varen de schepen in een ruime bocht naar de opstelplaatsen van de nieuwe sluizen. Gezien de oriëntatie van het sluiscomplex zal alleen bij noordelijk gerichte wind enige hinder van windgolven voor de sluisingang ontstaan.

Literatuur

- [5.1] Ministerie van Justitie, 'Binnenvaart Politie Reglement', Den Haag, september 1991.
- [5.2] Commissie Vaarweg Beheerders (CVB), 'Richtlijnen vaarwegen, CEMT-klassen I t/m V', Rotterdam, juni 1996.
- [5.3] Waterloopkundig Laboratorium, "Voorhavens 2e Sluis Lith; hydraulisch, morfologisch en nautisch onderzoek", Q568, Delft.
- [5.4] Rijkswaterstaat Bouwdienst, 'Modernisering Maasroute, projectnota voorhavens/wachtplaatsen', Utrecht , nota MMVH-N-93.003, Utrecht, mei 1993.
- [5.5] Rijkswaterstaat Bouwdienst, 'Actualisering van de benodigde remmingwerklengte voor sluizen op de Maasroute, fase 1, Sambeek, Belfeld, Heel, Maasbracht en Born', januari 1994.
- [5.6] Rijkswaterstaat Bouwdienst, 'Tweede sluis Lith', Variantennota en Ontwerpnota, MMLTDB-X-94001 en 95003, Utrecht, mei 1994 en juni 1995.
- [5.7] Rijkswaterstaat Bouwdienst, 'Naviduct Krabbersgat', Voorontwerpnota en Ontwerpnota, KRB-DA-210 en 310, Utrecht, november 1996 en juni 1997.



Foto 6.1 Stroombeeld tijdens vullen van jachtensluis in de Volkerak

Hoofdstuk 6 Vul- en ledigingssystemen

6.1 Inleiding

Het vul- en ledigingssysteem dient om de waterstand van de kolk, waarin zich een of meerdere schepen bevinden, te nivelleren met die van de voorhaven. Dit moet op een zodanige manier gebeuren dat de in de kolk afgemeerde schepen beperkte krachten door het water ondervinden en de nivelleertijden kort zijn.

Tijdens het vullen van de kolk (opwaarts nivelleren) komt de schuttschijf (product van lengte kolk binnen de deuren, breedte kolk en initieel verval over de kolk) in de kolk terecht. Hierbij wordt de energie van de stroming - afkomstig van het omzetten van potentiële in kinetische energie van het water uit het verval - in de kolk afgebroken, waar de schepen liggen afgemeerd. Translatiegolven worden opgewekt door het niet-permanente karakter van het vuldebiet. Door de stroming en de golven in de kolk ondervindt het schip tijdens de verticale verplaatsing horizontaal gerichte, hydraulische krachten.

Tijdens het ledigen van de kolk (neerwaarts nivelleren), waarbij de schuttschijf en de bijbehorende stromingsenergie in de voorhaven terechtkomen, worden voornamelijk translatiegolven in de kolk opgewekt. Dit gaat gepaard met het uitoefenen van krachten op de schepen.

Voor de wijze waarop het nivelleren van de kolk geschiedt, zijn vele typen vul- en ledigingssystemen mogelijk, maar bij alle typen vervullen de afsluitbare openingen een essentiële rol. De verschillende typen vul- en ledigingssystemen hebben betrekking op de wijze waarop het water de kolk wordt ingebracht of uitstroomt. Dit kan van eenvoudig zoals bij deuropeningen (dat wil zeggen openingen in de deur zelf) tot gecompliceerd zoals bij vullen met omloopriolen en woelkelder.

Doel van dit hoofdstuk is tot een voorontwerp van een vul- en ledigingssysteem te komen. Daartoe wordt eerst een kort overzicht gegeven van de systeemtypen, zodat voor de te onderzoeken situatie het meest geschikte type vastgesteld kan worden (par. 6.2). Vervolgens wordt informatie gepresenteerd over de hydraulische verschijnselen tijdens het vullen en ledigen van een sluis (par. 6.3). Daarna wordt de berekeningsmethodiek gepresenteerd voor de voorlopige afmetingen en hefsnelheden van het vul- en ledigingssysteem (par. 6.4). Hierbij kan gebruik worden gemaakt van een rekenprogramma (LOCKDIM). Een overzicht van de te stellen eisen aan de geometrie van de systemen wordt in par. 6.5 gegeven. Ten slotte wordt in par. 6.6 het rekenprogramma LOCKFILL gepresenteerd dat op basis van de gekozen afmetingen en hefsnelheden van het vul- en ledigingssysteem dit systeem verder doorrekent.

Het hoofdstuk beperkt zich tot vul- en ledigingssystemen volgens de typen deuropeningen en omloopriolen/woelkelder aangezien deze het meest in aanmerking komen voor de Nederlandse situatie. Vul- en ledigingssystemen voor bijzondere sluizen zoals grote zeevaartsluizen, hoogverval-sluizen en sluizen met spaarbekkens, worden alleen kort in par. 6.2 behandeld. Sluizen met zout/zoetscheiding-systemen worden in Hoofdstuk 21 behandeld. Bij gecompliceerde vul- en ledigingssystemen (hoog verval, dichtheidsverschillen in 't water, zeer korte nivelleertijden) moet een deskundige geraadpleegd worden en/of modelonderzoek uitgevoerd worden in (bijvoorbeeld) het Waterloopkundig Laboratorium.

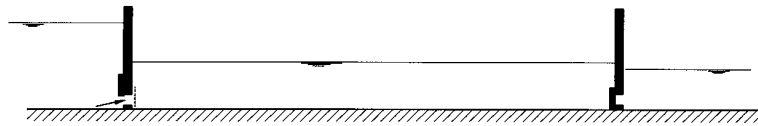
Voor het voorontwerp van een vul- en ledigingssysteem van een nieuwe sluis wordt de volgende werkwijze aanbevolen:

- een keus van het type wordt gemaakt (par. 6.2, deuropeningen of omloopriolen/woelkelder);
- de dimensies van het gekozen type vul- en ledigingssysteem worden berekend (par. 6.4 of rekenprogramma LOCKDIM);
- de hydraulische vormgeving wordt vastgesteld (par. 6.5);
- het gekozen voorontwerp wordt gecontroleerd met het rekenprogramma LOCKFILL (par. 6.6).

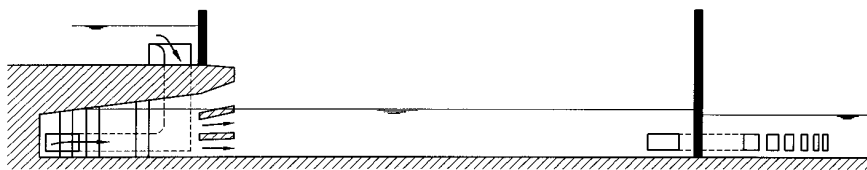
6.2 Type vul- en ledigingssystemen

6.2.1 Overzicht typen

6.2.1.1 Normale typen



Type deuropeningen



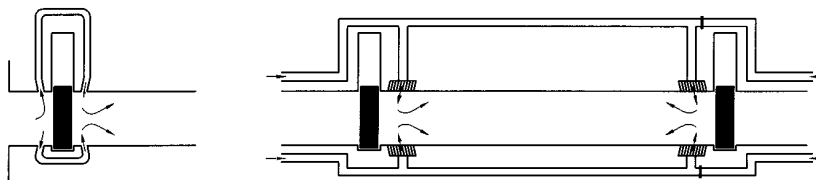
Type omloopriolen/woelkelder

Figuur 6.1 Normale typen vul- en ledigingssystemen

In Nederland worden tegenwoordig als vul- en ledigingssysteem van sluizen meestal het type deuropeningen of het type omloopriolen met woelkelder (fig. 6.1) toegepast (lit. [6.9]):

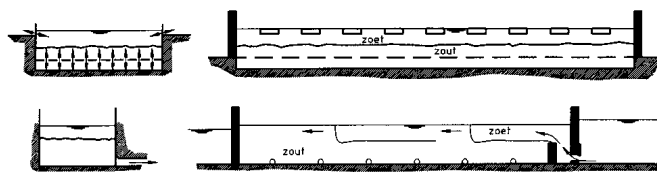
- Deuropeningen**
 Het type deuropeningen is het meest voorkomende en eenvoudige type. Het bestaat uit een aantal openingen onderin de deuren zelf met beweegbare schuiven aan de bovenstroomse zijde. Veelal zijn breekbalken aan de benedenstroomse zijde van de openingen aangebracht om de stroming direct achter de deuren te spreiden en de energie ervan te vernietigen. In veel gevallen zijn de openingen rechthoekig van vorm en is de schuifsnelheid constant. De boven- en benedendeuren zijn vaak identiek en daarom uitwisselbaar.
- Omloopriolen met woelkelder**
 Bij het type omloopriolen met woelkelder zijn bij het bovenhoofd omloopriolen met beweegbare schuiven aangebracht die uitmonden in de woelkelder. In de woelkelder zijn breekbalken, schoepen en dergelijke aangebracht om de energie van het water af te breken en het water gespreid volgens een langstroming in de kolk te brengen. Voor het ledigen kunnen bij het benedenhoofd deuropeningen of omloopriolen zijn aangebracht. De deuren van het boven- en benedenhoofd verschillen, de hooggelegen bovendeuren zijn laag, de benedendeuren zijn hoog. Het type wordt toegepast voor vervallen vanaf 5 m bij een eenzijdige kering.

6.2.1.2 Bijzondere typen



Voorbeelden riolsystemen voor zeesluizen (Noordersluis IJmuiden en Baalhoek)

Voorbeelden riolsystemen voor zeesluizen (Noordersluis IJmuiden en Zeesluis Baalhoek)



Voorbeelden systemen met zout/zoet scheiding (Duinkerken en Bergsediepsluis)

Figuur 6.2 Bijzondere typen vul- en ledigingssystemen

Bijzondere typen vul- en ledigingssysteem die in Nederland ook voor een nieuw te ontwerpen sluis gebruikt kunnen worden, zijn de systemen met riolen voor grote zeesluizen of met zout/zoetscheiding (fig. 6.2 en Lit. [6.3], [6.4], [6.7], [6.9]).

- **Rioolsystemen voor grote zeesluizen**

Rioolsystemen voor grote zeesluizen zijn toegepast met omloopriolen in elk hoofd (Noordersluis IJmuiden) en tevens met speciale uitmondigen (België: Kallo, Berendrecht), twee langsriolen met twee dwarsriolen en speciale uitmondigen in beide hoofden (Baalhoek, niet gebouwd) en een langsriool met in de kolk twee dwarsriolen en bodemroosters (Zeesluis Terneuzen). De zeesluis van Zeebrugge heeft openingen met vlinderkleppen in de roldeuren.

- **Zout/zoetscheiding**

Met een vul- en ledigingssysteem inclusief zout/zoetscheiding wordt het water in de sluis kolk genivelleerd en uitgewisseld.

Bij het systeem voor zout/zoetscheiding Duinkerken (Kreekrak- en Krammersluizen) wordt zout water in verticale richting via een geperforeerde vloer en zoetwater in dwarsrichting via hooggelegen wandopeningen aan- en afgevoerd. Het zoute en zoete water in de kolk worden hierbij minimaal vermengd. De geperforeerde vloer staat in verbinding met riolen en het buitenwater, de wandopeningen staan in verbinding met omarmend zoetwater.

Bij het systeem van de Bergsediepsluis (alleen zoutbestrijding) wordt het zoute water in dwarsrichting afgevoerd via laaggelegen buizen naar een naastgelegen kelder en wordt het zoete water in langsrichting bovenin toegevoerd over een drempel via deuropeningen. Zie verder Lit. [6.4].

Opmerkingen:

- Het zoutbestrijdingssysteem Terneuzen waarbij het gehele (zoute) kolkvolume in een zoutput in de voorhaven stroomt waarna dit via het riool naar zee gespuid wordt, betreft zoutbestrijding na het nivelleren.
- Een luchtbellenscherm zorgt voor een tijdelijke scheiding van zout- en zoetwater na het openen van de deur. De schutsluis wordt niet door een luchtbellenscherm tegengehouden.
- Voor een uitgebreider behandeling van zout/zoet-scheidingssystemen wordt verwezen naar Hoofdstuk 21.

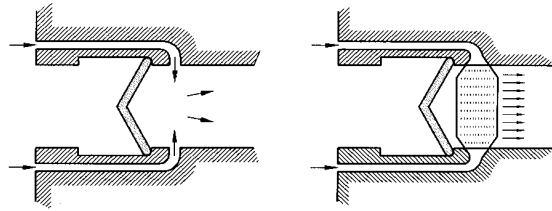
6.2.1.3 Niet of weinig meer in Nederland gebruikte typen

Enkele typen vul- en ledigingssystemen die in Nederland niet of weinig meer gebruikt zullen worden voor nieuw te ontwerpen binnenvaartsluizen (zie fig. 6.3, en Lit. [6.1], [6.3], [6.7], [6.8]).

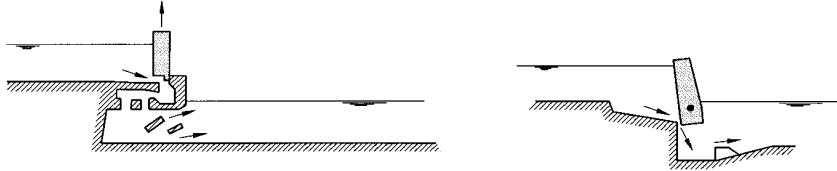
- **Omloopriolen voor binnenvaartsluizen voor beperkte vervallen**

De uitmondigen van de omloopriolen worden bij voorkeur in de tegenover elkaar staande wanden geplaatst zodat de stralen tegen elkaar botsen en hun energie kwijtraken. Het systeem met omloopriolen is een dure oplossing en werd in Nederland lang geleden veel toegepast omdat de deuren niet verzwakt mochten worden met openingen.

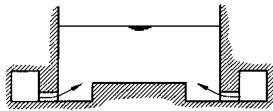
Het systeem wordt wel in Nederland toegepast voor het ledigen van een sluis met een groot verval. In Duitsland worden bij grote vervallen de omloopriolen extra diep gelegd en wordt de uitmonding als bodemrooster in het betreffende hoofd uitgevoerd.



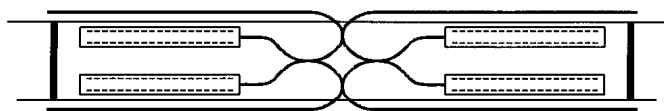
Omloopriolen (als botsende stralen en met bodemrooster)



Bewegende deur (hefdeur en klepdeur)



Wandvulstelsysteem



Bodemvulstelsysteem

Figuur 6.3 Voorbeelden van typen vul- en ledigingssystemen die niet of niet meer in Nederland worden gebruikt

- Bewegende deur voor grotere vervallen**
 Het vullen geschiedt door het langzaam heffen van een hefdeur of opendraaien van een sectordeur of klepdeur (draaibaar om een horizontale as). Hierbij komt een spleet over de gehele breedte van de sluis vrij (Opmerking: punt-, draai- en roldeuren komen hiervoor dus niet in aanmerking). Het water stort in een betonnen woelkamer met straalbrekers voorin de kolk. Aan de vormgeving moet veel aandacht geschonken worden om een ongunstig stroombeeld voorin de kolk te vermijden en de deurbeweging moet zeer langzaam zijn om te grote translatiegolven te vermijden. Het systeem van een bewegende hefdeur is in Nederland vele malen toegepast (onder andere Twenthe-kanaal, oude sluizen Maasroute).
- Bodem- of wandvulstelsysteem**
 Bij een wandvulstelsysteem wordt het water aangevoerd via langsriolen en een groot aantal zijspuiten. De zijspuiten monden hierbij vaak uit in een woelbak in de kolkbodem. Bij bodemvulsystemen wordt het water met riolen onder de sluisbodem op een of meerdere plaatsen aangevoerd en van daaruit via bodemroosters de kolk ingebracht. De systemen zijn bedoeld voor hoogvervalsluizen en zijn erg kostbaar maar geven snelle nivelleertijden, bij toepassing moeten de extra kosten worden afgewogen tegen de tijdwinst. In Nederland zijn in 't verleden enkele wandvulsystemen toegepast (Middensluis IJmuiden, oude sluis Weurt).

6.2.2 Keuze type

De keuze van het type vul- en ledigingssysteem hangt af van de volgende te bespreken zaken, te weten:

- Initieel verval over de sluis (voor binnenvaartsluizen)**
 - Voor binnenvaartsluizen hangt het type vul- en ledigingssysteem af van het initiële verval en nauwelijks van de breedte van de sluis (vaarwegklasse).
 - Voor sluizen met vervallen tot ca. 6 m wordt als vul- en ledigingssysteem het type deuropeningen aanbevolen.
 - Met extra aanpassingen is het type deuropeningen ook toepasbaar voor het vullen met ver-

vallen van 6 tot 8 m. De aanpassingen bestaan uit een speciale, in model onderzochte, vormgeving van de openingen (bijvoorbeeld extra weerstandsroosters of een groot aantal, kleinere openingen) en een aangepast hefprogramma van de schuiven. Deuropeningen met dergelijke vervallen vereisen hoge deuren omdat de deuropeningen altijd onder water moeten blijven.

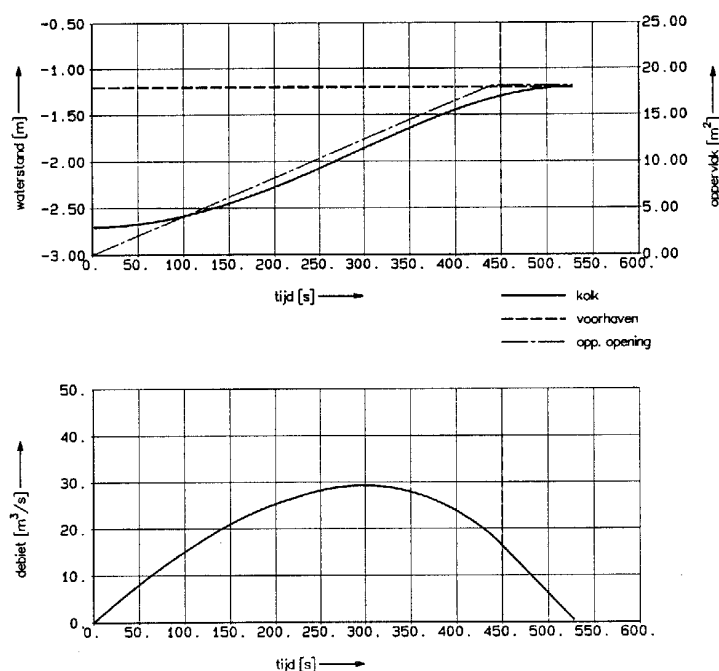
- Met extra aanpassingen is het type deuropeningen ook toepasbaar voor een beperkt verval in de richting tegengesteld waaraan de openingen ontworpen zijn. Dit vereist een speciale, in model onderzochte, vormgeving van de openingen.
 - Het type omloopriolen met woelkelder als vulsysteem wordt gebruikt voor vervallen vanaf 5 m. Voor vervallen tussen 8 en 12,5 m is dit het noodzakelijk type. Het type is overigens alleen geschikt voor vervallen in één richting.
 - Voor het ledigen bij grote vervallen tussen 8 en 12,5 m kunnen omloopriolen en (onder speciale voorwaarden) deuropeningen gebruikt worden. Veel aandacht moet worden besteed aan de manier waarop de stralen hun energie buiten de sluis kwijtraken omdat de waterdiepte hier beperkt blijft. Bij omloopriolen moeten de stralen tegen elkaar botsen om hun energie kwijt te raken, bij deuropeningen moeten de stralen hun energie kwijtraken in een woelbak.
- *Binnenvaart- of zeevaartsluis*
 - Voor sluizen van de binnen- en recreatievaart komt - afhankelijk van de grootte van het verval - steeds het type deuropeningen of het type omloopriolen met woelkelder in aanmerking.
 - Omdat de diepgang van zeeschepen veel groter kan zijn dan van binnenvaartschepen, liggen de drempel en de sluisbodem bij zeevaartsluizen veel lager dan bij binnenvaartsluizen. De vervallen over zeevaartsluizen veranderen in korte tijd (getij en eventueel seiches), bij riviersluizen verandert het verval slechts langzaam (hoogwatergolf). Bij zeevaartsluizen veroorzaken de dichtheidsverschillen tussen het zoute en het zoete water extra krachten op de schepen terwijl de toelaatbare krachten op de grote zeeschepen (relatief gezien) geringer zijn door de beperkte meeruitrusting.
 - Bij een kleine zeevaartsluis (geschikt voor bijvoorbeeld supply-vessels) kan als vul- en ledigingssysteem het type deuropeningen gebruikt worden.
 - Bij een grote zeevaartsluis (breedte boven 30 m) is het eerst aangewezen type een vul- en ledigingssysteem met riolen (omloopriolen of langsriolen met dwarsriolen bij beide hoofden) gecombineerd met speciale uitmondingen om een rustig stroombeeld in de kolk te creëren. Ook het type deuropeningen is mogelijk indien geen hoge eisen gesteld worden aan de nivelleertijden en wanneer veel aandacht gegeven wordt aan de spreiding van de vulstralen uit de openingen.
 - *Nivelleertijd*
 - Voor de meeste Nederlandse binnenvaartsluizen en kleine zeesluizen met deuropeningen en vervallen tussen 2 en 6 m is de nivelleertijd 8 tot 10 minuten. Voor extra lange sluizen of grotere vervallen kan dit oplopen tot 12 minuten. Kleinere vervallen vergen minder dan 8 minuten. Bij omloopriolen met woelkelder (vervallen tussen 6 en 12 m) bedraagt de vultijd niet meer dan 10 minuten. Bij grote zeesluizen met vervallen tussen 1,5 en 5 m moet gerekend worden met nivelleertijden tussen 11 en 15 minuten. Een zoutbestrijdingssysteem verdubbelt globaal de nivelleertijd door het uitwisselen van een kolkinhoud.
 - Is de nivelleertijd onbelangrijk dan kan het type deuropeningen ook bij grote vervallen toegepast worden mits in het bovenhoofd hoge deuren worden toegepast waarbij de openingen zich altijd onder water moeten bevinden.
 - Zijn bij grote vervallen korte nivelleertijden gewenst, dan moet overgegaan worden op een systeem met wand- of bodemvulling en langsriolen, de nivelleertijd kan bijvoorbeeld bijna gehalveerd worden mits dit geen problemen oplevert voor het kanaalpand (translatiegolven).
 - *Zout/zoetscheiding*
 - Voor zout/zoetscheiding tijdens het vullen en ledigen is een bijzonder systeem nodig, bijvoorbeeld het systeem Duinkerken (al of niet vereenvoudigd) of het systeem zoals toegepast in de Bergsedielsluis. Zie verder Hoofdstuk 21 en Lit. [6.4].

- *Waterbesparing*
 - Voor waterbesparing kunnen één of meerdere spaarbekkens worden toegepast of kunnen naast elkaar gelegen sluizen elkaars spaarbekken zijn.
- *Kosten (bouw, sturing en onderhoud)*
 - Een systeem met deuropeningen is bij lagere vervallen het goedkoopst en heeft gunstige onderhoudsaspecten.
 - Bij grote vervallen is bij toepassing van omloopriolen met een woelkelder de betonconstructie en de inpassing van het afsluitmiddel weliswaar duur, maar de bovendeuuren zijn laag en goedkoper dan zonder woelkelder waarbij hoge bovendeuuren vereist zijn.
 - Bijzondere vulsystemen zijn vrijwel altijd duur en zijn alleen te rechtvaardigen vanwege hun doel (bijvoorbeeld korte nivelleertijden, zout/zoetscheiding of waterbesparing).

Afhankelijk van welke factoren belangrijk zijn, kan uit het voorgaande een eerste keus worden gemaakt van het type vul- en ledigingssysteem.

6.3 Verschijnselen tijdens de kolkomzetting

6.3.1 Debiet door de openingen en gemiddelde kolkwaterstand



Figuur 6.4 Voorbeeld waterstanden & oppervlakte openingen en debiet als functie van tijd tijdens het vullen van een sluis met deuropeningen

Zie (Lit. [6.5], [6.10], [6.12]).

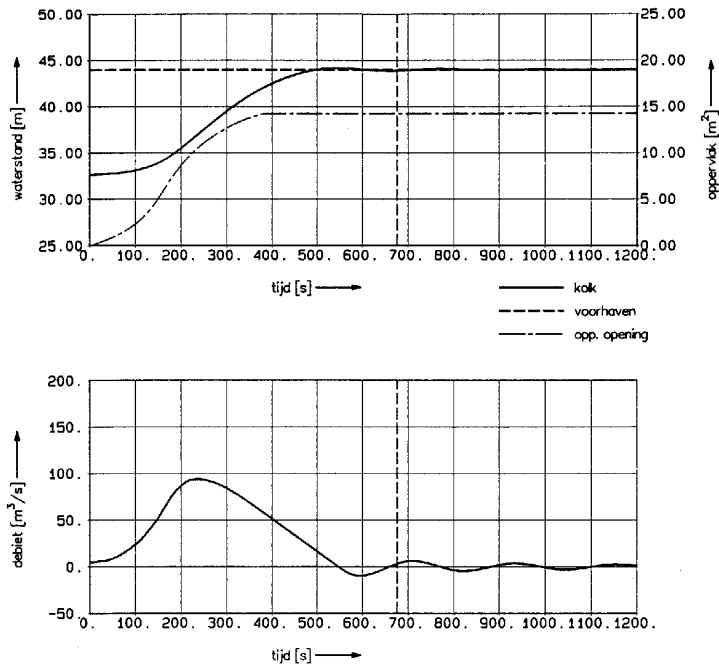
Het debiet door de openingen (vul- of ledigingsdebiet) is een functie van het momentane verval over de deur en de grootte en vormgeving van de openingen (fig. 6.4).

Het nivelleren start met het trekken van de schuiven waardoor het oppervlak van de openingen geleidelijk toeneemt; het verval over de deur is daarbij groot en de oppervlakte van de opening beperkt. Daarna neemt het verval door het binnenkomende (of wegstromende) water af en de grootte van de openingen toe. Aan het eind van het nivelleerproces is het verval gering en de grootte van de openingen is dan in de regel maximaal. Dit levert een vul- of ledigingsdebiet door de openingen in de tijd op dat langzaam begint, daarna naar een maximum gaat en vervolgens geleidelijk afneemt tot nul.

De (gemiddelde) waterstand in de kolk hangt samen met dit debiet: bij het vullen stijgt de kolkwaterstand aanvankelijk langzaam, bij het maximum debiet het snelst, terwijl aan het eind van het proces de kolkwaterstand nog slechts langzaam stijgt tot het niveau van de voorhaven bereikt wordt. Het ledigen gebeurt op soortgelijke wijze behalve dat de waterstand daalt in plaats van stijgt.

(Opmerking: Bij dichtheidsverschillen tussen het water van de voorhaven en de kolk na afloop van het nivelleerproces blijft een klein niveauverschil - bijvoorbeeld 0,15 m - tussen voorhaven en kolk aanwezig).

Om een rustige ligging van de schepen tijdens het nivelleren te verzekeren waarbij de trossen tijdig overgezet kunnen worden naar hoger of lager gelegen haalkommen, is de stijgsnelheid van de waterspiegel aan een maximum gebonden (bijvoorbeeld voor binnenvaart 1 m per minuut bij vaste haalkommen).



Figuur 6.5 Voorbeeld waterstanden & oppervlakte openingen en debiet als functie van tijd tijdens het vullen van een sluis met omloopriolen/woelkelder

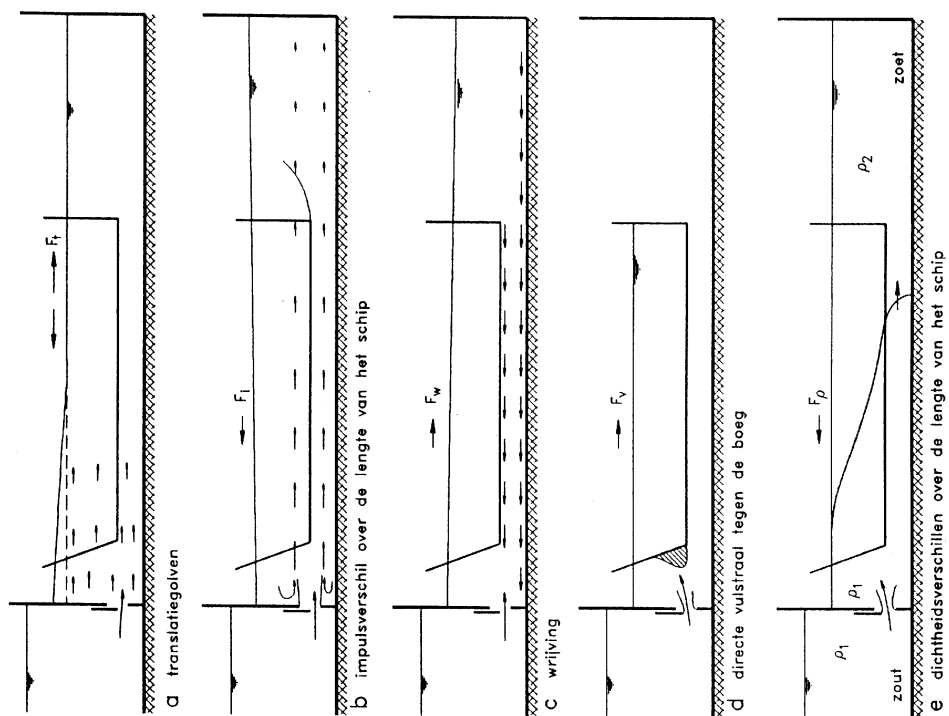
Worden omloopriolen toegepast dan worden traagheidseffecten van de kolom water in de riolen aan het eind van het nivelleerproces belangrijk (fig. 6.5). Aan het eind van dit proces neemt het debiet in de riolen af tot nul om vervolgens van teken om te keren waardoor de gemiddelde kolkwaterstand bij vullen boven de voorhavenstand uitstijgt. Vervolgens daalt de kolkwaterstand weer onder de voorhavenstand en dempt vervolgens langzaam naar de voorhavenstand. Met het (in verticale zin) slingeren van de gemiddelde kolkwaterstand om de beneden- of bovenwaterstand (overtravel-effect) moet rekening gehouden worden bij het ontwerp omdat dit anders problemen kan opleveren voor het openen van de deuren. Een soortgelijk effect treedt ook op bij ledigen. Het effect kan verminderd worden door de rioollengten kort te houden of de riooldoorsnede zo ruim mogelijk te nemen.

Tijdens het nivelleren kunnen bijzondere tijdstippen worden onderscheiden. Dit zijn het moment waar het debiet maximaal is, het moment dat de openingen (voor het eerst) geheel geopend zijn, het moment dat het niveauverschil over de deur nog 0,10 m is (deuren mogen geopend worden) en het moment dat de kolk geheel genivelleerd is (bij deuropeningen is debiet nul). Voor de ontwerper is alleen het moment dat het verval over de deur 0,10 m van belang.

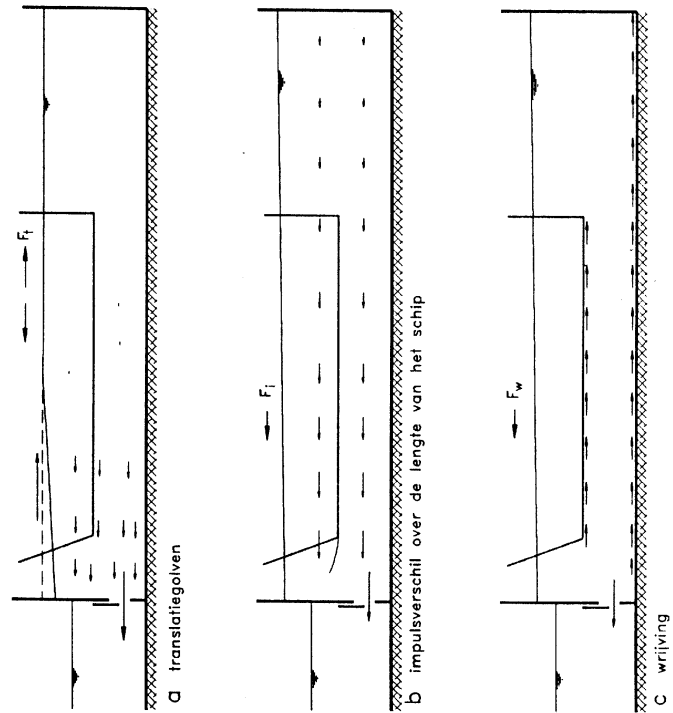
6.3.2 Golf- en stromingsverschijnselen in de kolk

Het debiet door de openingen gaat gepaard met golf- en stromingsverschijnselen in de kolk. Omdat het debiet bij een kolkeinde in- of uitstroomt (bovenhoofd bij vullen, benedenhoofd bij ledigen) vinden deze verschijnselen voornamelijk in langsrichting van de kolk plaats. Het schip in de kolk, dat zich met zijn boeg nabij de vul- of ledigingsdeur bevindt, is onderhevig aan de golf- en stromingsverschijnselen en beïnvloedt ook deze. De verschijnselen gaan gepaard met waterstandsverschillen in langsrichting van de kolk die op hun beurt weer krachten op de afgemeerde schepen uitoefenen (zie fig. 6.6 en 6.7).

Door het niet-permanente karakter van het debiet door de openingen worden translatiegolven bij deze openingen opgewekt die zich voortplanten in de kolk (fig. 6.6a en 6.7a). De golven reflecteren volledig tegen de deuren van beide kolkeinden en gedeeltelijk tegen de boeg en het hek van het schip. Door de blokkering van het dwarsprofiel door het schip neemt de translatiegolfsnelheid naast het schip af ten opzichte van een dwarsprofiel zonder schip waardoor de golfhoogte naast het schip toeneemt. De waterspiegel krijgt door de translatiegolven in langsrichting van de kolk een oscillerende beweging in de



Figuur 6.6 Componenten van de langskracht tijdens vullen



Figuur 6.7 Componenten van de langskracht tijdens ledigen

eigen periode van de kolk. Deze eigen periode is de tijd die een verstoring nodig heeft om eenmaal heen en weer door de kolk te gaan.

Bij vullen met deuropeningen is er sprake van geconcentreerde vulstralen met hoge stroomsnelheden achter de deuropeningen (fig. 6.6b). Deze hoge stroomsnelheden breken in langsrichting van de kolk af (van vuldeur naar gesloten kolkeind) door turbulente uitwisseling met het omringende water.

Nabij het schip wijzigt zich dit stroombeeld sterk door de gedeeltelijke blokkering van het dwarsprofiel door het schip (fig. 6.6b en 6.6d). Bij de boeg kunnen de geconcentreerde vulstralen minder snel afbreken omdat weinig omringend water beschikbaar is, bij het hek van het schip laat de stroming los om pas verderop te spreiden en af te breken.

De gemiddelde debieten door een raai in de kolk nemen in langsrichting af omdat een korter deel van de kolk achter deze raai gevuld moet worden.

Voorname effecten resulteren in een impuls van de stroming (impuls is evenredig met het product van stroomsnelheid en debiet) die in langsrichting van de kolk afneemt, wat gepaard gaat met waterstandsverschillen in de langsrichting van de kolk.

Bij vullen door een woelkamer treedt iets soortgelijks op, behalve dat er veel minder sprake is van geconcentreerde stralen direct achter de woelkamer.

Bij het ledigen van een sluis wordt geen energie in de kolk afgebroken maar erbuiten. Ook bij ledigen van de sluis neemt het debiet per raai (in absolute waarde) af in langsrichting (van ledigingsdeur naar gesloten kolkeind) wat eveneens gepaard gaat met waterstandsverschillen in de langsrichting van de kolk (fig. 6.7b).

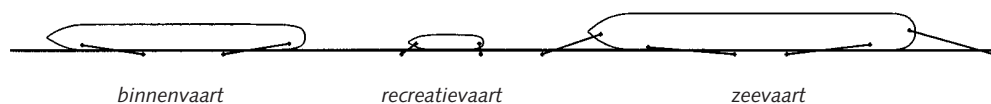
Wrijving van het water met de kolkbodem en -wanden en de scheepshuid geeft een waterstandsverschil in langsrichting van de kolk (fig. 6.6c en 6.7c).

Wanneer dichtheidsverschillen tussen het water van de voorhaven en de kolk aanwezig zijn, worden bij het vullen van de kolk interne (dichtheids-)golven opgewekt (fig. 6.6e). Deze golven planten zich met lage snelheid voort in de kolk en reflecteren tegen het schip en de deuren. Deze golven gaan gepaard met waterstandsverschillen in de langsrichting van de kolk.

In dit hoofdstuk worden geen golf- en stromingsverschijnselen buiten de kolk behandeld (in de voorhaven), veroorzaakt door het nivelleren.

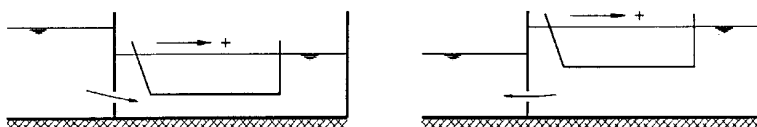
6.3.3 Troskrachtcriterium

Een binnenvaartschip ligt normaliter in de kolk afgemeerd aan een voor- en achterspring die bij verticale verplaatsingen vanaf bijvoorbeeld 2 m tijdens het nivelleren overgezet moeten worden naar hoger of lager gelegen haalkommen. In sluisen met grote vervallen worden drijvende bolders toegepast waarbij de trossen niet overgezet behoeven te worden. Tijdens het nivelleren moeten de trossen strak gehouden worden om te grote horizontale verplaatsingen met bijbehorende dynamische effecten tegen te gaan; het schip mag niet in de tros "vallen". Zeeschepen liggen met ten minste 4 trossen vast. (fig. 6.8)



Figuur 6.8 Voorbeeld afgemeerde schepen in een sluisolk

Om praktische redenen wordt de kwaliteit van een vul- en ledigingssysteem niet getoetst aan de hand van de optredende troskrachten of horizontale verplaatsingen van het schip tijdens het nivelleren. Gehanteerd wordt het zogenaamde troskrachtcriterium dat bestaat uit een toelaatbare langskracht op een - in horizontale zin - vastgehouden schip.



Figuur 6.9 Definitie langskracht

De langskracht uitgeoefend op een schip wordt zowel voor het vullen als het ledigen als volgt gedefinieerd (fig. 6.9): de langskracht is positief in de richting van het dichte kolkeind en negatief in de richting van het kolkeind met de nivelleeropeningen. De langskracht wordt als relatieve waarde uitgedrukt in o/oo van het gewicht van de waterverplaatsing van het schip.

Het troskrachtcriterium voor binnenvaartschepen is als volgt (Lit. [6.13]):

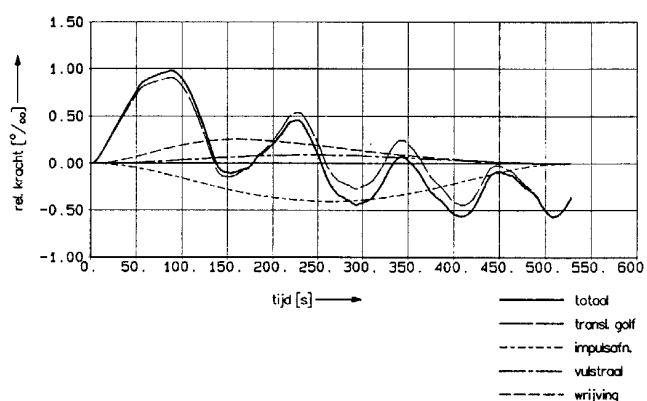
scheepsklasse	troskrachtcriterium (o/oo van totale waterverplaatsing)	
	bij vullen	bij ledigen of vullen met drijvende bolders
CEMT klasse III	1,50	2,00
CEMT klasse IV	1,10	1,50
CEMT klasse Va	0,85	1,15

Bij geladen '4+1' of '6+1' duweenheden mag de (absolute) langskracht ten hoogste 100 kN bedragen. De langskracht mag bij voorkeur niet meer dan één keer van teken wisselen. Bij recreatievaart is de waterverplaatsing gering; de toelaatbare (relatieve) langskracht ligt in de orde van 3 ‰.

Grote zeegaande schepen liggen in de kolk met tenminste 4 trossen vast. Omdat de capaciteit van de afmeeruitrusting (relatief gezien) zwakker is dan bij binnenvaartschepen zijn de toelaatbare (relatieve) langskrachten veel lager dan 1 ‰: bijvoorbeeld 0,25 ‰ bij dwt 50.000.

(Opmerking: Met capaciteit van de afmeeruitrusting wordt bedoeld de toelaatbare krachten in de trossen en de winch30es).

6.3.4 Optredende langskrachten



Figuur 6.10 Voorbeeld langskracht als functie van tijd tijdens vullen van een sluis met deuropeningen

De langskracht op het schip wordt bepaald door de waterstandsverschillen over de boeg en het hek van het schip en door de straal- en wrijvingskrachten op het schip (fig. 6.10). De langskracht kan bij het vullen van de sluis door deuropeningen opgebouwd gedacht worden uit vijf componenten:

a *Translatiegolven (fig. 6.6a)*

De waterstandsverschillen door de translatiegolven zorgen voor een in de tijd variërende bijdrage in de langskracht. Onderscheid is te maken in een gemiddelde en een harmonische bijdrage. De

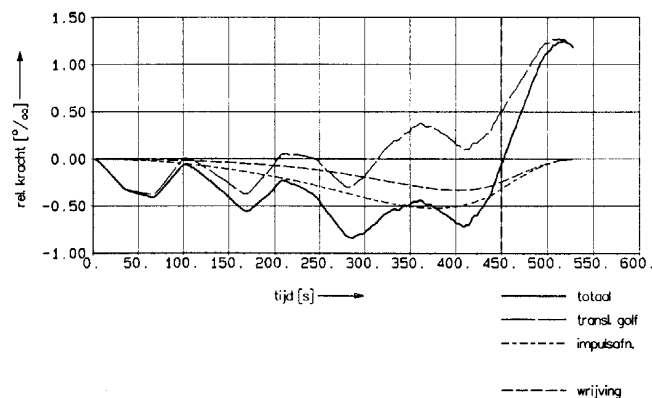
gemiddelde bijdrage is terug te voeren tot het debietverloop in de tijd: voor het tijdstip van het maximum debiet is de gemiddelde bijdrage voornamelijk positief (toenemend debiet), daarna vooral negatief (afnemend debiet). De harmonische bijdrage volgt uit de reflecties tegen de deuren en het schip en wordt versterkt door knikken in het debietverloop. Deze knikken kunnen bijvoorbeeld optreden wanneer de deuropeningen hun maximale oppervlakte bereiken voordat het maximum debiet bereikt is.

- b *Impulsafname in langsrichting van de kolk (fig. 6.6b)*
De waterstandsverschillen door de impulsafname van de stroming in langsrichting van de kolk veroorzaken een negatieve langskracht; alleen bij een kort schip dat niet al te dicht bij de vuldeur ligt geeft het waterstandsverschil een positieve langskracht. De bijdrage in de langskracht is maximaal net voor het tijdstip van maximaal debiet wanneer de impuls van de stroming (evenredig met product van stroomsnelheid en debiet) maximaal is.
- c *Wrijving (fig. 6.6c)*
De wrijving zorgt voor een waterstandsverschil over de lengte van het schip terwijl de wrijving ook in directe zin op de scheepshuid aangrijpt. Dit levert een positieve bijdrage in de langskracht met een maximum net voor het maximaal debiet.
- d *Straalwerking (fig. 6.6d)*
De geconcentreerde vulstralen botsen in het begin van het vulproces tegen de boeg van het schip. Dit levert aanvankelijk een positieve bijdrage in de langskracht. Na enige tijd is het schip zo ver gestegen dat de vulstralen de boeg niet meer raken waardoor deze bijdrage verdwijnt.
- e *Dichtheidsverschillen (fig. 6.6e)*
De verschillen in waterstand en dichtheid van het water tussen de boeg en het hek zorgen voor een negatieve bijdrage van de langskracht bij een kolk met initieel zoetwater die gevuld wordt met water uit een voorhaven met zoutwater. De bijdrage is positief in de tegengestelde dichtheids situatie (kolk met zout water, voorhaven met zoet water).

In de regel geven de componenten a en b de grootste bijdragen in de langskracht.

De situatie van het vullen door omloopriolen met een woelkelder geeft iets dergelijk te zien. De bijdrage in de langskracht van component a (translatiegolven) is overeenkomstig, de bijdrage van component b (impulsafname) is kleiner en die van component d (vulstralen) afwezig door het beter bij de boeg gespreide debiet, component c (wrijving) is overeenkomstig en component e (dichtheidsverschillen) ontbreekt (geen woelkamer in getijdegebieden).

Ook hier leveren de componenten a (translatiegolven) en b (impulsafname) de grootste bijdragen in de langskracht.



Figuur 6.11 Voorbeeld langskracht als functie van tijd tijdens ledigen sluis met deuropeningen

Bij het ledigen van sluizen (fig. 6.11) is de bijdrage in de langskracht van component a (translatiegolven) eveneens aanwezig (fig. 6.7a). Voor het maximum debiet is deze negatief, hierna vooral positief met een maximum aan het eind van het ledigingsproces door de lage waterstand met de grote blokkering van het kolkprofiel door het schip. In tegenstelling tot vullen is dus bij ledigen het eind van het ledigings-

proces maatgevend. De bijdrage van component b (impulsafname) in de langskracht is negatief en beperkt door het afwezig zijn van geconcentreerde stralen (fig. 6.7b). De bijdrage van component c (wrijving) is ook beperkt en negatief (fig. 6.7c). Componenten d en e (vulstraal en dichtheidsverschillen) ontbreken bij het ledigen. Bij ledigen is component a (translatiegolven) dominant. Dit beeld verschilt in principe niet voor ledigen met deuropeningen of met omloopriolen.

Steeds is sprake van langskrachten op de schepen. Bij de hier gepresenteerde langsvulsystemen zijn de dwarskrachten op de schepen beperkt. Dit hoeft echter niet altijd het geval te zijn. Wanneer de kolk asymmetrisch gevuld of geledigd wordt omdat bijvoorbeeld een deel van de deuropeningen of een omloopriool buiten gebruik is, ontstaat een duidelijk asymmetrisch stroombeeld in de kolk met dwarskrachten. Ook wanneer schepen voor riooluitmondingen of voor wandopeningen liggen treden dwarskrachten op.

6.4 Dimensionering

6.4.1 Procedure

Voordat tot een voorontwerp van het vul- en ledigingssysteem gekomen kan worden, moeten eerst het type systeem, de maatgevende situatie en de verdere gegevens bekend zijn. De diverse type systemen zijn in par. 6.2 behandeld, par. 6.4.2 gaat in op de maatgevende situatie en de verdere gegevens (zie Lit. [6.12]).

Vervolgens zullen voor het voorontwerp de in deze paragraaf gepresenteerde berekeningen uitgevoerd moeten worden. Dit kan volgens de beschrijving in par. 6.4.3 (vullen via deuropeningen), par. 6.4.4 (vullen via omloopriolen/woelkelder), par. 6.4.5 (ledigen via deuropeningen) of par. 6.4.6 (ledigen via omloopriolen) of met het PC-programma LOCKDIM. Uitgangspunt bij de berekeningen is dat de belangrijkste componenten van de langskracht op het schip de gestelde maximum langskracht niet mogen overschrijden. De berekeningen leveren de afmetingen op van het vul- en ledigingssysteem, de tijd van de schuiven en de nivelleertijden, alles in voorlopige zin. Belangrijk is hierbij te vermelden dat de berekeningen er impliciet van uitgaan dat voldaan wordt aan de in par. 6.5 gestelde eisen aan de hydraulische vormgeving van het te onderzoeken systeem.

Om het voorontwerp te controleren of voor beperkte vervallen het ontwerp definitief te maken, worden de voorlopige afmetingen en hefsnelheden ingevoerd in het rekenprogramma LOCKFILL, waarna de definitieve waarden vastgesteld kunnen worden. LOCKFILL berekent als functie van tijd de debieten, waterstanden en langskrachten tijdens het nivelleren van sluizen waarbij alle bijdragen in de langskracht verwerkt zijn. Dit programma wordt in par. 6.6 (in het kort) en in Lit. [6.13] behandeld. Opgemerkt wordt dat LOCKFILL een menugestuurd programma is voor de PC.

6.4.2 Maatgevende situatie en verdere gegevens

Voor het voorontwerp van een vul- en ledigingssysteem wordt uitgegaan van de maatgevende situatie in de kolk. Deze situatie is te beschrijven met de kolkwaterstand/initieel verval en met het dwarsprofiel van het schip:

- het maximaal optredende initiële verval over de sluis met de bijbehorende laagste kolkwaterstand of de laagst optredende kolkwaterstand met het bijbehorende maximale verval over de sluis;
- het schip met het grootste dwarsprofiel (in de regel is dit het grootste geladen schip) met de boeg bij de stopstreep; bij duweenheden worden zowel de enkele als de dubbele baklengte doorgerekend.

Omdat op voorhand niet te zeggen is of het maximaal optredende initiële verval of de laagste kolkwaterstand maatgevend is, moeten beide situaties doorgerekend worden.

Bij het voorontwerp wordt uitgegaan van rechthoekige deuropeningen of riolen. Tevens wordt uitgegaan van een constante hefsnelheid van de schuiven. Geen rekening wordt gehouden met eventuele eisen betreffende maximale debieten in de voorhaven ter beperking van hinderlijke translatiegolven.

Verdere verfijningen van bovengenoemde punten komen pas aan de orde bij de verdere uitwerking van het ontwerp. In dit verband is bijvoorbeeld te noemen het debiet aan het begin of het eind van het nivelleerproces te beperken door openingen met vulstukken onderin of bovenin, ronde openingen, schuiven met een driehoekige onderrand of niet-constante hefsnelheden.

Naast bovenstaande gegevens zijn nog nodig:

- type vulsysteem;
- sluisafmetingen (lengte en breedte kolk, niveau kolkvloer, plaats stopstreep);
- overige scheepsgegevens (lengte en massa);
- afvoer-coëfficiënt deuropeningen (geschat als gemiddelde waarde) of ξ -waarden rioolschuiven;
- toelaatbare langskrachten en verticale snelheid van het wateroppervlak.

6.4.3 Vullen met deuropeningen met het oog op dimensionering

De langskracht op een schip tijdens het vullen met deuropeningen (hiermee worden openingen in de deur zelf bedoeld) wordt door 5 componenten bepaald zoals vermeld is in par. 6.3. Twee componenten, te weten a (translatiegolven) en b (impulsafname in langsrichting kolk), zijn dominant en wel op verschillende momenten van het vulproces. Met behulp van deze twee componenten wordt de dimensionering van de openingen afgeleid. De andere componenten c, d en e (wrijving, directe vulstraal en dichtheidsverschillen) worden hierbij buiten beschouwing gelaten.

Zoals vermeld bestaat component a (translatiegolven) uit een gemiddelde en een harmonische bijdrage. Component a is groot aan het begin van het vulproces omdat de blokkering van het dwarsprofiel van de kolk door het schip dan groot is. Hierbij bestaat deze component vrijwel alleen uit de gemiddelde bijdrage vanwege het slechts langzaam toenemende debiet.

De harmonische bijdrage in component a kan groot worden wanneer in het debietverloop knikken aanwezig zijn. Dit geschiedt wanneer de deuropeningen hun maximale grootte bereiken voordat het maximum debiet bereikt is. Belangrijk is dit laatste te voorkomen om het debiet zo vloeiend mogelijk te laten verlopen.

Component b (impulsafname in langsrichting kolk) is maximaal vlak voor het moment van maximaal debiet, wanneer het product van vuldebiet en stroomsnelheid (evenredig met de impuls van de stroming) door de deuropeningen maximaal is.

Uit te stellen eisen aan de hydraulische vormgeving (par. 6.5), blijkt onder meer dat voor een goede straalspreading de totale breedte van de deuropeningen zo groot mogelijk moet zijn. Een praktische aanname is dat deze breedte 0,5 tot 0,67 maal de sluisbreedte is. In Lit. [6.6] zijn aanbevelingen gedaan voor de breedte van een rechthoekige deuropening: 1,40, 2,15 of 2,60 m.

Uit voorgaande worden vier voorwaarden ontwikkeld:

- 1 De afzonderlijke bijdrage in de langskracht van component a (translatiegolven) aan het begin van het vulproces mag de toelaatbare langskracht niet overschrijden.
- 2 De afzonderlijke bijdrage in de langskracht van component b (impulsafname), vlak voor het moment van maximaal debiet mag de toelaatbare langskracht niet overschrijden.
- 3 Het debietverloop moet vloeiend zijn door het moment van maximale deuropeningen later te doen vallen dan het moment van het maximum-debiet.
- 4 De totale breedte van de deuropeningen bedraagt 0,5 à 0,67 maal de sluisbreedte. Opgemerkt wordt dat binnenvaartsluizen meestal ondieper zijn dan zeevaartsluizen. Binnenvaartsluizen hebben daarom openingen die wat breder en lager zijn dan bij zeevaartsluizen.

Bij een onder voorwaarde 4 gekozen totale breedte van de vulopeningen volgen uit de voorwaarden 1 en 2 maximale hefsnelheden van de schuiven. De laagste van de twee moet toegepast worden. Uit voorwaarde 3 volgt de hefhoogte van de schuiven.

In de berekening wordt de toelaatbare langskracht lager gesteld (bijvoorbeeld 0,8 ‰) dan de werkelijk toelaatbare langskracht. Dit wordt gedaan omdat sprake is van een schematische berekening, waarbij maar een deel van de componenten van de langskracht meegenomen wordt.

Uit voorwaarde 1 volgt de eerste maximale hefsnelheid:

$$v_{h0} = \frac{F'_p \cdot g \cdot A_{ks0}}{1000 \cdot \mu \cdot b_h \cdot v_0} \quad (6.1)$$

waarin:	v_{h0}	= hefsnelheid ten gevolge van translatiegolf-invloed	(m/s)
	F'_p	= positieve langskracht (bijv. +0,80 ‰)	(‰)
	A_{ks0}	= natte doorsnede naast het schip op $t = t_0$	
		= $((h_{ben} - z_k) b_k - A_s)$	(m ²)
	h_{ben}	= benedenstroomse waterstand (= init. kolkwaterst.)	(m t.o.v. NAP)

z_k	= niveau sluisbodem	(m t.o.v. NAP)
b_k	= breedte sluis	(m)
A_s	= dwarsdoorsnede schip = $b_s d_s$	(m ²)
b_s	= breedte schip	(m ²)
d_s	= diepgang schip	(m ²)
μ	= afvoercoëfficiënt (bijv. tussen 0,65 en 0,75)	(-)
b_h	= breedte vulopeningen (bijv. tussen 0,5 en 0,67 van de sluisbreedte, voorwaarde 4)	(m)
v_0	= $\sqrt{2 g \Delta h_0}$	(m/s)
Δh_0	= beginverval = $h_{bov} - h_{ben}$	(m)
h_{bov}	= bovenstroomse waterstand	(m t.o.v. NAP)
g	= 9,81 = versnelling zwaartekracht	(m/s ²)

Uit voorwaarde 2 volgt de tweede maximale hefsnelheid:

$$v_{hm} = \frac{-F'_n A_{ksm} c_b g l_s}{16000/27 \mu b_h v_0 V (c_{l1} / A_{str} - c_{l2} / A_{ksm})} \quad (6.2)$$

waarin:	v_{hm}	= hefsnelheid ten gevolge van invloed vulstralen	(m/s)
	F'_n	= negatieve langskracht (bijv. -0,80 ‰)	(‰)
	A_{ksm}	= natte doorsnede naast het schip bij max. debiet = $(h_{ben} + 5/9 \Delta h_0 - z_k) b_k - A_s$	(m ²)
	c_b	= blokcoëfficiënt schip (bijv. 0,90)	(-)
	l_s	= lengte schip	(m)
	V	= $b_k l_k \Delta h_0$	(m ³)
	l_k	= lengte sluis	(m)
	A_{str}	= $1,5 b_h d_2 (h_{ben} - z_k)$	(m ²)
	d_2	= coëfficiënt voor doorsnede straal (aanbev. 0,25)	(-)
	c_{l1}	= $((l_k - x_b) / l_k)^2$	(-)
	c_{l2}	= $((l_k - l_s - x_b) / l_k)^2$	(-)
	x_b	= afstand boeg/vuldeur	(m)

Uit vergelijkingen (6.1) en (6.2) volgt de maatgevende hefsnelheid:

$$v_h = v_{h0} \text{ als } v_{h0} < v_{hm} \quad (6.3a)$$

$$v_h = v_{hm} \text{ als } v_{h0} > v_{hm} \quad (6.3b)$$

waarin:	v_h	= maatgevende hefsnelheid	(m/s)
---------	-------	---------------------------	-------

Uit voorwaarde 3 volgt dan de heftijd van de schuiven:

$$t_h = d_3 \sqrt{\frac{2 b_k l_k v_0}{3 g \mu v_h b_h}} \quad (6.4)$$

waarin:	t_h	= heftijd schuiven	(s)
	d_3	= verhouding tijdstip einde heffen en max. debiet met $1 < d_3 < \sqrt{3}$ (aanbev. $d_3 = 1,35$)	(-)

Uit vergelijkingen (6.3a,b) en (6.4) volgt dan de maximale oppervlakte en hefhoogte van de deurvulopeningen:

$$A_h = b_h v_h t_h \quad (6.5a)$$

$$h_h = v_h t_h \quad (6.5b)$$

waarin: A_h = oppervlakte vulopeningen (m²)
 h_h = hefhoogte schuiven (m)

De vultijd van de kolk (verval 0) is:

$$t_{ev} = 1/2 t_h + \frac{b_k l_k v_0}{g \mu A_h} \quad (6.6)$$

waarin: t_{ev} = vultijd kolk (s)

6.4.4 Vullen met omloopriolen/woelkelder met het oog op dimensionering

In principe geschiedt het dimensioneren voor het voorontwerp bij het vullen met omloopriolen/woelkelder op overeenkomstige wijze als dat met deuropeningen. Omdat vooral bij hoge vervallen de hydraulische verschijnselen heftig zijn, waarbij ook andere zaken meespelen (luchtaanzuiging, cavitatie, geometrie, zie par. 6.5.2), wordt sterk aangeraden bij het voorontwerp deskundigen in te schakelen.

Bij het voorontwerp wordt het effect van de traagheid van de riolen nog niet meegenomen. De riolen met schuiven worden als deuropeningen met schuiven behandeld en de woelkelder zorgt voor een goed gespreide stroming in de kolk. Dit wordt als volgt in de berekening verwerkt:

- de totale breedte (b_h) en het maximum-oppervlak (A_h) van de deuropeningen wordt vervangen door de totale breedte (b_r) en het maximum-oppervlak (A_r) van de riolen;
- voorwaarde 4 voor een minimale, totale breedte van de deuropeningen vervalt omdat de woelkelder voor de spreiding zorgt; de totale breedte van de riolen is bijvoorbeeld gesteld op $b_r = 0,33 b_k$ (b_k = breedte kolk);
- normaliter wordt bij de berekening van het debiet door riolen gewerkt met een rij ξ -waarden voor de totale rioolweerstand (instroom-, bocht-, wrijvings-, schuif- en uittreeverliezen). De ξ -waarden worden betrokken op de snelheidshoogte van de stroming in de gehele riooldoorsnede en zijn een functie van de schuifstand. Voor het voorontwerp wordt de rij ξ -waarden vervangen door een μ -waarde (afvoer-coëfficiënt) betrokken op de schuifopening zoals bij de deuropeningen, bijvoorbeeld tussen 0,70 en 0,80.
- aangezien de woelkelder het vuldebiet over het gehele uitstroomoppervlak van de woelkelder verdeelt, wordt een andere uitdrukking voor A_{str} gedefinieerd:

$$A_{str} = b_k (h_w - z_w)$$

met: b_k = breedte kolk (m)
 h_w = bovenkant uitstroming woelbak (m t.o.v. NAP)
 z_w = onderkant uitstroming woelbak (m t.o.v. NAP)

Wanneer de waterstand bij het maximum debiet nog niet de bovenkant van de woelbak bereikt heeft, moet h_w vervangen worden door $(h_{ben} + 5/9 \Delta h_0)$.

De verdere berekening verloopt geheel analoog het vullen met deuropeningen (par. 6.4.3) via de vergelijkingen (6.1) tot en met (6.6).

Opgemerkt wordt dat bij de toepassing van het type woelkelder/omloopriolen met een hoog verval vaak een niet-constante hefsnelheid van de schuiven toegepast wordt om de vultijd van de kolk te beperken. Dit is niet in bovengenoemde opzet verwerkt.

6.4.5 Ledigen met deuropeningen met het oog op dimensionering

De langskracht op een schip tijdens het ledigen met deuropeningen wordt door drie componenten bepaald, zoals vermeld is in par. 6.3. Eén component, te weten a (translatiegolven) is dominant en wel op twee momenten van het ledigingproces. Met behulp van deze component wordt de dimensionering van de deuropeningen afgeleid. Component b (impulsafname in langsrichting kolk) kan soms niet onbelangrijk zijn, hierop wordt alleen gecontroleerd. Component c (wrijving) wordt buiten beschouwing gelaten.

Uit het bovenstaande zijn vier voorwaarden te ontwikkelen:

- 1 De afzonderlijke bijdrage in de langskracht van component a (translatiegolven) aan het eind van het ledigingsproces mag de toelaatbare langskracht niet overschrijden.
- 2 Evenzo aan het begin van het ledigingsproces.
- 3 Het debietverloop moet vloeiend zijn door het moment van maximale deuopeningen later te doen vallen dan het moment van het maximum debiet.
- 4 De afzonderlijke bijdrage in de langskracht van component b (impulsafname) kort voor het moment van maximaal debiet mag de toelaatbare langskracht niet overschrijden.

De totale breedte van de openingen is bij ledigen van minder belang voor de stroming in de kolk. Vanwege de aantasting van de bodem buiten de sluis kolk is toch eenzelfde breedte als bij het vullen aan te raden.

Uit voorwaarde 1 volgt het maximum oppervlak van de deuopeningen. Uit de voorwaarden 2 en 3 volgen maximale hefsnelheden van de schuiven, de laagste van de twee moet toegepast worden. Met voorwaarde 4 wordt de negatieve langskracht gecontroleerd.

Uit voorwaarde 1 volgt het maximum oppervlak van de deuopeningen:

$$A_h = \sqrt{\frac{F'_p A_{kse} b_k l_k}{1000 \mu^2}} \quad (6.7)$$

waarin:	A_h	= totale ledigingsopening	(m ²)
	F'_p	= toel. positieve langskracht (bijvoorbeeld +0,80 ‰)	(‰)
	A_{kse}	= natte doorsnede naast het schip op $t = t_e$	
		= $(h_{ben} - z_k) b_k - A_s$	(m ²)
	h_{ben}	= benedenstroomse waterstand	(m t.o.v. NAP)
	z_k	= niveau sluisbodem	(m t.o.v. NAP)
	b_k	= breedte sluis	(m)
	A_s	= dwarsdoorsnede schip = $b_s d_s$	(m ²)
	l_k	= lengte sluis	(m)
	μ	= afvoercoëfficiënt (afhankelijk van vormgeving opening, bijv. tussen 0,65 en 0,75)	(-)

Uit voorwaarde 2 volgt de eerste maximale hefsnelheid:

$$v_{h0} = \frac{-F'_n g A_{ks0}}{1000 \mu b_h v_0} \quad (6.8)$$

waarin:	v_{h0}	= hefsnelheid tgv start translatie-golfinvloed	(m/s)
	F'_n	= toel. negatieve langskracht (bijvoorbeeld -0,80 ‰)	(‰)
	A_{ks0}	= $(h_{bov} - z_k) b_k - A_s$	(m ²)
	h_{bov}	= bovenstroomse waterstand (= init. kolkwaterst.)	(m t.o.v. NAP)
	b_h	= breedte ledigingsopeningen (bijvoorbeeld tussen 0,5 en 0,67 van de sluisbreedte)	(m)
	v_0	= $\sqrt{2 g \Delta h_0}$	(m/s)
	Δh_0	= beginval	(m)

Uit voorwaarde 3 volgt de tweede maximale hefsnelheid:

$$v_{hh} = \frac{3 \mu A_h^2 v_0}{4 d_3^2 b_h V} \quad (6.9)$$

waarin:	v_{hh}	= hefsnelheid tgv vloeiend verloop debiet	(m/s)
	A_h	= totale ledigingsopening, uit vergelijking (6.7)	(m ²)
	v_0	= $\sqrt{2 g \Delta h_0}$	(m/s)
	d_3	= verhouding tijdstip einde heffen en max. debiet met $1 < d_3 < \sqrt{3}$ (aanbev. $d_3 = 1,10$)	(-)
	V	= $b_k l_k \Delta h_0$	(m ³)

Uit vergelijkingen (6.8) en (6.9) volgt de maatgevende hefsnelheid:

$$v_h = v_{h0} \text{ als } v_{h0} < v_{hh} \quad (6.10a)$$

$$v_h = v_{hh} \text{ als } v_{h0} > v_{hh} \quad (6.10b)$$

waarin:	v_h	= maatgev. hefsnelheid	(m/s)
---------	-------	------------------------	-------

Uit vergelijking (6.4) volgen de heftijd en de maximale hefhoogte van de deuropeningen:

$$t_h = A_h / (v_h b_h) \quad (6.11a)$$

$$h_h = v_h t_h \quad (6.11b)$$

waarin:	t_h	= heftijd schuiven	(s)
	A_h	= totale ledigingsopening, uit vergelijking (6.7)	(m ²)
	h_h	= hefhoogte schuiven	(m)

De ledigingstijd is:

$$t_{el} = 1/2 t_h + \frac{b_k l_k v_0}{g \mu A_h} \quad (6.12)$$

waarin:	t_{el}	= ledigingstijd kolk	(s)
---------	----------	----------------------	-----

Met voorwaarde 4 wordt de negatieve langskracht gecontroleerd:

$$F'_m = \frac{-16000/27 \mu b_h v_h v_0 V (c_{l1} / A_{ksm} - c_{l2} / A_{km})}{g l_s c_b A_{km}} \quad (6.13)$$

waarin:	F'_m	= negatieve langskracht tijdens maximum debiet = bijvoorbeeld maximaal -0,8 ‰	(‰)
	v_h	= maatgevende hefsnelheid uit vergelijking (6.10a/b)	(m/s)
	c_{l1}	= $((l_k - x_b) / l_k)^2$	(-)
	x_b	= afstand boeg/ledigingsdeur	(m)
	A_{ksm}	= natte doorsnede naast het schip tijdens max. debiet = $(h_{bov} - 5/9 \Delta h_0 - z_k) b_k - A_s$	(m ²)
	c_{l2}	= $((l_k - l_s - x_b) / l_k)^2$	(-)
	l_s	= lengte schip	(m)
	A_{km}	= natte doorsnede achter het schip tijdens max. debiet = $(h_{bov} - 5/9 \Delta h_0 - z_k) b_k$	(m ²)
	c_b	= blokcoëfficiënt schip	(-)

Is de berekende negatieve langskracht F'_m te hoog, dan moet de oppervlakte van de openingen A_h of de hefsnelheid v_h verminderd worden.

6.4.6 Ledigen met omloopriolen met het oog op dimensionering

Vanwege hoge aanlegkosten worden omloopriolen voor het ledigen vermeden. In plaats daarvan worden deuropeningen toegepast tenzij dit hydraulisch gezien niet mogelijk is. Het dimensioneren voor het voorontwerp van omloopriolen bij het ledigen wordt op dezelfde wijze gedaan als bij deuropeningen. Het effect van de traagheid van de riolen wordt niet meegenomen en de riolen met schuiven worden als deuropeningen met schuiven behandeld. Dit laatste wordt als volgt in de berekening verwerkt:

- De totale breedte (b_h) en het maximum oppervlak (A_h) van de deuropeningen wordt vervangen door de totale breedte (b_r) en het maximum oppervlak (A_r) van de riolen. De totale breedte van de riolen is bijvoorbeeld $b_r = 0,33 b_k$ (b_k = breedte kolk).
- Voor het voorontwerp worden de ξ -waarden voor de weerstand van de riolen vervangen door een μ -waarde (afvoercoëfficiënt) betrokken op de schuifopening zoals bij de deuropeningen, bijvoorbeeld $\mu = 0,70$ à $0,80$.

De verdere berekening verloopt geheel analoog aan het ledigen met deuropeningen (par. 6.4.5) via vergelijkingen (6.7) tot en met (6.13).

6.5 Hydraulische vormgeving

Naast de grootte van de openingen en het schuifprogramma bepaalt ook de hydraulische vormgeving de kwaliteit van het vul- en ledigingssysteem. Het gaat om de vraag of de krachten op de schepen toelaatbaar zijn bij redelijk korte nivelleertijden (zie lit. [6.12]).

6.5.1 Vullen met deuropeningen met het oog op vormgeving

6.5.1.1 Algemeen

De eisen die gesteld worden aan de vormgeving van deuropeningen komen primair voort uit het beperken van de krachten op de schepen tijdens het nivelleren. De eisen zijn:

- *Gelijkmatige stroomverdeling*
De vormgeving moet zodanig zijn dat de vulstroom met zijn hoge stroomsnelheden zo goed mogelijk over het volledige natte dwarsprofiel zo dicht mogelijk achter de openingen gespreid wordt.
- *Stroomrichting*
De stroomrichting moet gericht zijn volgens de langsas van de sluis.
(NB. Bij gebruik van een bodemverdediging van stortsteen in de kolk zijn deze eisen ook relevant.)

Om aan deze eisen te voldoen wordt uitgegaan van de volgende hydraulische principes:

- *Spreiden van de straal*
Meerdere kleine stralen, die niet samenwerken, breken veel sneller af dan enkele, grote stralen. De meerdere, kleine stralen worden verdeeld over het natte dwarsprofiel.
- *Opwekken van turbulentie*
De energie uit de vulstraal wordt afgebroken door het opwekken van veel turbulentie. Dit kan plaatsvinden door weerstanden te plaatsen aan de benedenstroomse zijde van de openingen.
- *Richten van de straal*
Het debiet moet uiteindelijk gericht worden volgens de langsas van de sluis-as om het samengaan van stralen met elkaar of met de wanden tegen te gaan. De stroomsnelheden moeten tevens horizontaal gericht zijn om woelingen aan het oppervlak te voorkomen.

De vormgeving van vulopeningen moet zoveel mogelijk aan voornoemde eisen en hydraulische principes voldoen. Dit kan bereikt worden door de in par. 6.5.1.2 tot en met par. 6.5.1.5 genoemde punten in acht te nemen.

Foto's 6.1 t/m 6.6 geven een overzicht van mogelijke stroombeelden. Zeer woelig kan het water zijn bij een vulsysteem door het trekken van de hefdeur (foto 6.2 en 6.3) bij een groot verval. Ook bij vullen door deuropeningen zonder breekbalken (fig. 6.4) kan het water achter de vuldeur onrustig zijn. Foto's 6.1, 6.5 en 6.6 laten stroombeelden achter deuropeningen met breekbalken zien die rustiger verlopen.



Foto 6.2 Stroombeeld tijdens vullen d.m.v. heffen bovendeur van oude sluis te Born



Foto 6.3 Stroombeeld tijdens vullen d.m.v. heffen bovendeur van sluis te Eefde



Foto 6.4 Stroombeeld tijdens vullen d.m.v. deuropeningen van sluis in het Noord Willemkanaal

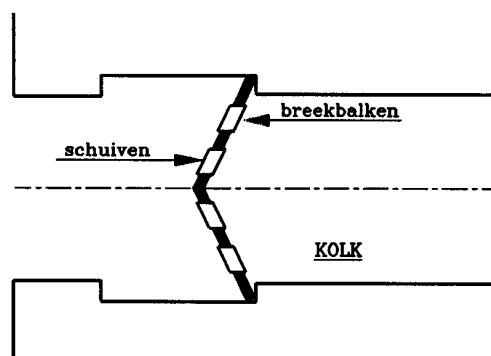


Foto 6.5 Stroombeeld tijdens vullen d.m.v. deuropeningen van duwvaartsluizen in de Volkerak



Foto 6.6 Stroombeeld tijdens ledigen d.m.v. deuropeningen van Kleine Sluis te IJmuiden

6.5.1.2 Plaats schuiven en breekbalken

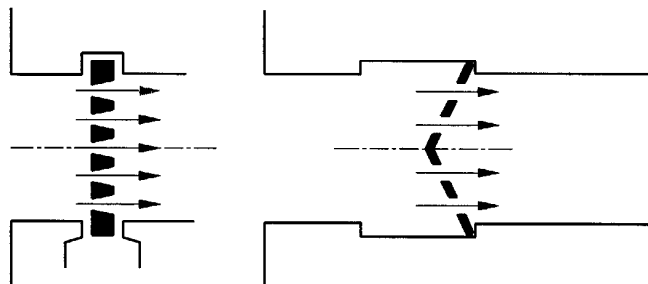


Figuur 6.12 Plaats van schuiven en breekbalken (horizontale doorsnede)

Plaats de schuiven aan de buitenzijde van de deur (bovenstroomse zijde), de hoogste stroomsnelheden treden dan in de deur op (fig. 6.12).

De stromingsweerstand (bijvoorbeeld breekbalken) wordt aan de kolkzijde (benedenstroomse zijde) geplaatst zodat de hoogste stroomsnelheden afgebroken zijn voordat ze de kolk instromen.

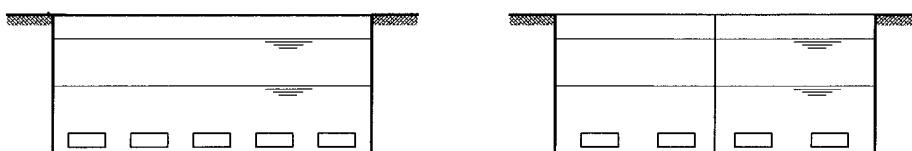
6.5.1.3 Plaats, aantal en vorm van de openingen



Figuur 6.13 Verdeling in breedte van de openingen

Verdeel de openingen zo goed mogelijk over de breedte van de kolk en maak de openingen gelijk. Dit bewerkstelligt een gelijkmatig debiet in breedterichting van de kolk (fig. 6.13).

Gebruik zoveel mogelijk openingen. Meerdere, kleine stralen breken sneller af dan enkele grote stralen.



Figuur 6.14 Brede, lage en laaggelegen openingen (vooraanzicht deur)

Voor een gelijkmatige verdeling van het debiet in de breedte en voor een goede afbraak van de stroomsnelheden over de gehele waterdiepte, moeten lage, brede openingen worden toegepast (fig. 6.14).

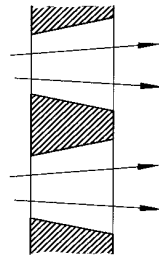
Breng de openingen aan in de onderste helft van de laagste waterdiepte. Hierdoor wordt de straalwerking tegen de boeg beperkt tijdens het maximale debiet en wordt voorkomen dat het wateroppervlak erg woelig is.

Binnenvaartsluizen zijn bij de laagste waterstand meestal ondieper dan zeevaartsluizen. Daarom moeten binnenvaartsluizen iets bredere en lagere openingen hebben dan zeevaartsluizen. Bij toepassing van rechthoekige openingen wordt voor binnenvaartsluizen een totale breedte van de vulopeningen van ongeveer 0,67 x de sluisbreedte en voor zeevaartsluizen ruim 0,5 x de sluisbreedte aangeraden.

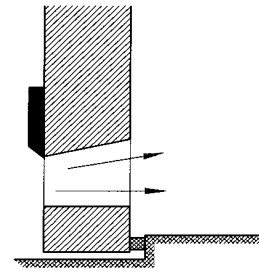
In Lit. [6.6] zijn standaardbreedten van deuropeningen geadviseerd van 2,60 m, 2,15 m en 1,40 m. Vaak wordt hier echter van afgeweken omdat de sluizen toch niet uitwisselbaar zijn. De standaardbreedten leveren bij verschillende sluisbreedten het volgende op:

Sluisbreedte [m]	Breedte opening [m] (binnenvaartsluis)	Breedte opening [m] (zeevaartsluis)
24	6 x 2,60	6 x 2,15
16	5 x 2,15 of 4 x 2,60	4 x 2,15
12,5	6 x 1,40	5 x 1,40 of 6 x 1,40
10,5	5 x 1,40 of 2 x 2,15 + 2 x 1,40	4 x 1,40
8,5	4 x 1,40	

Opmerking: Een even aantal openingen bij puntdeuren, even en oneven bij enkele draaideur, roldeur en hefdeur.



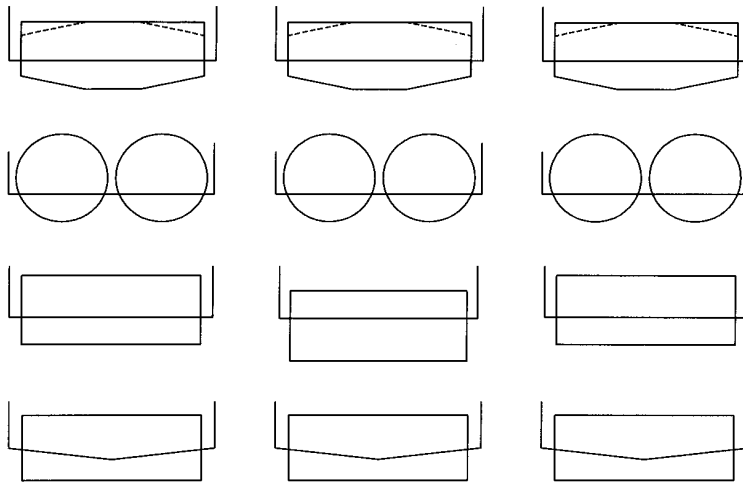
Horizontale divergentie (horizontale doorsnede)



Verticale divergentie (verticale doorsnede)

Figuur 6.15 Divergentie openingen

Maak de openingen divergerend (fig. 6.15). Horizontale divergentie is bedoeld om de spreiding in breedte te bevorderen en verticale divergentie om de spreiding in hoogtezin te bevorderen. Dit laatste wordt bewerkstelligd door het plafond in de opening op te laten lopen.



Figuur 6.16 Beïnvloeding oppervlak deuropeningen in de tijd

Het kan gunstig zijn het oppervlak van de openingen niet lineair in de tijd toe te laten nemen om zodoende de amplitude van de krachten op de schepen ten gevolge van translatiegolven te beperken (fig. 6.16). Dit kan door in het begin van het vulproces en op het moment dat de openingen volledig geopend zijn, het debietverloop in de tijd zo vloeiend mogelijk te laten verlopen.

Dit kan worden bereikt door een niet-lineaire schuifheffing (variërende hefsnelheid met soft-start en -stop) met rechthoekige openingen of door een lineaire schuifheffing (constante hefsnelheid) met qua vorm bijzondere openingen. Deze bijzondere vormen kunnen zijn: openingen met driehoekige vulstukken onderin (en eventueel bovenin), ronde openingen, openingen met verschillende niveaus van de onderkant (en eventueel bovenkant) of gelijke, rechthoekige openingen met aangepaste schuif-onderanden.

Foto's 6.7 t/m 6.13 tonen voorbeelden van deuropeningen met schuiven en breekbalken.



Foto 6.7 Deuropeningen in de hefdeur van Prinses Beatrixsluizen te Nieuwegein

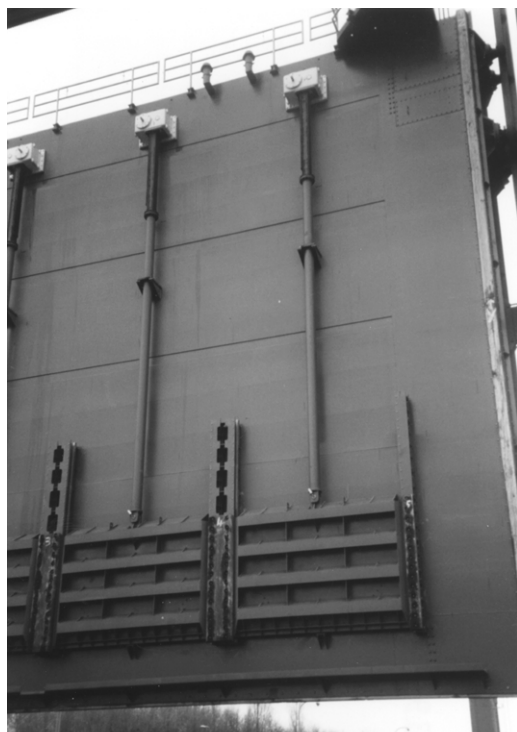


Foto 6.8 Schuiven voor rechthoekige openingen in de hefdeur van nieuwe sluis te Weurt



Foto 6.9 Breekbalken achter rechthoekige openingen in de hefdeur van nieuwe sluis te Weurt



Foto 6.10 Deurschuiven voor de rechthoekige openingen van de puntdeuren van Kleine Sluis te IJmuiden



Foto 6.11 Breekbalken achter de rechthoekige openingen van de puntdeuren van Kleine Sluis te IJmuiden

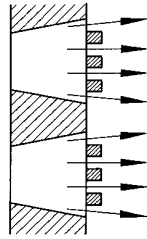


Foto 6.12 Schuiven voor de ronde openingen van de glijdeur van Nieuwe Oranjesluis te Amsterdam

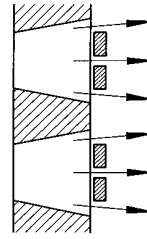


Foto 6.13 Breekbalken achter de ronde openingen van de glijdeur van Nieuwe Oranjesluis te Amsterdam

6.5.1.4 Benedenstroomse weerstand



Verticale breekbalken (horizontale doorsnede)

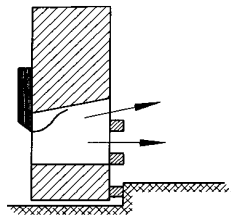


Verticale breekplaten (horizontale doorsnede)

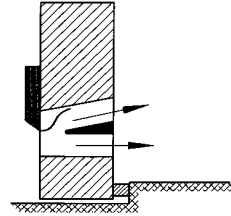
Figuur 6.17 Benedenstroomse weerstand met verticale balken

Toepassing van verticale breekbalken is bedoeld om het debiet gelijkmatig verdeeld uit te laten stromen tussen de breekbalken (fig. 6.17). De breekbalken werken als een weerstandsrooster, waarbij de afvoercoëfficiënt van de openingen verlaagd wordt. De blokkering door de breekbalken moet tenminste 50% bedragen van het benedenstroomse oppervlak van de openingen zonder breekbalken.

Een alternatief is de toepassing van breekplaten die vlak achter de openingen worden aangebracht.



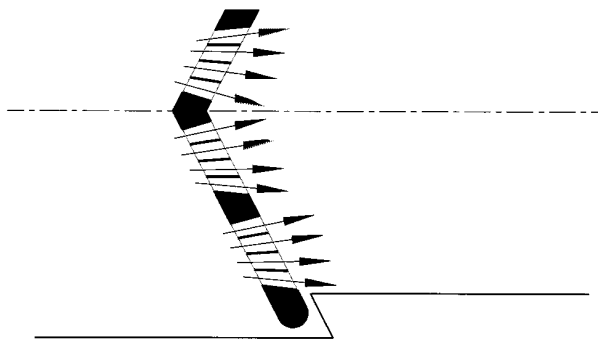
Horizontale balken (verticale doorsnede)



Horizontale schoep (verticale doorsnede)

Figuur 6.18 Benedenstroomse weerstand met horizontale balken

Indien verticale breekbalken niet kunnen worden toegepast, kunnen één of meerdere horizontale balken aan de benedenstroomse zijde van de openingen geplaatst worden (fig. 6.18). Deze horizontale balken kunnen rechthoekig of driehoekig (tophoek bovenstrooms) van doorsnede zijn. De balken zijn bedoeld om de straal te splitsen in twee aparte stralen boven elkaar en/of te richten.



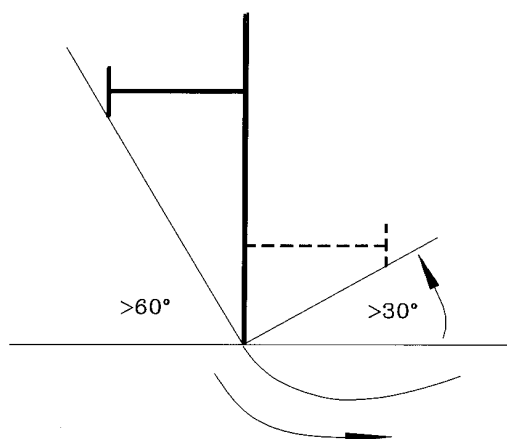
Figuur 6.19 Verticale schoepen bij puntdeuren (horizontale doorsnede)

Breng bij puntdeuren eventueel verticaal staande schoepen aan in de openingen (fig. 6.19) in combinatie met horizontale breekbalk(en). Zonder voorzieningen zal de straal loodrecht op de puntdeur staan, waarbij een centrale stroom in de sluisas ontstaat. Verticaal staande, rechte schoepen in de openingen kunnen de straal in de richting van de sluisas dwingen.

De totale benedenstroomse opening (d.w.z. tussen de breekbalken) moet groter zijn dan de totale bovenstroomse opening. De grootste stroomsnelheden moeten in de deur optreden en niet daarbuiten.

De kleinste openingen tussen de breekbalken moeten ten minste 0,30 m bedragen. Drijvend en zwevend vuil blijft steken in te nauwe spleten.

6.5.1.5 Schuifonderrand



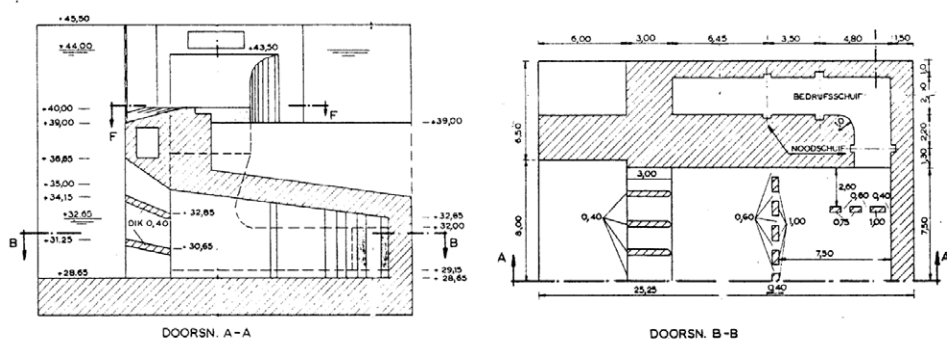
Figuur 6.20 Schuifonderrand

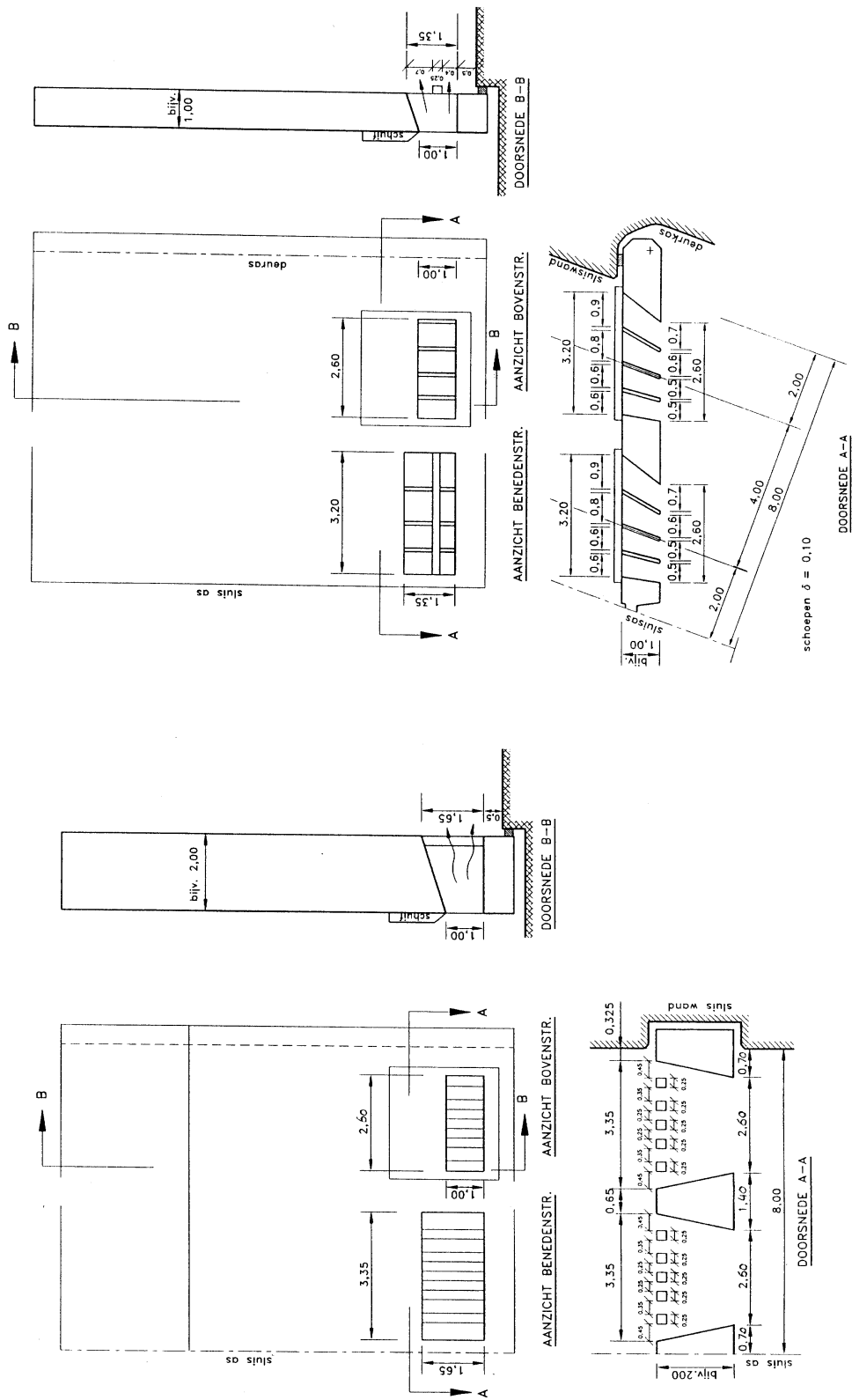
Om trillingen van de schuif te vermijden moet steeds een vast loslaatpunt voor de stroming onder de schuif gecreëerd worden (fig. 6.20). Hiertoe moet de schuifonderrand zo scherp mogelijk zijn. De hoek tussen de verbindinglijn van de horizontale verstijvingsligger naar de onderrand met de horizontaal moet bovenstrooms ten minste 60° en benedenstrooms ten minste 30° zijn.

In de fig. 6.21 t/m 6.24 zijn vier voorbeelden gegeven van mogelijke vormgevingen van de openingen. Het betreft hier binnenvaartsluizen (fig. 6.21 en 6.22) en kleine zeesluizen (fig. 6.23 en 6.24) van 16 m breedte. De fig. 6.21 en 6.23 geven een oplossing met verticale breekbalken bij vlakke deuren. fig. 6.22 is een schoepen-oplossing en fig. 6.24 een oplossing met verticale breekbalken bij puntdeuren.

6.5.2 Vullen met omloopriolen en woelkelder met het oog op vormgeving

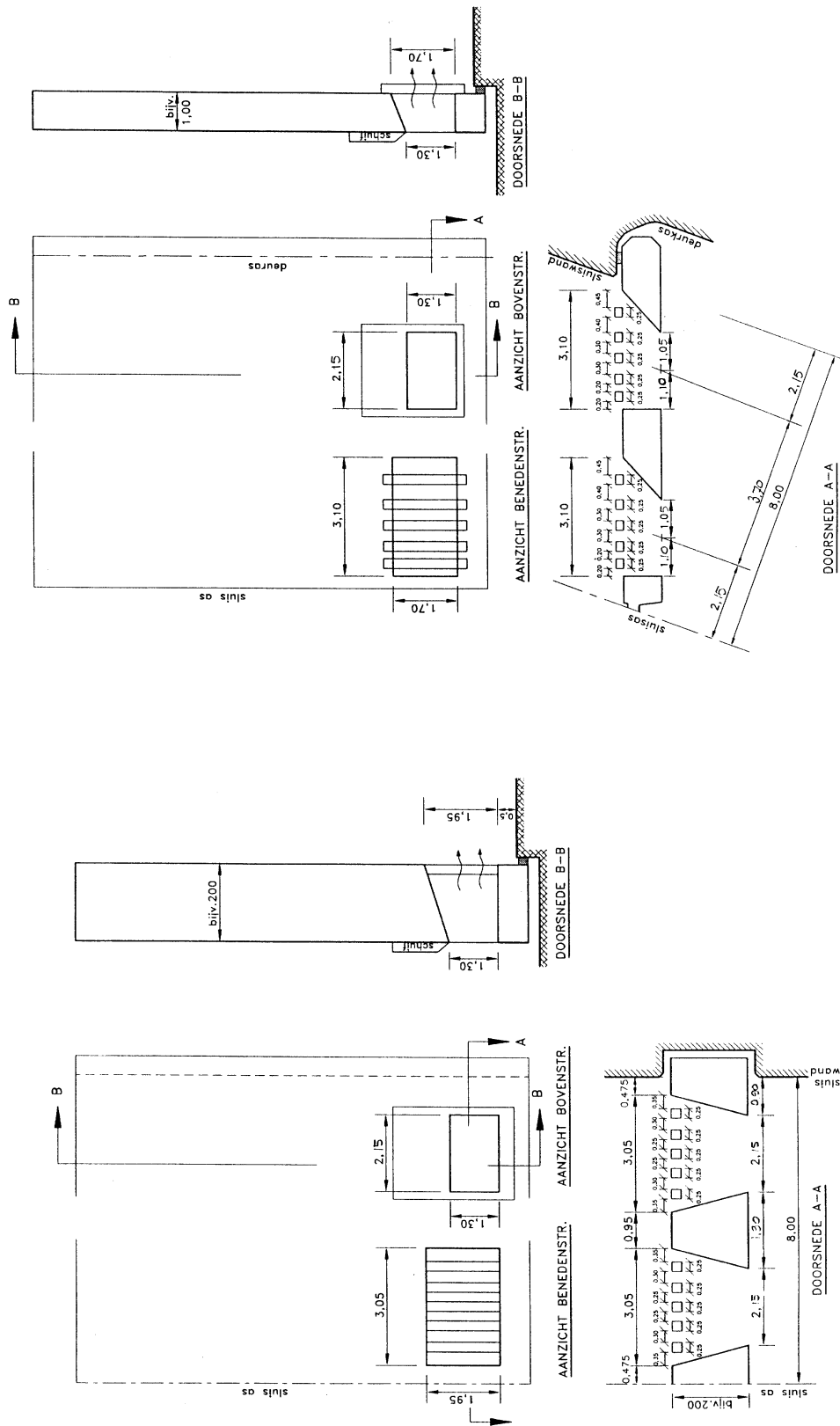
Omloopriolen met een woelkelder worden in de regel toegepast bij hoge vervallen. De hydraulische verschijnselen zijn daarbij heftig en zeer gevoelig voor de afmetingen en vormgeving van de omloopriolen en de woelkelder. Uitwerking van een voorontwerp moet daarom overgelaten worden aan deskundigen en zo mogelijk gebaseerd zijn op bestaande woelkelders, of worden gebaseerd op modelonderzoeken.





Figuur 6.21 Voorbeeld vormgeving vulopeningen voor 16 m binnenvaartsluis met vlakke deur en verticale breekbalken

Figuur 6.22 Voorbeeld vormgeving vulopeningen voor 16 m binnenvaartsluis met puntdeuren en verticale schoepen



Figuur 6.24 Voorbeeld vormgeving vulopeningen voor 16 m zeevaartsluis met puntdeuren en verticale breekbalken

Figuur 6.23 Voorbeeld vormgeving vulopeningen voor 16 m zeevaartsluis met vlakke deur en verticale breekbalken

6.5.2.1 Omloopriolen

Bij omloopriolen in combinatie met een woelkelder wordt aan bovenstroomse zijde de stroming ingelaten in de instroomopening in de deurkaswand van het bovenhoofd (fig. 6.25) die net boven het niveau van de bovenstroomse bodem is gelegen. Ook kan de stroming in een haaks op de sluiswand staande vleugelwand ingelaten worden. Het water valt daarbij in een verticale schacht en wordt afgebogen in een horizontaal rioolgedeelte, evenwijdig aan de sluiswand op het niveau van de kolkbodem. In dit horizontale gedeelte bevinden zich de regel- en de noodschuiven en de eventuele schuifschachten. Vervolgens wordt het water loodrecht uit de kolkwand de woelkelder ingebracht.

Een mogelijk probleem bij de omloopriolen is lucht.

Wanneer het water in het riool veel lucht in de vorm van luchtbelletjes meeneemt kan deze lucht door de korte verblijftijd in de kelder niet ontwijken en komt als water/lucht mengsel in de kolk terecht. Hierdoor wordt de waterspiegel in de kolk zeer onrustig en kan de diepgang van een klein, geladen schip toenemen waardoor dat overspoeld kan worden en aanzienlijke krachten ondervindt.

Als luchtbelletjes zich ergens in het rioolsysteem gaan verzamelen, dan ontstaan vaak onduidelijke traagheidsverschijnselen in het riool en gaat de debietverdeling op moeilijk voorspelbare wijze afwijken. Op een zeker moment kan de lucht via een schuifschacht ontwijken en komt met een klap tegen het plafond, resulterend in lokaal zeer hoge drukken.

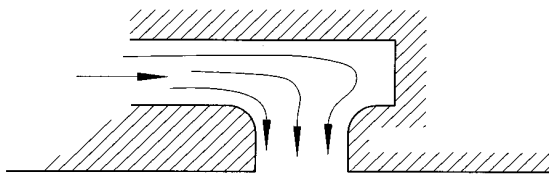
Het gevaar voor meenemen van lucht bestaat op twee plaatsen: de inlaat van het riool waar lucht via draaikolken (vortexen) kan intreden en benedenstrooms van de schuif, waar als gevolg van de hoge impuls in de stroming een lage druk heerst.

Bij de inlaat is dit probleem van lucht meenemen alleen op te lossen door de inlaatopeningen voldoende diep te kiezen en een goede afronding te geven zodat het inlaten met lage snelheden plaatsvindt. De inlaat moet daarbij vortex-vrij ontworpen zijn.

Om het probleem bij de schuiven te voorkomen moeten deze bij voorkeur van het gesloten type zijn (bijvoorbeeld vlinderkleppen of schuifafsluiters). Indien een schuifschacht wordt toegepast die aan de bovenzijde open is, moet het plafond van het riool voldoende laag liggen: luchtaanzuiging wordt alleen voorkomen wanneer dit plafond achter de schuif diep gelegd wordt en wel op een niveau van een keer het verval onder de benedenwaterstand. Dit laatste is echter in de praktijk meestal niet goed realiseerbaar zodat luchtaanzuiging veelal niet voorkomen kan worden.

Om contractie van de stroming in het riool tegen te gaan en zo de werkzame riooldoorsnede te verkleinen, moeten de binnenhoeken van het omlooprioel altijd afgerond worden.

De uitstroming van het riool moet zo loodrecht mogelijk op de sluiswand geschieden om de uittredende stralen te laten botsen op kolommen of een wand. Dit kan bevorderd worden door het riool iets door te zetten (fig. 6.26) de kolk in.



Figuur 6.26 Doorzetten riool voor uitmonding

Wanneer twijfels bestaan over het voldoende in breedte spreiden van de stroming door de woelkamer, kan elk omlooprioel dubbel uitgevoerd worden.

Cavitatie treedt op bij vervallen groter dan ca. 10 m indien niet voor voldoende drukhoogte gezorgd wordt. Dit betekent dat rioolschuiven voldoende diep aangelegd moeten worden. Als gevolg van cavitatie treden beschadigingen in de constructie op.

Maatgevend voor het systeem is de situatie wanneer een omlooprioel buiten gebruik is en het andere riool alles te verwerken krijgt. Het stroombeeld is dan namelijk niet meer symmetrisch.

6.5.2.2 Woelkelder

Het water wordt via de loodrechte uitmonding van de riolen symmetrisch de woelkelder ingebracht. In de woelkelder botsen deze stralen tegen kolommen of tegen een wand evenwijdig aan de sluisas, waarbij deze stralen een deel van de energie kwijtraken en ombuigen in de richting evenwijdig aan de sluisas. De nu evenwijdig aan de sluisas gerichte stroming botst vervolgens tegen een rooster van verticale kolommen dat loodrecht op de sluisas staat met een groot blokkeringspercentage (bijvoorbeeld 60%). Hierbij wordt het water door het rooster goed in de breedte en in de hoogte de kolk ingebracht. Achter het rooster worden eventueel nog verticale en hellende schoepen aangebracht die het water in langs- en horizontale richting van de kolk richten.

Het plafond van de woelkelder wordt hellend gemaakt om de verandering van het dwarsprofiel van de kolk bij de overgang van kelder/kolk niet te groot te laten zijn (fig. 6.25). Hiervoor worden ook wel gaten in het plafond van de woelkelder aangebracht. Deze maatregelen dienen om te voorkomen dat extra translatiegolven opgewekt worden wanneer de kolkwaterstand het plafond van de woelkelder bereikt.

Het niveau van de bovenkant van de woelkelder komt in de regel overeen met de bovenstroomse bodemligging; de bovenkant van het plafond van de woelkelder bij de uitstroming ligt hier net onder.

Ook voor de woelkelder geldt dat de situatie van het ene riool in gebruik en het andere riool buiten gebruik maatgevend is.

Foto's 6.14 t/m 6.17 laten opnamen zien van omloopriolen met woelkelder.



Foto 6.14 Instroomopening omloopriool van bovenhoofd van sluisen te Maasbracht

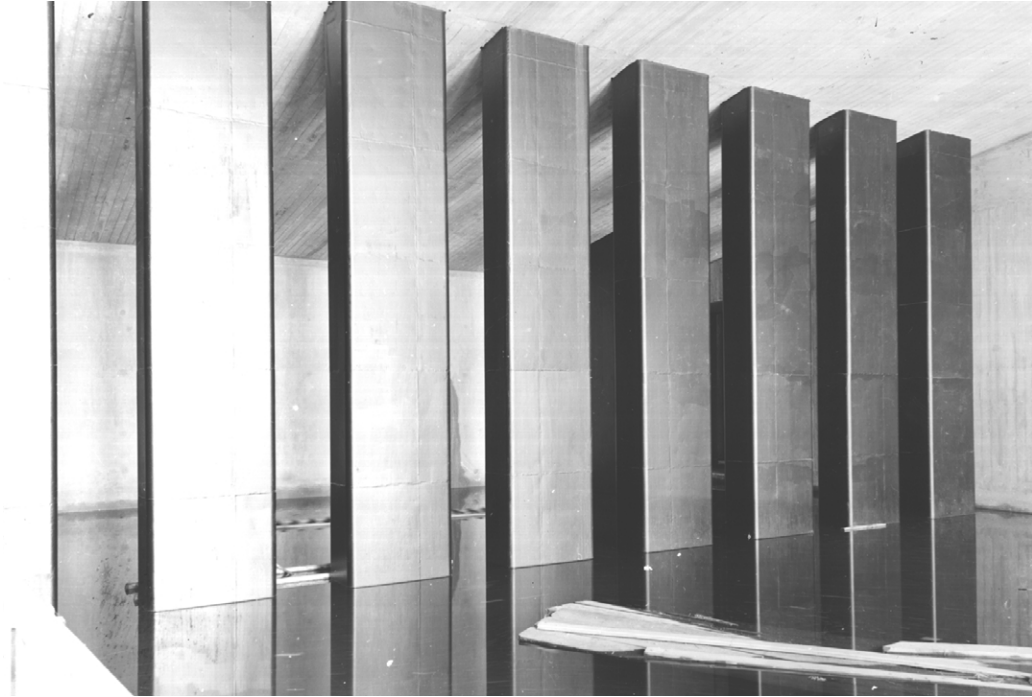


Foto 6.15 Kolommen in woelkelder van bovenhoofd van sluizen te Maasbracht

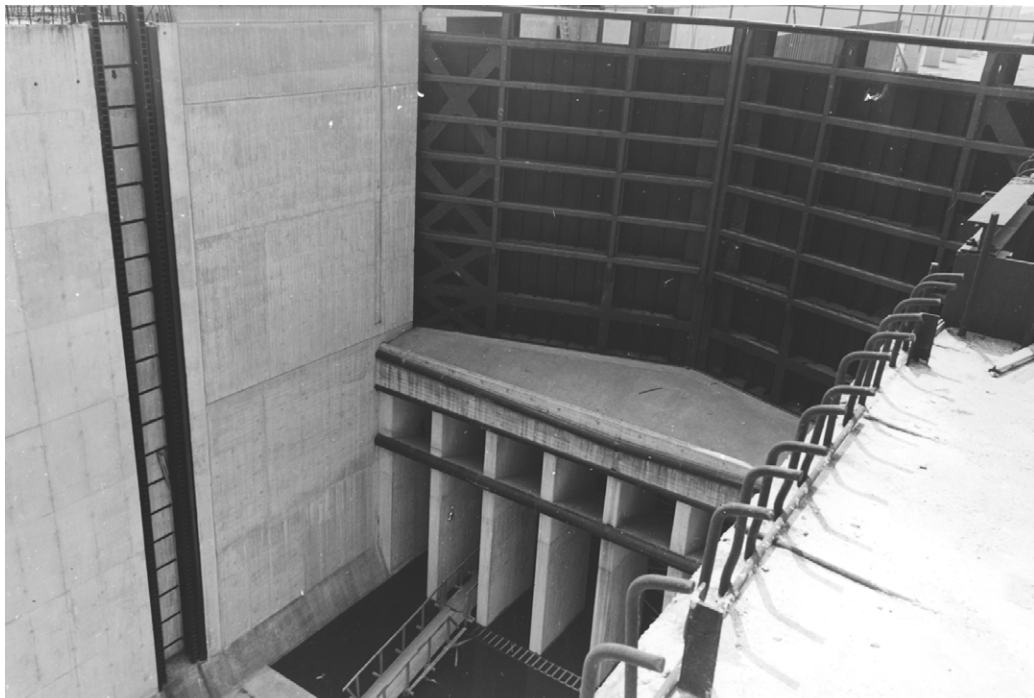


Foto 6.16 Bovenhoofd met woelkelder van sluizen te Maasbracht



Foto 6.17 Woelkelder van schutsluis te Almere

6.5.3 Ledigen met deuropeningen met het oog op vormgeving

In de kolk is bij het ledigen een versnellingsgebied van de stroom aanwezig waarbij hoge snelheden pas optreden dichtbij de openingen. Van deze hoge stroomsnelheden ondervinden de in de kolk gemeerde schepen nauwelijks enige hinder.

Om het aantasten van de bodem direct buiten de deuren en in de voorhaven in het vertragsgebied van de stroom te voorkomen en om de bodemverdediging te beperken, worden in de regel aan de vormgeving van de ledigingsopeningen toch eisen gesteld. Bedacht moet daarbij worden dat het debiet uitstroomt in de voorhaven met een benedenwaterstand, die blijvend laag is. De stroomsnelheden zijn daarom aanzienlijk.

De eisen die aan de ledigingsopeningen gesteld worden om aantasting van de bodem in de voorhaven te voorkomen, zijn vrijwel overeenkomstig die bij deurvulopeningen en betreffen de straalspreading (gelijkmatig over dwarsprofiel gespreide stroomsnelheden benedenstrooms van de deur) en de straalrichting (richting sluisas). Dit leidt tot de volgende regels:

- plaats de schuiven aan de kolkzijde van de deur (hoogste stroomsnelheden in de deur en niet daarbuiten);
- pas zoveel mogelijk gelijke openingen toe en verdeel de openingen zo goed mogelijk over de breedte van de kolk. Zorg voor brede, lage en diepliggende openingen. Maak de openingen in horizontale en verticale zin divergerend;

- breng aan de voorhavenzijde bij voorkeur een weerstand aan in de vorm van breekbalken of eventueel bij puntdeuren verticaal staande schoepen in de openingen, voor een stroomrichting volgens de sluisas.

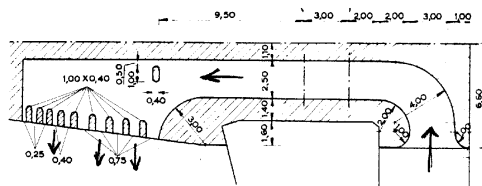
In plaats van het direct achter de deuropeningen spreiden over het hele natte dwarsprofiel zijn mogelijke alternatieven:

- richt de straal via de ledigingsopeningen naar beneden in een woelbak achter de sluis. De woelbak zorgt voor spreiding in de hoogte van de straal. Dit alternatief wordt aangeraden bij grote vervallen;
- breng lage drempels aan in de vloer achter de ledigingsopeningen als een V-vorm of als zigzag-overlaat. Deze drempels hebben alleen voldoende effect wanneer ze een hoogte bezitten van ten minste 0,25 keer de waterdiepte.

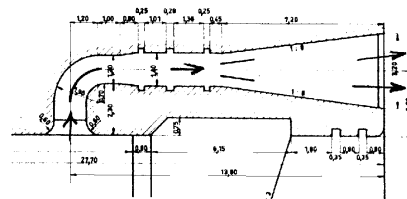
6.5.4 Ledigen met omloopriolen met het oog op vormgeving

Riolen om de benedendeur(en) heen voor het ledigen van de kolk worden in de regel toegepast bij grote vervallen. In beide sluiswanden wordt dan een omloopriool met schuiven aangebracht, de riolen moeten bij voorkeur symmetrisch uitgevoerd worden.

Evenals bij omloopriolen in een bovenhoofd is het belangrijk dat het niveau van het riool met z'n instroming zo laag mogelijk ligt om luchtaanzuiging bij de instroming en achter de schuiven te voorkomen. De instroming bij de kolkwand moet afgerond zijn met ruime stralen om hoge stroomsnelheden voor de kolkwand te voorkomen. De bochten in het riool moeten zoveel mogelijk afgerond zijn.



*Uitstroming t.p.v. het verlengde
van de sluiswanden (Born)*



*Uitstroming t.p.v.
vleugelwanden (Oostvaardersdiep)*

Figuur 6.27 Uitstroming omlooppriolen

De uitstroming kan plaatsvinden ter plaatse van het verlengde van de sluiswanden of bij de vleugelwanden; de stroming moet daarbij zoveel mogelijk loodrecht op de wand uit treden (fig. 6.27). Treedt de stroming uit het verlengde van de sluiswanden dan botsen beide uit tredende stralen loodrecht op elkaar en raken hierdoor een deel van hun energie kwijt. Treedt de stroming uit de vleugelwanden, dan kan deze buiten de vaarbaan van de schepen gehouden worden. Het loodrecht uit treden kan bereikt worden door het aanbrengen van een rooster met een ongelijke weerstandsverdeling of door schoepen. Foto's 6.18 en 6.19 laten de vormgeving van de in- en uitstroomopening zien van het omloopriool van het benedenhoofd.



Foto 6.18 Instroomopening omloopriool van benedenhoofd van sluizen te Maasbracht



Foto 6.19 Uitstroomopening omloopriool van benedenhoofd van sluizen te Maasbracht

6.6 LOCKFILL

6.6.1 Doel en mogelijkheden LOCKFILL

Het rekenprogramma LOCKFILL (Lit. [6.13]) berekent het vul- of ledigingproces van een schutsluis aan de hand van een gegeven vul- of ledigingssysteem en hefprogramma.

Het programma heeft als invoer de initiële waterstanden, de afmetingen van de sluis, het vul- en ledigingssysteem, alsmede het schip, het schuifprogramma en een aantal coëfficiënten. Het programma berekent gemiddelde waterstanden en debieten in de kolk als functie van tijd en de bijbehorende vul- of ledigingstijd. Met behulp van deze waterstanden en debieten worden de langskrachten op het in de sluis afgemeerde schip berekend. De resultaten van LOCKFILL worden gepresenteerd door middel van drie plots (waterstand met oppervlak openingen, debiet en langskracht als tijdfuncties).

Aan de hand van de berekende vul- of ledigingstijd en de maximale langskracht kan beoordeeld worden of het gekozen vul- of ledigingssysteem voldoet of dat een ander hefprogramma dan wel andere afmetingen van het vul- en ledigingssysteem of de sluis moeten worden ingevoerd.

Het rekenprogramma LOCKFILL is gebaseerd op modelonderzoeken, bureaustudies en eerder ontwikkelde rekenprogramma's (Lit. [6.10] en [6.11]). In bijlage 6.1 is een overzicht van het rekenhart gegeven. LOCKFILL is in beperkte mate gevalideerd door vergelijking met bestaande modelonderzoeken; verdere validatie is gepland.

Met LOCKFILL kan een vul- en ledigingssysteem met deuropeningen en schuiven worden doorgerekend. Een vul- en ledigingssysteem, bestaande uit omloopriolen met woelkelder voor het vullen en omloopriolen of deuropeningen voor het ledigen, is onder bepaalde voorwaarden ook mogelijk. Voor beide toe te passen systemen wordt er impliciet vanuit gegaan dat de hydraulische vormgeving steeds aan bepaalde eisen moet voldoen: bijvoorbeeld bij het vullen moet de uitstroming in de kolk gelijkmatig zijn gespreid over de breedte van de kolk en in langsrichting van de kolk plaatsvinden. Verder moet de sluis, kolk een rechthoekige doorsnede, een constante breedte en een horizontale bodem bezitten. De invloed van dichtheidsverschillen wordt in het programma als optie meegenomen.

Voor een systeem met omloopriolen/woelkelder, voor bijzondere systemen of onder ongunstige hydraulische omstandigheden (bijvoorbeeld bij vervallen boven 4 m, het schip vlak voor de openingen of erg kleine kielspeling) kan meestal niet volstaan worden met alleen het gebruik van LOCKFILL. In die gevallen is ook aanvullend hydraulisch onderzoek nodig, bijvoorbeeld met behulp van een fysisch schaalmodel. Ook dan echter blijft LOCKFILL nodig als instrument van het ontwerpproces.

Bij het toepassen van LOCKFILL is het belangrijk te weten dat de rekenresultaten sterk afhangen van een aantal in te voeren coëfficiënten, zoals de afvoercoëfficiënt van de openingen. Deze afvoercoëfficiënt kan het beste uit een fysisch schaalmodel bepaald worden. Indien hiervoor de tijd en middelen ontbreken kunnen de coëfficiënten geschat worden uit bestaande metingen met soortgelijke openingen. Voor openingen met niet-gemeten afvoercoëfficiënten moeten een aantal sommen met verschillende afvoercoëfficiënten uitgevoerd worden.

LOCKFILL is een menu-gestuurd rekenprogramma voor gebruik met de PC. Eerst moet een invoerbestand aangemaakt worden via de menu-structuur. LOCKFILL heeft 6 blokken invoer, te weten:

- algemene gegevens (rekentijdstap, eindtijd);
- voorhaven (waterstand, dichtheid);
- vulsysteem (deuropeningen of riolen, oppervlakte, hefsnelheid, afvoer- of verlies-coëfficiënten, lengte riool);
- kolk (initiële waterstand, dichtheid, afmetingen, bodem, vulstraal);
- schip (afmetingen, geometrie, afstand boeg/deur);
- overige coëfficiënten (voor de spreiding en dichtheidsverschillen).

Vervolgens wordt de berekening uitgevoerd. Tenslotte kunnen de resultaten als plot op het scherm gepresenteerd worden of voor een plotter of printer weggeschreven worden

6.6.2 Het werken met LOCKFILL

Fig. 6.28 geeft een voorbeeld van de plotuitvoer.

De bovenste plot bevat grafieken van de waterstand van de voorhaven en de kolk en het totale, bruto doorstroomoppervlak onder de schuiven. De middelste plot bevat het debiet door de niveleeropeningen. De onderste plot geeft de diverse componenten van de langskracht en de totale langskracht op het schip.

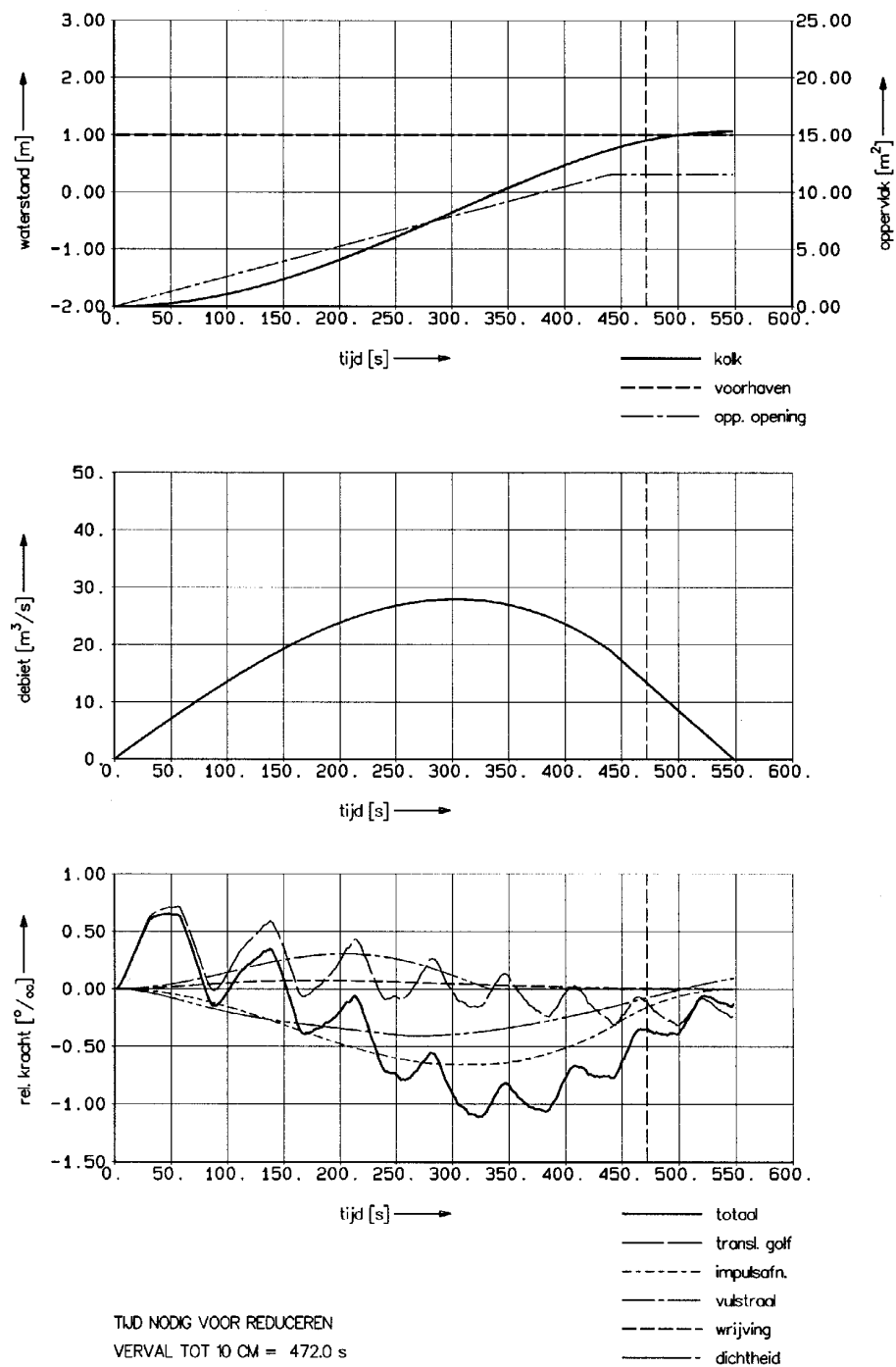
In de bovenste grafiek van de waterstand kan het tijdstip met een restverval van 0,10 m (deuren kunnen geopend worden omdat de hierdoor veroorzaakte langskracht op de schepen beperkt is) bepaald worden. Tevens kan de niveleertijd afgelezen worden. De maximale stijgsnelheid van het water in de kolk kan afgeleid worden en bij riolen het effect van het doorslingeren. De grafiek voor het bruto doorstroomoppervlak kan met de invoer gecontroleerd worden.

In de middelste plot kan het maximale debiet worden afgelezen. Hierbij kan nagegaan worden of het debietverloop wel vloeiend genoeg is: knikken hierin geven aanleiding tot grote amplitudes van de langskracht ten gevolge van translatiegolven.

De onderste plot geeft de diverse componenten van de langskracht en de totale langskracht in o/oo van het scheepsgewicht. De maximale langskracht kan afgelezen worden en het aantal keren dat de langskracht van teken verwisselt. Aan de hand van de afzonderlijke componenten kan nagegaan worden of bepaalde componenten niet te dominant in het proces zijn.

Als de vul- of ledigingstijd, de totale langskracht en/of een enkele component hiervan niet voldoet, kunnen passende maatregelen genomen worden. Dit wordt als volgt geïllustreerd:

- Is de vultijd lang en de langskracht klein, dan kan bijvoorbeeld de hefsnelheid en/of het maximumoppervlak van de openingen vergroot worden.
- Wanneer de amplitude van de component van de translatiegolven erg groot is, kan overwogen worden het verloop in de tijd van het oppervlak van de openingen vloeiender te maken of de hefsnelheid te verkleinen.
- Is de component van de impulsafname erg groot, dan valt te overwegen de vulstraal beter te laten spreiden of het maximum oppervlak van de openingen te verkleinen.
- Indien de component van de straalwerking tegen de boeg erg groot is, moet de vulstraal beter gespreid of naar beneden gericht worden.
- De component van de dichtheidsverschillen is nauwelijks door het vulsysteem te beïnvloeden.
- Voldoet de totale langskracht niet (is te groot) terwijl dit niet aan de afzonderlijke componenten ligt, dan kan bijvoorbeeld de hefsnelheid van de schuiven verminderd worden.
- Wanneer ondanks alle maatregelen de totale langskracht te groot blijft en de vul- of ledigingstijd te lang, moet overwogen worden de sluisbodem te verlagen.



Figuur 6.28 Waterstand/opp. opening, debiet en langskracht

Literatuur

- [6.1] Bernhart, H.H., 'Entwurfskriterien zum Schleusenplanung', Theodor-Rehbock Flussbaulaboratorium, Universitat Fridericiana Karlsruhe, Heft 169, 1982.
- [6.2] Driegen, J., de Jonge, J.J., Vrijburcht, A., 'Rekenprogramma LOCKFILL', bestaande uit 3 delen: Handleiding, Testen en verificatie (deel A) en Uitbreiding (deel B), Waterloopkundig Laboratorium, Delft, Q1537, november 1994.
- [6.3] Josephus Jitta, J.P., 'Sluizen en andere waterbouwkundige kunstwerken in en langs kanalen', Rijkswaterstaat, Uitgeverij Bohn, Haarlem, 1947.
- [6.4] Kerstma, J., Kolkman, P.A., Regeling, H.J., Venis, W.A., 'Zout-zoetscheiding bij schutsluizen', Waterloopkundig Laboratorium en Rijkswaterstaat, 1991.
- [6.5] Kolkman, P.A., 'Low-Head Navigation Locks with Door Filling and Emptying Systems Developed by Hydraulic Investigations', Publication no. 111, Delft Hydraulics, 1973'
- [6.6] van der Marel, M.J., Vrijburcht, A., 'Standaardisatie van deuropeningen', Waterloopkundig Laboratorium, Delft, Q255-VI, januari 1990.
- [6.7] PIANC, 'Final Report of the International Commission for the Study of Locks', Supplement Bulletin no. 55, Brussel, 1984.
- [6.8] Sprengers, C.J., 'Nieuwe ontwikkelingen in vul- en ledigingssystemen van sluizen in het buitenland', Waterloopkundig Laboratorium, Delft, R1222-IV, januari 1982.
- [6.9] Vrijburcht, A., 'Overzicht van modelonderzoeken van vul- en ledigingssystemen van Nederlandse sluizen na 1955', Waterloopkundig Laboratorium, Delft, R673-II, november 1974.
- [6.10] Vrijburcht, A., 'Het vul- en ledigingsproces van een schutsluis met een langsvulsysteem, invloed translatiegolven, vulstraaleffecten en dichtheidsverschillen op de langskrachten', Waterloopkundig Laboratorium, Delft, Q176-II, augustus 1988.
- [6.11] Vrijburcht, A., 'Forces on ships in a Navigation Lock Induced by Stratified Flows', proefschrift Technische Universiteit Delft, februari 1991.
- [6.12] Vrijburcht, A., 'Hydraulisch voorontwerp van deurvul- en ledigingsopeningen', Waterloopkundig Laboratorium, Delft, Q815, september 1992.
- [6.13] Vrijburcht, A., 'Troskrachtcriteria van schutsluizen', Waterloopkundig Laboratorium, Delft, Q1443, november 1994.

Appendix 6.1 Rekenhart LOCKFILL

In het eerste deel van het rekenhart van LOCKFILL (Lit. [6.2]) worden het debiet en de gemiddelde waterstand berekend. Hieruit worden in het tweede deel de langskrachten op het in de sluis afgemeerde schip afgeleid.

In het eerste deel gaat LOCKFILL uit van een kombergingsberekening voor het debiet en de gemiddelde waterstand. De sluisenkolk en de voorhaven hebben horizontale waterspiegels. Kolk en voorhaven zijn verbonden met deuropeningen of riolen die door middel van schuiven geleidelijk opengaan (fig. 6.29).

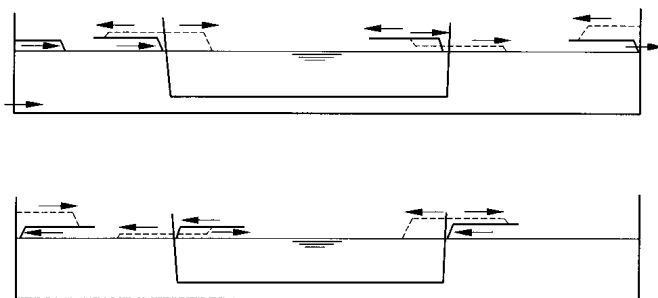


Figuur 6.29 Kombergingsberekening

Het debiet door de deuropeningen wordt berekend met behulp van het momentane verval over deze openingen en de oppervlakte en de afvoercoëfficiënt van de openingen. Bij riolen wordt het debiet tevens bepaald door traagheid van de riolen en is de afvoercoëfficiënt vervangen door energieverliescoëfficiënten. Bij dichtheidsverschillen tussen het water van de kolk en dat van de voorhaven wordt rekening gehouden met de invloed hiervan op het debiet.

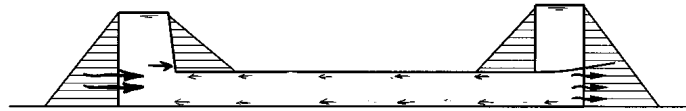
Met het debiet en de horizontale oppervlakte van de kolk wordt de (gemiddelde) waterstand in de kolk afgeleid. Uit het verloop van de waterstand worden de vul- of ledigingstijden van de sluis vastgesteld.

In het tweede deel worden de 5 componenten van de langskracht, te weten translatiegolven (a), impulsafname in langsrichting van de kolk (b), wrijving (c), straalwerking (d) en dichtheidsverschillen (e), met een eendimensionale methode berekend.



Figuur 6.30 Reflectie translatiegolven

Eerst wordt de invloed van de translatiegolven (a) berekend (fig. 6.30). Uit het debiet bij de deuropeningen of riolen wordt de primaire translatiegolf afgeleid die zich in de kolk voortplant. Op de reflectiepunten (boeg en hek van het schip en de beide kolkeinden) worden deze en ook andere inkomende golven gesplitst in uitgaande golven, te weten reflecterende en/of doorgaande golven. Een uitgaande golf op een bepaald reflectiepunt wordt een tijd later weer een inkomende golf voor een volgend reflectiepunt. Dit wordt in de tijd doorgerekend. Alle golven worden bij de reflectiepunten gesommeerd en omgerekend tot waterstandsverschillen over het schip en tot component a van de langskracht.



Figuur 6.31 Toepassen impulsvergelijking tussen boeg en hek

Vervolgens wordt de impulsvergelijking voor het water toegepast voor het gebied tussen de raai net voor de boeg en de raai net achter het hek en met het schip en de sluisbodem als verdere contouren (fig. 6.31).

De impuls van de stroming bij de grenzen van dit gebied wordt berekend voor component b. Met behulp van formules uit de literatuur wordt de spreiding van geconcentreerde vulstralen berekend tot de boeg van het schip; hieruit wordt de impuls van de stroming bij de boeg bepaald. Tevens wordt de impuls van de stroming bij het hek berekend, onder aanname van het loslaten van de stroom bij het hek.

Met behulp van de formuleringen volgens Chezy wordt de wrijving van het water in het gebied berekend. Dit betreft de wrijving van het water met de kolkbodem en -wanden en de scheepshuid (component c).

Met formules van de stromingsdruk op een onder een hoek met de stroming staande plaat, wordt de kracht van de geconcentreerde vulstralen op de boeg uitgerekend (component d).

De impulsvergelijking, toegepast op het genoemde gebied, levert de waterstandsverschillen tussen boeg en hek en de componenten b, c en d van de langskracht.

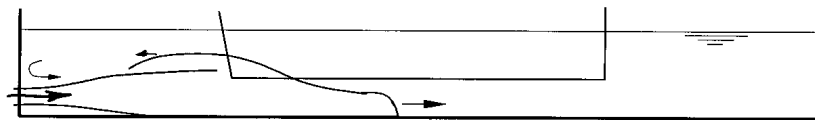
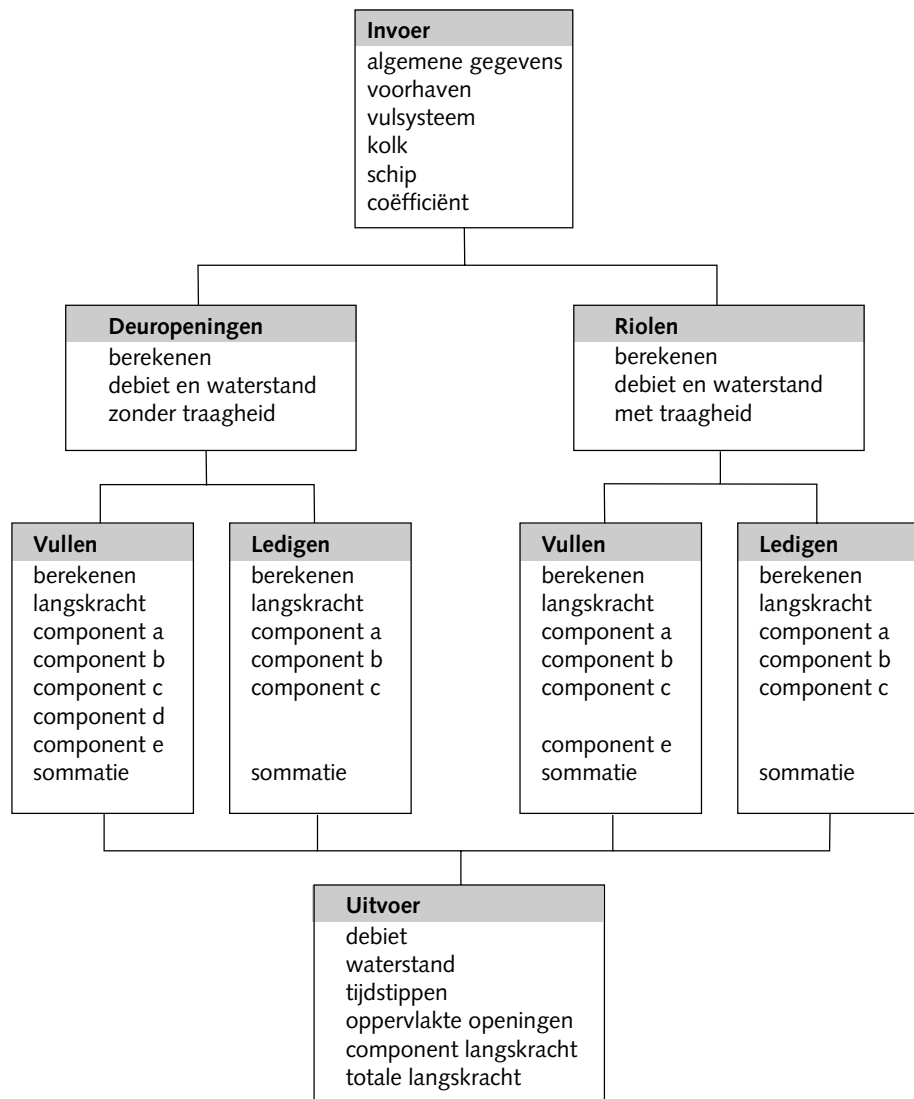


Fig. 6.32 Dichtheidsverschillen

Daarna wordt de invloed van dichtheidsverschillen (component e) bij het vullen van de kolk berekend (optioneel, fig. 6.32). De vulstralen mengen met het omringende water, dit wordt berekend met een mengingscoëfficiënt of volgens een mengkamer tussen deur en boeg. Daarna ontstaat een interne golf die zich met de interne golfsnelheid voortplant, wat wordt berekend met formules uit de literatuur. De reflectie van de interne golf tegen de boeg en de deuren wordt volgens bepaalde schematisaties berekend. Uit de stroming- en dichtheidssituatie bij de boeg en het hek wordt met impulsvergelijkingen de invloed van dichtheidsverschillen op de langskracht berekend.

Tenslotte wordt de totale langskracht verkregen door sommatie van de componenten van de langskracht die voor de onderzochte situatie relevant zijn. Fig. 6.33 geeft het stroomschema van LOCKFILL.



Figuur 6.33 Schema LOCKFILL



Foto 7.1 Punteuren van Tweede Sluis te Lith tijdens plaatsing (1998)

Hoofdstuk 7 **Deuren, bewegingswerken en schuiven**

7.1 Inleiding

Sluisdeuren vormen essentiële onderdelen van een schutsluis. Het zijn de beweegbare elementen die in gesloten stand het verval over de sluis keren en in geopende stand de schepen kunnen laten passeren. Als de sluisdeuren in zowel het boven- als het benedenhoofd gesloten zijn, kan de waterstand voor de schepen geleidelijk van het niveau van het ene pand naar het niveau van het andere pand worden gebracht (nivelleren). Voor het bewegen van de sluisdeuren worden deurbewegingswerken aangebracht. In de deuren of riolen zijn schuiven nodig om de waterstand te nivelleren. Deze schuiven zijn voorzien van schuifbewegingswerken.

Aan sluisdeuren, bewegingswerken en schuiven worden functionele eisen gesteld. Daarmee worden de doeleinden bereikt, namelijk het keren van water en het schutten van vaartuigen naar een hoger of lager niveau. Die eisen zijn:

- de deuren moeten van de gesloten naar de geopende stand bewegen, om de in- of uitvarende schepen ongehinderd doorgang te verlenen, in een tijdsduur die behoort bij de vereiste duur van de schutcyclus;
- de deuren moeten van de geopende stand naar de gesloten stand bewegen, om daarna het optredende verschil in waterstand te kunnen opnemen;
- de deuren moeten, indien gewenst, voor het vullen of ledigen van de sluis, voorzien zijn van afsluitbare openingen. De snelheid van het bewegen van de schuiven moet, in samenhang met de grootte van de openingen, de vaartuigen op verantwoorde wijze (qua veiligheid en tijdsduur) naar het vereiste waterniveau brengen.

Er bestaat een groot aantal typen sluisdeuren, maar in Nederland wordt tegenwoordig gekozen uit vier typen deuren, namelijk puntdeuren, de enkele draaideur, de roldeur en de hefdeur. De keuze wordt enerzijds bepaald door de randvoorwaarden en het programma van eisen, waarbij gedacht moet worden aan het verval over de deur, het één- of tweezijdig keren, aan de omstandigheden waaronder de deur moet kunnen bewegen en de doorvaartbreedte- en hoogte. Anderzijds vormen de kosten van vergelijkbare oplossingen een belangrijk keuze-argument.

Bewegingswerken worden zowel elektro-mechanisch als elektro-hydraulisch toegepast, elk type in diverse variaties. Voor elk deurtype is het mogelijk een bewegingswerk te kiezen dat niet alleen is toegespitst op de eisen tijdens het bewegen, maar ook op die in zowel de geopende als de gesloten stand van de deur.

Dit hoofdstuk behandelt de sluisdeuren (sluisdeurtypen: par. 7.2 en sluisdeurkeuze: par. 7.3), deurbewegingswerken (par. 7.4) en schuiven en schuifbewegingswerken (par. 7.5) voor de normale Nederlandse ontwerpituatie. Bijzondere of specifiek buitenlandse omstandigheden komen niet aan bod. Dit hoofdstuk moet de ontwerper in staat stellen tot een keuze van type sluisdeur en deurbewegingswerk te komen. Voor de verdere uitwerking van de gekozen typen tot een echt voorontwerp wordt verwezen naar hoofdstuk 12 waarin de belastingen en de staal- en werktuigbouwkundige aspecten van deuren, bewegingswerken en schuiven behandeld worden.

De figuren van dit hoofdstuk en van hoofdstuk 12 zijn achteraan geplaatst en wel vanaf blz. 7-69. De tabellen volgen op blz. 7-146.

7.2 Typen sluisdeuren

7.2.1 Overzicht sluisdeuren

Het overzicht van de belangrijkste typen deuren voor schutsluizen met hun kenmerken en eigenschappen wordt in deze paragraaf behandeld (zie ook Lit. [7.10] t/m [7.13]):

Deuren roterend om een verticale as

- *Puntdeuren (fig. 7.1 t/m 7.4, foto's 7.2 en 7.3)*



Foto 7.2 Houten puntdeur van sluis te Dalem tijdens plaatsing (1998)

Puntdeuren zijn vlakke deuren die in gesloten stand tegen elkaar steunen en dan een stompe hoek vormen. De deuren draaien om een verticale as in de deurenkassen. De vervalbelasting wordt overgedragen naar beide sluiswanden waarbij behalve krachten in de richting van de sluiswand ook krachten in de richting van de as van de deuren ontstaan (spatkrachten). De deuren zijn in principe bedoeld voor een éézijdige kering. Met extra voorzieningen kan een (beperkte) negatieve kering gerealiseerd worden. In geopende stand bevinden de deuren zich in ondiepe deurenkassen in de beide sluiswanden. Voordelen van de puntdeur zijn het economisch materiaalgebruik door de werking als driescharnierligger, de ondiepe deurenkas en het eenvoudige bewegingswerk; nadelen zijn de precieze maatvoering, de gevoeligheid voor vuil en ijs en de mogelijkheid van openvaren in de richting van de punt. In Nederland is de puntdeur het meest toegepast type.



Foto 7.3 Stalen puntdeuren van Kleine Sluis te IJmuiden (1999)



Foto 7.4 Enkele draaideur van Sluis te Gorinchem (1987)

- *Enkele draaideur (fig. 7.5, foto 7.4)*
De enkele draaideur is een vlakke deur die in gesloten stand de doorvaart loodrecht afsluit. De vervalbelasting wordt via het draaipunt en de deurtip naar beide sluiswanden overgebracht en oefent krachten uit, evenwijdig aan de sluiswand. De deur kan worden voorzien van een vergrendeling voor tweezijdig keren. In geopende stand verdwijnt de deur in een ondiepe, lange deurkas. In de tegenovergelegen wand is een deurnis uitgespaard om de deur in gesloten stand te laten steunen. Voordeel is de mogelijkheid van tweezijdig keren; nadelen zijn de lange deurkas, het zware bewegingswerk, zware draaipunten, de grote waterbeweging tijdens begin en einde openen en sluiten, alsmede de gevoeligheid voor vuil en ijs. Enkele draaideuren worden in Nederland alleen toegepast in sluizen met kleine doorvaartbreedte.
- *Staande segmentdeuren (fig. 7.6)*
Een staande segmentdeur is een in het horizontale vlak gebogen deur (deel van cirkelomtrek) met armen (stralen van de cirkel) door het draaipunt (middelpunt cirkel). De deur en armen vormen een sector van een cirkel (taartpunt). Aan beide sluiswanden staat een dergelijke deur opgesteld met draaipunten aan de sluiswand (vergelijk de Maeslantkering). Segmentdeuren kunnen tweezijdig keren en onder verval bewogen worden. De vervalkracht wordt afgedragen naar de draaipunten. In geopende stand zijn de deuren opgeborgen in sectorvormige deurkassen in de sluiswanden. Voordelen van staande segmentdeuren zijn het lichte bewegingswerk en het bewegen tijdens verval (indien vereist); nadelen zijn de dure deuren, scharnierpunten en deurkassen en de grote bouwruimte voor de deurkassen. Het is alleen zinnig dubbele segmentdeuren toe te passen als de sluis ook als spuimiddel gebruikt wordt. In Nederland vindt de deur nauwelijks toepassing.
- *Waaierdeuren (fig. 7.7)*
Waaierdeuren zijn puntdeuren uitgerust met een extra blad dat onder een hoek met de puntdeur staat. De deuren staan aan beide zijden van de sluis opgesteld. In kwartcirkelvormige deurkassen draait het blad. De waterstand in de deurkas achter het blad wordt met twee riolen geregeld waarvan de ene in verbinding staat met het buitenwater en de andere met het binnenwater. Omdat de oppervlakte van het blad groter is dan van de deur, kunnen de deuren behalve positief ook negatief keren en onder verval geopend en gesloten worden. Voor- en nadelen zijn overeenkomstig staande segmentdeuren. Waaierdeuren werden in Nederland toegepast om bij een calamiteit (bijvoorbeeld opengevaren puntdeuren) toch te kunnen sluiten, of in combinatie met spuien. De deuren kunnen worden bewogen door met de hoogte van de schuifopeningen te spelen.

Deuren roterend om een horizontale as

- *Segmentdeur met contragewicht (fig. 7.8)*
Een segmentdeur is een deur met in het verticale vlak gezien een cirkelsegment (afgesneden cirkeldeel) als doorsnede. Aan de zijkanten van de deur bij de sluiswanden zijn korte armen aangebracht die door de scharnierpunten gaan die samenvallen met het middelpunt van de cirkel. De verlengde armen hebben aan de tegenovergestelde zijde van de deur contragewichten (vergelijk de Thames-barrier). De draaipunten (middelpunt cirkel) bevinden zich ongeveer halverwege de waterdiepte. De deur kan tweezijdig keren. Hoewel de vervalbelasting over de deur naar de draaipunten wordt geleid en de deur uitgebalanceerd is, moet door het verschil in opdrijvende kracht bij de diverse standen toch een vrij zwaar bewegingswerk ingezet worden. De segmentdeur draait voor de geopende stand naar beneden in een sleuf in de bodem of in een woelkamer of naar boven, maar dat geeft een beperkte doorvaartheogte (fig. 7.8). Voordelen zijn het lichte bewegingswerk en de korte, ondiepe deurkassen. Nadelen zijn de aanzienlijke krachten op de scharnieren, de gevoeligheid voor vuil en slib in de sleuf en de diepe aanleg van de sleuf (bijvoorbeeld 15% van de overspanning), indien de deur zich in geopende stand in de bodem bevindt (met het oog op de doorvaartheogte is dit de gebruikelijke oplossing). Toepassing is in Nederland zinnig bij weinig bouwruimte in combinatie met de eis van onbeperkte doorvaartheogte.
- *Segmentdeur zonder contragewicht (of sectordeur)*
Bij deze segmentdeur ontbreekt het contragewicht en de deur heeft langere armen dan de voorgaande. De deur met armen vormt een sector van een cirkel. De deur zakt voor de geopende stand

in een diepe kas in de bodem of wordt omhoog getrokken (vergelijk de spuisluis in het Haringvliet). De deur vindt voornamelijk toepassing in het bovenhoofd van sluizen met een zeer hoog verval, in combinatie met een woelkamer, dus niet in Nederland.

- *Klepdeur (fig. 7.9)*

Een klepdeur is een vlakke deur met de draaiingsas aan de bodem. In gesloten stand met een vervalbelasting rust de deur tegen sponningen in de sluiswanden, in geopende stand draait de deur weg in een sleuf in de bodem. De deur is geschikt als eenzijdige kering maar met vergrendeling ook als tweezijdige. Nadelen zijn de draaipunten onder water, de gevoeligheid voor vuil en slib, de grote waterbeweging tijdens openen en sluiten, maar ook de moeilijke inspectie en het onderhoud. Voor Nederlandse omstandigheden is deze deur niet aantrekkelijk. De deur wordt voornamelijk toegepast in het bovenhoofd van hoogverval sluizen in het buitenland. Klepdeuren met een draaiingsas aan de bovenzijde of als overheaddeur (garagedeur) onder een brug (fig. 7.10) zijn in het verleden wel gebouwd.

Deuren met een horizontale beweging

- *Roldeur (fig. 7.11, foto 7.5)*



Foto 7.5 Roldeur van Krammersluizen tijdens plaatsing (1985)

De roldeur is een vlakke deur die in gesloten stand de doorvaart loodrecht afsluit en de vervalbelasting direct naar de sluiswanden overdraagt. De deur kan tweezijdig keren. In één sluiswand is een diepe deurkas aangebracht waarin de deur zich in geopende stand bevindt. In de andere sluiswand is een deurnis. De deur rust op twee rolwagens, elk uitgerust met vier wielen. De wagens geleiden zich langs de rails hetzij door flenzen aan de wielen, hetzij door geleiderollen of door glijdsloffen; de keuze daarvan is afhankelijk van de grootte van de zijdelingse belastingen. De deur geleidt zich met schuivers langs de banen, terwijl horizontale geleidewielen aan de bovenzijde de deur in verticale stand houden tijdens de beweging. De deur is veelal voorzien van drijfkisten waardoor de rolwagens minder zwaar belast worden. Toch kan de weerstand in water tijdens het bewegen toenemen, wat consequenties kan hebben voor het bewegingswerk. Voordelen van de deur zijn de mogelijkheid van tweezijdig keren en het lichte bewegingswerk. Nadelen zijn de dure, diepe deurkas en het dure deurgeleidingssysteem.

Als variant op de roldeur kunnen de rolwagens vervangen worden door hydrostatische glijlagers ("glijdeur") (foto 7.6).



Foto 7.6 Glijdeur van Nieuwe Oranjesluis te Amsterdam tijdens plaatsing (1994)

Nadeel kan zijn dat door het vereiste geringe overgewicht de deur gevoelig is voor golven tijdens bewegen of mogelijk zou kunnen kantelen door de kracht van het bewegingswerk. Verder kan de roldeur ook in gebogen vorm (inclusief deurkas) gemaakt worden om de bouwbreedte te verminderen. In Nederland wordt de deur voornamelijk gebruikt voor tweezijdige kering in sluizen met grote doorvaartbreedte. Bij kleinere sluizen met groot verval worden ook wel dubbelbladsdeuren toegepast; de roldeur is dan in tweeën gedeeld en is aan de bovenrails opgehangen.

Deuren met een verticale beweging

- *Hefdeur (fig. 7.12, foto 7.7)*

De hefdeur is een vlakke deur die in gesloten stand, net als de roldeur, de doorvaart loodrecht afsluit en de vervalbelasting overdraagt naar sponningen in de sluiswanden. De deur kan zowel één- als tweezijdig kerend worden uitgevoerd waarbij de constructie vrijwel gelijk is. De geopende stand wordt bereikt door de deur verticaal omhoog te bewegen langs geleidingen in heftorens die op beide sluiswanden staan. De deur wordt uitgebalanceerd met contragewichten, hoewel deze bij sommige sluizen ontbreken. Voordelen van een hefdeur zijn de korte hoofden, de mogelijkheid van tweezijdig keren, de goede inspectie- en onderhoudsmogelijkheden en de geringe gevoeligheid voor vuil en ijs. Nadelen zijn de beperkte doorvaarthoogte (hoeft niet altijd een nadeel te zijn), de gecompliceerde deurgeleidingen en bewegingswerken en de dure heftorens. In Nederland is de deur in het verleden toegepast bij sluizen met een groot verval waarbij de deur in zijn geheel geheven wordt voor het vullen of ledigen en de deur geleid wordt met geleidewielen. Tegenwoordig wordt de deur toegepast om redenen van beperkte bouwruimte.



Foto 7.7 Hefdeur van Prins Bernardsluis te Tiel

- *Zakdeur (fig. 7.13)*
De zakdeur is eveneens een vlakke deur die in gesloten stand de vervalbelasting overdraagt naar de sluiswanden. Voor de open stand zakt de deur in een schacht in de bodem. Dit type deur vindt toepassing in het bovenhoofd van een hoogverval sluis in combinatie met een woelkamer; nadelen zijn daar de onderafdichting, de moeilijke bereikbaarheid en de gevoeligheid voor vuil en slib. Voor sluizen met een kleiner verval is een diepe schacht in de bodem nodig, hierdoor vindt de deur geen toepassing in Nederland.
- *Dubbelblads hefdeur*
De dubbelblads hefdeur is een hefdeur die uit twee delen bestaat die naast en boven elkaar geplaatst kunnen worden. De deur vindt voornamelijk toepassing in een bovenhoofd waarbij zeer grote waterstandsvarianties optreden. Nadelen zijn de diepe sponningen en gecompliceerde deur-geleiding en bewegingswerken. Voor Nederlandse schutsluizen is de deur niet van belang.

In Nederland liggen sluizen met een gering tot een vrij groot verval (van enkele dm's tot ca. 14 m) terwijl de horizontale afmetingen van zeer klein tot zeer groot kunnen zijn (doorvaartbreedte vanaf 4 m tot 50 m). Uit bovenstaand overzicht zijn vier deurtypen geselecteerd die voor de Nederlandse situatie van belang zijn en in de toekomst veelvuldig gekozen zullen worden. Dat zijn dan de puntdeuren, de enkele draaideur, de hefdeur en de roldeur (inclusief glijdeur). Deze worden in paragrafen 7.2.2 tot met 7.2.5 behandeld.

Hiermee wordt niet gezegd dat in de toekomst de keuze voor andere deurtypen uitgesloten is. In situaties met gebrek aan bouwruimte en zeer grote doorvaarthoogte is bijvoorbeeld een segment- of sectordeur met horizontale draaiingsas een alternatief.

7.2.2 Puntdeuren

7.2.2.1 Algemeen

Puntdeuren worden zo genoemd omdat ze in gesloten stand met de punten tegen elkaar steunen. Toch zijn het gewoon vlakke deuren zoals fig. 7.1 en 7.2 tonen. De deuren staan in gesloten stand elk onder een helling van 1:3 tegen elkaar. De deuren draaien om verticale assen die zich in beide deuren bevinden. In geopende stand vallen de deuren geheel binnen de deurenkassen.

Een positieve vervalbelasting over de deuren wordt als druk en buiging door de deuren opgenomen. Op hun beurt dragen de deuren de opgewekte krachten via hun oplegvlakken evenwijdig aan en loodrecht op de deuras over naar de deurkaswanden. In fig. 7.14 zijn schematisch de reactiekrachten en momenten voor de deur aangegeven. De reactiekracht loodrecht op de deuras is gelijk aan de halve verval kracht over de deurlengte. De reactiekracht evenwijdig aan de deuras (tevens normaalkracht in de deur) is 1,5 maal de verval kracht over de deurlengte en wordt de spatkracht genoemd. Vanwege de korte deurlengte ten opzichte van de sluisbreedte en de toe te passen deurhelling van 1 : 3, is de benodigde dikte van elke puntdeur klein. Dit leidt tot een gunstig materiaalgebruik voor de deur.

Voor de civiele constructie van de sluis wordt de resulterende reactiekracht op de deurkaswand ontbonden in richtingen evenwijdig en loodrecht de sluisas. De ontbondene evenwijdig de sluisas is gelijk aan de vervalbelasting over de halve sluisbreedte, hiermee wordt rekening gehouden bij de stabiliteit van het gehele sluishoofd. De ontbondene loodrecht op de sluisas is gelijk aan de vervalbelasting van $2/3$ van de sluisbreedte, dit is de kracht waarmee rekening wordt gehouden bij de betonconstructie van de deurkaswand.

Bij een negatieve vervalbelasting zijn bij koppeling van de deurpunten aan elkaar de krachten en momenten juist andersom. Het vasthouden van de puntdeuren door het deurbewegingswerk bij een negatieve vervalbelasting geeft weer andere krachten en momenten in de deur.

7.2.2.2 Draaipunten



Foto 7.8 Taats van de puntdeur van Middensluis IJmuiden

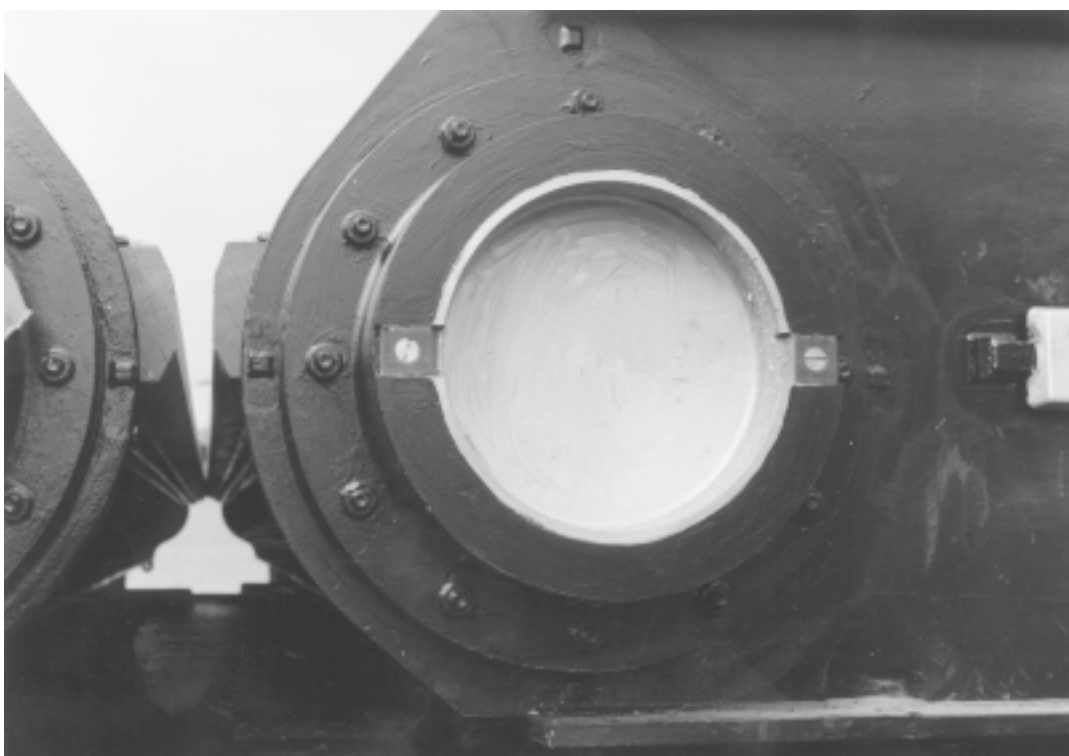


Foto 7.9 Taatskom van de puntdeur van Middensluis IJmuiden



Foto 7.10 Halsbeugel van de puntdeur van Tweede Sluis te Lith



Foto 7.11 Halspen van de puntdeur van Middensluis IJmuiden

De draaipunten van de assen bevinden zich in de deurkassen. Dit zijn uitsparingen in de wanden van het sluishoofd. Het onderdraaipunt bestaat uit een taats (foto 7.8) en een taatskom (foto 7.9); de taats is in de bodem bevestigd, de taatskom aan de deur (fig. 7.19). Het bovendraaipunt bestaat uit een halsbeugel (fig. 7.10) en een halspen (fig. 7.11). De pen is aan de deur bevestigd, de beugel is in de wand van de deurkas verankerd (fig. 7.17).

In geheel geopende stand worden de draaipunten belast door het deurgewicht verminderd met de opwaartse kracht. Tijdens het bewegen is de kracht in de draaipunten groter door belastingen als gevolg van het niveauverschil over de deur (restverval, opstuwing, windgolven, en dergelijke) en het bewegingswerk (fig. 7.15).

Meestal is enige speling tussen taats en taatskom en tussen halspen en halsbeugel aangebracht. In gesloten stand met een positief niveauverschil over de deuren kantelen de deuren enigszins en steunen over de volle hoogte tegen de deurkas (fig. 7.20). Daartoe is elke deur bij de deurkas voorzien van een verticale aanslagbalk in de richting van de langsas van de deur en één daar loodrecht op (fig. 7.1). Het gevolg is dat de draaipunten ontlast worden. Bij zeer grote spatkrachten wordt de houten aanslagbalk vervangen door een aantal stalen opleggingen, verdeeld over de hoogte van de deur. In de deurkas zijn dan stalen stoelen aanwezig die de spatkrachten op de deurkaswand overdragen.

Wordt de deur wisselend belast door hoge windgolven waardoor de halspen in de beugel gaat jutteren, dan moet het bovendraaipunt spelingsvrij uitgevoerd zijn. Ook wanneer een negatief niveauverschil gekeerd moet worden, wordt het bovendraaipunt spelingsvrij uitgevoerd om grote lekkages te vermijden. In gesloten stand moet zo'n draaipunt samen met de taats de gehele belasting van het te keren niveauverschil opnemen. In het algemeen moeten deze draaipunten zwaar uitgevoerd worden omdat ze grote belastingen ondervinden (fig. 7.18).

7.2.2.3 Onderdelen

Puntdeuren zijn meestal regeldeuren. Een regeldeur bestaat uit een raamwerk van horizontale regels die opgelegd zijn op een voorhar en een achterhar. Tussen de regels bevinden zich verticale stijlen. Op dit raamwerk van regels en stijlen is de beplating aangebracht. De plaatvelden zelf kunnen nog verstijfd zijn met horizontale of verticale plaatverstijvingen. De waterdruk wordt via de (eventueel verstijfde) plaatvelden overgebracht naar stijlen en regels, die het op hun beurt overdragen naar de voorhar en de achterhar.

Puntdeuren hebben de volgende functionele onderdelen:

- Een *beplating* die de waterdruk opneemt en de scheiding vormt tussen het water aan beide zijden van de deur. De beplating wordt gesteund door horizontale regels en door verticale stijlen. De beplating wordt aangebracht aan de laagwaterzijde om te voorkomen dat door de opdrijvende kracht het overgewicht op de taats minder zou worden dan 30% van het drooggewicht.
- *Horizontale regels* die de belasting uit de beplating en de verticale stijlen overbrengen naar de voor- en achterhar.
Het aantal regels is afhankelijk van de hoogte van de deur en de vervalbelasting. De hoogte van de liggers (dikte van de deur) is afhankelijk van de breedte van de deur en de vervalbelasting. De hoogte van de regels varieert tussen 5% en 6% van de dagmaat van een sluishoofd.
De plaats van de bovenregel wordt in hoogterichting bepaald door het bovendraaipunt en de aangrijping van het deurbewegingswerk. De onderregel bevindt zich meestal in het hart van de onderafdichting. Wanneer de deur wordt voorzien van nivelleeropeningen, bevindt de één na onderste regel zich boven die openingen.
- *Verticale stijlen* tussen de horizontale regels.
De verticale stijlen brengen de belasting op de beplating over naar de horizontale regels.
Bij nivelleeropeningen is de afstand tussen de onderste en de een na onderste regel soms zo groot dat de verticale stijlen tussen deze regels hoger worden uitgevoerd dan die tussen de daar boven gelegen regels. Die constructie wordt dan tevens gebruikt om de nivelleerschuiven te ondersteunen en de geleidingen hiervoor te bevestigen.
- De *voorhar*, de verticale stijl die de kracht waarmee de deuren tegen elkaar steunen overbrengt

naar de betreffende delen van de deur.

- De *achterhar*, eveneens een verticale stijl, brengt de spatkracht uit de deur over naar de wand van de deurkas, of naar de draaipunten wanneer deze 'spelingsvrij' zijn uitgevoerd.
- Een voorziening om de deur *torsiesterk* te maken. Dit kan hetzij door een kokerconstructie in de deur, hetzij door een kruisverband aangebracht, aan de niet-beplatingszijde.
Tijdens het bewegen wordt de deur op torsie belast, omdat het zwaartepunt van de uitwendige belastingen niet samenvalt met de positie van de trek-/duwstang, door de belasting van een obstakel voor de deur of door een negatieve vervalbelasting. Voor een voorbeeld van zo'n kokerconstructie, zie fig. 7.1.
- Houten of stalen *aanslagen* langs de achterhar om de krachten in de richting van de as van de deur af te dragen naar de wand.
- Houten of flexibele *afdichtingen* langs de onderregel, en op de achterhar loodrecht op de as van de deur. De houten aanslag op de voorhar functioneert tevens als afdichting.
- Houten geleidebalken aan de beplatingzijde om beschadigingen door langsvarende schepen te voorkomen.
- Aanslagen aan de niet-beplatingszijde om de deur te steunen tegen een scheepsstoot en te voorkomen dat door vervorming van de deur het bewegingswerk wordt overbelast.

Daarnaast zijn er draaipunten als aangrijpingspunt van het bewegingswerk en meestal nivelleerschuiven met hun geleidingen en breekbalken aanwezig.

Bij deuren die laag zijn ten opzichte van de breedte, worden soms alleen verticale stijlen toegepast en geen horizontale tussenregls. Die reiken dan van de onderste tot de bovenste horizontale regel. Deze constructie komt voor bij kleine vervallen.

7.2.2.4 Afdichting

De plaats en het soort afdichting is afhankelijk van de toegepaste draaipunten:

- *Draaipunten met speling*
Deuren, voorzien van draaipunten met speling en een zogenoemd 'vrijdraaipunt' (fig. 7.21), zijn voorzien van houten aanslagen en wel langs de achterhar (één in de deuras voor spatkracht en één loodrecht op de deuras) (foto 7.11) en langs de voorhar (in de deuras). De afdichting vindt plaats via de aanslag van de achterhar loodrecht de deuras, langs de onderste regel en langs de voorhar in de deuras.
- *Spelingsvrije draaipunten*
Deuren voorzien van spelingsvrije (vaste) draaipunten, vereisen ter plaatse van de achterhar, loodrecht op de deuras, één flexibele (rubber) afdichting die met voldoende voorspanning tegen het afdichtingsvlak rust. Een houten afdichting in plaats van een rubberen is niet mogelijk omdat deze klem loopt vóór de deur gesloten is. Hetzelfde geldt voor de afdichting langs de onderste regel. De aanslag ter plaatse van de voorhar kan bij kleine belastingen tevens de afdichting zijn en is dan van hout. Bij grote belastingen steunen de deuren met stalen aanslagen tegen elkaar en is een flexibele afdichting over de volle hoogte van de aanslag nodig.

Een waterdichte puntdeur-constructie vereist een hoge maatnauwkeurigheid, zowel van de deur als van het civiele werk. Hiervoor worden de volgende maatregelen getroffen:

- de drempel wordt ingestort met behulp van een nauwkeurige stelmal zodat de stand van de deuren ten opzichte van elkaar gewaarborgd is;
- de taatsen worden in uitsparingen in de bodem van de deurkassen afgesteld ten opzichte van de drempel en de halsbeugel en daarna ingestort (fig. 7.13);
- Vervolgens worden de halsbeugels of de bovendraaipunten afgesteld ten opzichte van de ingestorte taats en ook ingestort;
- de verticale aanslagvlakken voor de afdichtingen kunnen daarna nauwkeurig worden afgesteld;
- voor de maatvoering van de deuren worden toleranties voorgeschreven.



Foto 7.12 Aanslagvlakken van puntdeur van Tweede Sluis te Lith



Foto 7.13 Stellen van taats van enkele draaideur van sluis te Gorinchem (1987)

Ondanks die maatregelen zal tijdens het bedrijf lekkage kunnen ontstaan door doorbuigingen van de sluiswanden of door beschadiging van de afdichtingen door zwevend vuil. Dat kan gemakkelijk klem raken tijdens het bewegen van de deuren, in de deurkas of ter plaatse van de drempel. Bij het uitwisselen van de deuren moeten de aanslagen c.q. afdichtingen soms pas gemaakt worden opdat reservedeuren in beide hoofden ingezet moeten kunnen worden. De maatvoering van beide hoofden zal niet helemaal identiek zijn. Daarom moet er rekening mee worden gehouden dat puntdeuren nooit gegarandeerd waterdicht zijn.

7.2.2.5 Nivelleren

Schutsluizen met puntdeuren nivelleren tot een verval van 5 à 6 m met behulp van afsluitbare openingen in de deuren. Bij kanaalsluizen kan door de deuren van het benedenhoofd tot een verval van ca. 8 m genivelleerd worden. In hoofdstuk 6 wordt uitvoerig ingegaan op de hydraulische aspecten van het nivelleren en de vormgeving van de openingen.

De schuiven in de deuren worden gesitueerd aan de hoogwaterzijde. De schuiven dichten daar goed af, omdat ze door het niveauverschil aangedrukt worden. Achter de schuiven is de dikte van de deur beschikbaar voor de geleideschotten, die de waterstromen zoveel als mogelijk over de breedte van de sluis kunnen verdelen. Aan de laagwaterzijde van de deur, waar de opening het grootste kan zijn, worden breekbalken geplaatst, die de energie van het in de sluis stromende water verminderen. De nivelleeropeningen worden zo laag mogelijk in de deur aangebracht, zodat de schepen zo min mogelijk door de stroomstraal getroffen worden. In verticale zin wordt de straal naar boven geleid; het effect van die verdeling is aan het begin van het heffen van de schuiven echter niet groot.

De totale breedte van de nivelleeropeningen direct achter de schuiven wordt om constructieve redenen niet groter aangenomen dan 60% van de doorvaartbreedte van het sluishoofd. Elk stel deuren heeft minstens vier doorlaatopeningen, zodat bij het uitvallen van één van de vier, de resterende openingen de waterstroom nog op een aanvaardbare wijze kunnen verdelen over de sluisbreedte.

De nivelleeropeningen zijn in breedte te standaardiseren, wat het schuifontwerp vergemakkelijkt. Door gebruik te maken van de breedten 1,40, 2,15 en 2,60 m is de afwijking van de standaard van 60% van de doorvaartbreedte van het sluishoofd slechts klein (< 3%). Toch wordt dit lang niet altijd zo gedaan. De hoogte van de nivelleeropeningen varieert tussen 0,60 en 1,75 m; de snelheid van de schuiven ligt tussen 2 en 10 mm/sec. Beide parameters zijn afhankelijk van het verval over de deur en van de lengte van de sluis. Maar ook de mate van blokkering van de sluis door de schepen en de afstand van boeg tot sluisdeur zijn van belang.

7.2.2.6 Gevoeligheid voor vervuiling

Puntdeuren zijn gevoelig voor grof vuil. Tijdens het openen van de deur kan drijvend of zwevend vuil tussen de deur en de deurkas geraken en de beweging zelfs zo blokkeren dat de vereiste eindstand niet wordt bereikt. Bij het sluiten kan zwevend of gezonken vuil tussen deur en drempel geraken met het eerder genoemde gevolg. Problemen met sluiten treden vooral op bij puntdeuren die lange tijd niet zijn gebruikt zoals bij tussenhoofden (aanzanding). Bij het blokkeren kan de kracht op het draaipunt als gevolg van de geleverde bewegingskracht zeer hoog oplopen en maatgevend worden voor de deurconstructie en het bewegingswerk.

Deurkassen kunnen zoveel mogelijk vrij van drijvend of zwevend vuil worden gehouden door gebruik te maken van een luchtblaasinstallatie. Door vanaf de bodem lucht te blazen wordt vuil van de deuren afgedreven. Bij sluizen aan de zeezijde, waar voor het bestrijden van de uitwisseling van zout en zoet water al gebruik wordt gemaakt van een luchtbellenscherm, zijn eenvoudige aanpassingen mogelijk om ook vanaf de bodem van de deurkassen lucht te blazen. Het blokkeren van de deuren door een obstakel tussen deur en drempel is niet te voorkomen tenzij vooraf geïnspecteerd wordt bij sluisdeuren die lange tijd niet zijn gebruikt.

7.2.2.7 Gevoeligheid voor ijs en ijsvorming

Puntdeuren zijn gevoelig voor drijvend ijs vóór de deuren en in de deurkassen; ook voor aangroeiend ijs aan de voorhar en om de achterhar. Ijsschotsen voor de deuren kunnen er de oorzaak van zijn dat deze

niet meer helemaal open kunnen gaan. Als het ijs aan de voorhar te dik wordt, kunnen de deuren niet meer helemaal sluiten. Ijs aan de achterhar kan klemming veroorzaken en zowel de constructie als de draaipunten beschadigen. Verder kunnen de bewegingswerken te zwak zijn om de deuren te doen bewegen. Bewegingswerken hebben in koude perioden toch al een lager rendement en daardoor een verminderd vermogen tot duwen of trekken. Verder kunnen schuivende nivelleerinrichtingen vastvriezen; ook kan ijs voor de deuren het bewegen belemmeren. Deze problemen doen zich vooral voor buiten de kolk aan het boven- of binnenhoofd.

Gedurende langere tijd kan ijsvorming voor en aan de deuren worden voorkomen door, net als bij vervuiling, gebruik te maken van het blazen van lucht vanaf de bodem van de deuren, en eventueel vóór de deuren. Ook ijsschotsen worden daarmee van de deuren weggehouden. Verder worden wel afgemeerde sleepboten of meetvletten met draaiende schroef voor de deuren neergelegd. Ijsvorming in de sluis is nauwelijks te voorkomen.

In sluizen met een groot verval, waar het onmogelijk is met eenvoudige middelen schotsen bij de deuren vandaan te houden, worden soms ijsbalken toegepast. Het ijs dat met de schepen de kolk in komt wordt daardoor van de deuren en deuren weggehouden. De ijsbalk drijft met het dalende waterniveau mee naar beneden en houdt ook tijdens het nivelleren het ijs tegen. Het deurenblazen is dan voldoende om verdere overlast te voorkomen. Achter de ijsbalk kunnen de deuren in vrij water bewegen. Zolang de ijsschotsen tegelijk met de schepen de kolk verlaten, kan het sluisbedrijf doorgaan. De ijsbalk moet worden opgehesen om de schepen doorgang te verlenen.

Algemene maatregelen ter vermindering van ijsbezwaar staan los van het gebruik van puntdeuren. In hoofdstuk 10 van het WL-verslag Q1442 (Lit. [7.15]) en in de nota 'Knelpunten door vorstproblemen' (lit. [7.8]) wordt dit onderwerp uitvoeriger belicht.

7.2.2.8 Deuren

In geopende stand zijn puntdeuren in langsrichting van de sluis opgesteld. Een deuren beschermt de deur tegen catastrofale aanvaringen. Een scheepstoot van opzij wordt door aanslagen op de kaswand en voor een deel door de draaipunten opgenomen. De kop van de deuren wordt door de deuren zodanig omsloten dat er geen schip tussen kas en deur kan varen.

De ruimte rondom de deur in de kas moet echter niet te nauw zijn om het water gemakkelijk toe- of af te laten stromen bij het begin van sluiten, bij het einde van openen of bij geopende deur tijdens het langsvaren van schepen. Zodoende wordt voorkomen dat het bewegingswerk overmatig belast raakt. In fig. 7.22 is schematisch weergegeven hoe zo'n kas er ten opzichte van de deuren uit moet zien. De maat L1 is ca. 0,8 maal de deurdikte, de maat b1 ten minste 0,4 maal de deurdikte. De deurdikte is meestal 1/16 tot 1/20 van de doorvaartbreedte van de sluis.

7.2.2.9 Loop- of fietspaden

Sluisdeuren worden meestal voorzien van een looppad voor de bereikbaarheid van beide sluiswanden. Ook voor onderhoud of reparatie van de bewegingswerken van de deuren is een goede toegang een vereiste. De looppaden zijn minimaal voorzien van één leuning.

Wanneer op korte afstand geen brugverbinding aanwezig is moet soms over de sluis een openbare weg aanwezig zijn voor voetgangers en fietsers. De puntvorm en dikte van de deuren beperken de mogelijkheid van een goed berijdbaar fietspad. Aan weerszijden van het pad moet een leuning zijn aangebracht.

7.2.2.10 Puntdeuren in hout of in staal

De meeste puntdeuren worden van staal gemaakt, zie voorbeelden in fig. 7.1 en 7.2. Stalen deuren kennen nauwelijks beperkingen in toe te passen afmetingen of te verwerken belastingen.

Voor kleine en middelgrote schutsluizen worden puntdeuren soms van hout gemaakt. Dit op grond van economische overwegingen (bouw- en onderhoudskosten, levensduur) of historische overwegingen (sluis als monument). Houten deuren zijn grotendeels deuren die tijdens het bewegen licht belast zijn

zoals bij schutsluizen die in de luwte gelegen zijn en/of waar geen grote windgolven optreden. Bij middelgrote sluizen geldt daarenboven dat de vervalbelasting niet groot mag zijn. De benodigde hardhouten balken zijn vaak niet voorhanden of mogen op grond van milieuoverwegingen (kappen tropische bossen) niet worden toegepast. Houten deuren kunnen niet of moeilijk grote plaatselijke krachten opnemen. Extra voorzieningen zijn daarom nodig voor de bevestiging van de draaipunten en het bewegingswerk. Fig. 7.4 en foto 7.2 geeft een voorbeeld van een houten puntdeur. Mogelijk worden in de toekomst bij kleine sluizen ook kunststof puntdeuren toegepast of deuren in roestvast staal (hoofdstuk 22).

7.2.2.11 Onderhoud en verwisselen

Groot onderhoud en reparaties aan puntdeuren geschiedt vrijwel altijd door de deur(en) uit te wisselen met een (stel) reservedeur(en). Daartoe wordt een schutsluis voor het scheepvaartverkeer gestremd. Om de stremming zo kort mogelijk te laten duren, worden reservedeuren volledig operationeel beschikbaar gehouden, dus compleet voorzien van schuiven met bewegingswerken, met aansluitingen voor trek-/duwstangen, taatskommen en halspennen. De termijn van het groot, periodiek onderhoud is afhankelijk van het materiaal (staal veelvuldiger onderhoud dan hout), de gebruikte conservering, hoe intensief de sluis gebruikt wordt en de kans op beschadiging door aanvaringen.

Het verwisselen van de deuren geschiedt met behulp van mobiele kranen, drijvende bokken of speciale voorzieningen, afhankelijk van de afmetingen en gewichten van die deuren, of van de bereikbaarheid van het sluiscomplex. De deur hangt bij vervoer en montage in een speciaal voor dat type deur vervaardigd hijsjuk.

Voor puntdeuren met draaipunten met speling is het inhangen betrekkelijk eenvoudig. De deur wordt enigszins uit het lood boven de taatspen gebracht. De deur wordt daarbij geleid door de aanslagen aan de deur. Wanneer de deur op de taats rust wordt deze in de richting van de halsbeugel bewogen waarna de halspen door de halsbeugel wordt opgesloten.

Aan deuren met vaste (spelingsvrije) draaipunten zitten meer onderdelen die bij het verwisselen gedemonteerd en weer gemonteerd moeten worden. Die werkzaamheden zijn arbeidsintensief, ook door de nauwkeuriger maatvoering.

7.2.2.12 Eén- en tweezijdig keren

Eénzijdig- en tweezijdig keren

Puntdeuren zijn uitermate geschikt voor een éénzijdige kering voor sluizen van 6 tot 24 m doorvaartbreedte. Dit éénzijdig keren komt voor bij sluizen in kanalen of rivieren naast een stuw, of bij sluizen aan een rivier of bekken.

In schutsluizen die van twee zijden een verval moeten keren worden ook puntdeuren toegepast. Het tweezijdig keren komt voor bij sluizen onder invloed van het getij, sluizen onder invloed van de rivierstand en ook wel bij sluizen tussen twee bekkens. Voor sluizen met een doorvaartbreedte van 6 tot 24 m is dit uitermate geschikt.

Enkel deurstel bij tweezijdige kering

De puntdeuren worden bij tweezijdig keren op één deurstel voor bepaalde perioden positief en andere perioden weer negatief belast. De negatieve vervalbelasting veroorzaakt trekkrachten in de puntdeuren die alleen via de draaipunten naar de deurtaswand opgenomen kunnen worden. Bij een negatieve vervalbelasting van importantie zijn de draaipunten zo zwaar belast dat vaste, spelingsvrije draaipunten nodig zijn (fig. 7.18) met een rollager als bovendraaipunt. Toepassing van spelingsvrije lagers houdt ook in dat de positieve vervalbelasting door die draaipunten opgenomen moet worden.

Puntdeuren die een negatieve belasting moeten kunnen keren zullen zonder verdere voorzieningen minder goed afdichten. De deuren moeten ten gevolge van de negatieve vervalbelasting vergrendeld worden, hetzij op elkaar, hetzij via de bewegingswerken. In het eerste geval ontstaat lekkage tussen de voorharren door, wat alleen is op te heffen door een gecompliceerde constructie. In het tweede geval hebben de deuren de neiging aan de onderzijde uit te buigen, en ook te lekken. Om dat te beperken moe-

ten de deuren extra stijf en dus zwaar worden uitgevoerd. Als de bewegingswerken de negatieve belastingen op moeten kunnen nemen, zullen die (voor een deel) zwaarder moeten zijn dan voor het bewegen noodzakelijk is.

Dubbel deurstel in getijgebied

Schutsluizen in gebieden waar wisselende vervallen op kunnen treden, worden veelal voorzien van twee stel deuren per sluishoofd. Het ene stel keert dan positief naar de ene zijde, het andere stel positief naar de andere zijde. Bij nadere beschouwing zal blijken dat één stel deuren, afhankelijk van de stijgrichting, toch een (zij het) beperkte negatieve belasting ondervindt.

Tijdens het schutten in getijdegebieden worden vaak alle vier deuren van het betreffende sluishoofd uit veiligheidsoverwegingen gesloten (vierkant sluiten). De beheerder kan dan niet verrast worden door plotselinge stijgingen of dalingen van het waterpeil. Plaatselijk kunnen in voorhavens langs de Nederlandse kust halingen voorkomen met een stijgsnelheid van 0,1 m per minuut en met een maximale amplitude van 1,5 m. Het altijd toepassen van vierkant gesloten deuren geeft een sterke reductie van de nuttige lengte van de sluiskolk (fig. 7.23, bovenste deel).

Het vierkant sluiten heeft ook consequenties voor het niveleersysteem door de deuren. Tijdens het nivelleren met vierkant gesloten deuren moeten de schuiven in beide deurstellen geopend worden. Tussen de deuren ontstaat een niveauverschil dat op één van de twee stellen een negatieve belasting veroorzaakt, die opgenomen moet worden door het bewegingswerk. Deze negatieve belasting kan verminderd worden door de benedenstroomse opening direct geheel open te zetten en de bovenstroomse geleidelijk (fig. 7.24).

Om de nuttige schutkolk lengte te vermeerderen is het omstreeks hoog- of laagwater mogelijk slechts één stel deuren per hoofd te gebruiken, dat wil zeggen de positief kerende. Wanneer de deuren ook in beperkte mate negatief kunnen keren, kunnen gedurende de periode van ongeveer gelijk water over de sluis de buitenste deurstellen gebruikt worden om de schutkolk lengte nog verder toe te laten nemen (fig. 7.23, onderste deel).

Dubbel deurstel bij rivieren

Bij sluizen waar alleen de invloed van de rivierstand de tweezijdige kering noodzakelijk maakt, is het vierkant sluiten niet nodig. Het stijgen van de rivierstand gaat zeer langzaam, waardoor de deurstellen enkel gebruikt kunnen worden.

7.2.3 Enkele draaideur

7.2.3.1 Algemeen

Een enkele draaideur, hierna genoemd draaideur, sluit in gesloten stand de gehele sluisopening af en staat dan onder een hoek van 90° met de sluisas. De deur is daarbij een ligger op twee steunpunten die door de vervalbelasting over de deur alleen op buiging belast wordt. De reactiekrachten worden overgedragen via de voor- en achterhar naar de sluiswanden. De dikte van de deur is 12 tot 16% van dagmaat van de sluis, dit is ca. twee maal die van puntdeuren.

De deur draait om een verticale as in de deurkas. In geopende stand staat de deur in de deurkas, buiten de dag van de doorvaartbreedte. In de tegenover de deurkas gelegen sluiswand is een deurnis opgenomen waar de voorhar in gesloten stand tegen de sluiswand rust. Indien de deur tegen de kop van het sluishoofd wordt geplaatst zijn geen deurkas- en nis nodig en geeft dit een relatief korte bouw lengte van de sluis. In fig. 7.57 is dat schematisch weergegeven.

Draaideuren zijn ook geschikt om een tweezijdig verval te keren. De negatieve vervalbelasting wordt opgenomen door de draaipunten aan de ene zijde en door een (soms) gecompliceerde vergrendeling aan de andere zijde (fig. 7.56 en 7.58).

Nadelen van de draaideur zijn de vrij lange bewegingstijd van de deur en de verhoudingsgewijs grote benodigde beweegkracht. Tijdens het sluiten stuwt de deur een ten opzichte van de sluisinhoud grote hoeveelheid water voor zich uit. In de bijna gesloten stand kan dit water moeilijk om de deurtip stromen en zorgt voor golven in de kolk waar de gemeerd liggende schepen last van kunnen hebben. De deursnelheid moet daarbij laag gehouden worden. Tegenover deze nadelen staan de voordelen dat er slechts één bewegingswerk nodig is ten opzichte van twee bij puntdeuren en dat het bewegingswerk geheel buiten het profiel van de sluis is opgesteld en daardoor niet door aanvaringen kan worden beschadigd.

Draaideuren behoren tot een deurtype dat al heel lang in sluizen wordt toegepast. Meestal waren zij bij ééNZijdig keren van hout. Toen de behoefte naar grotere sluizen groeide, waren de benodigde houten balken niet meer voorhanden, houten puntdeuren werden de oplossing. Maar tegenwoordig zijn de deuren meestal van staal en dat kent nauwelijks beperkingen in deurafmetingen waardoor draaideuren nu regelmatig worden toegepast.

De laatste decennia zijn stalen en in een enkel geval ook houten draaideuren in sluizen toegepast. Bij ééNZijdige kering zijn draaideuren vooral geschikt in zeer kleine sluizen, dat zijn meestal (korte) recreatiesluizen tot 6 m sluisbreedte. Kleine sluizen (tot 10 m sluisbreedte) die tweezijdig moeten keren, worden ook met draaideuren uitgerust. Middelgrote en grote sluizen zijn economischer uit te voeren met andere deurtypes.

7.2.3.2 Onderdelen

De onderdelen en de vormgeving van een ééNZijdig belaste houten draaideur, zijn in grote lijnen gelijk aan die van een puntdeur. De constructie wordt alleen op een andere wijze belast (op buiging). De puntdeur van fig. 7.4 is ook bruikbaar als draaideur. Alleen de halsbeugel wordt anders opgesteld omdat de richting van de belasting in de eindstanden verschilt met die van de puntdeuren (fig. 7.25).

Een tweezijdig belaste deur is vrijwel altijd van staal omdat houten deuren moeilijk grote plaatselijke krachten kunnen opnemen. Een voorbeeld van een stalen draaideur geeft fig. 7.5. De reactiekrachten bij de achterhar worden zowel bij positieve als negatieve vervalbelasting opgenomen door de twee draaipunten en bij de voorhar door twee zadels (positieve belasting) of een grendel (negatieve belasting). Het bewegingswerk is bevestigd aan een uithouder van een andere horizontale ligger.

7.2.3.3 Afdichtingen

Houten deuren dichten aan de zijkanten af tegen de verticale aanslagen en aan de onderzijde tegen de drempel. Bij grote belastingen moet de afdichting aan de onderzijde een flexibele (rubber) aanslag zijn omdat de onderbalk de vervorming van de deur onvoldoende kan volgen.

Bij een tweezijdig belaste, stalen draaideur zijn alle aanslagen flexibel en moeten voor een goede afdichting na sluiting voldoende voorspanning hebben uit het deurbewegingswerk of de grendel.

In het algemeen moeten flexibele aanslagen zo elastisch mogelijk gekozen worden om de voorspankracht zo min mogelijk te laten zijn. Daarbij moet rekening gehouden worden met afwijkingen in de maatvoering van het betonwerk, de deur en de grendelinstallatie, maar ook met de wijze van vergrendelen.

7.2.3.4 Nivelleren

Het nivelleren door openingen in de draaideur bij een ééNZijdig kering is in vergelijking met puntdeuren nog beter. De verdeling van het instromende water is, door de stand van de draaideur loodrecht op de sluisas, gelijkmatiger over de breedte van de sluis te realiseren.

Bij tweezijdige kering is het vaak niet mogelijk naar beide richtingen een zelfde goede stroomverdeling te realiseren. Als het instromen maatgevend is, wordt de plaats van de breekbalken daarop bepaald. In dat geval zijn de deuren niet gelijk en daardoor niet uitwisselbaar. De nivelleerschuiven voor een twee-

zijdige kering, die goed waterdicht moeten afsluiten, vereisen een aangepaste constructie (fig. 7.123). De oplossing van een tweezijdig kerende schutsluis met identieke draaideuren volgens fig. 7.57, heeft echter steeds goede instroomcondities.

7.2.3.5 Gevoeligheid voor vuil en ijs

Een draaideur is gevoelig voor drijvend en zwevend vuil en voor ijs vooral bij een deurkas en -nis. Dit komt omdat deze deuren bij het draaien een groot vlak bestrijken, meer nog dan bij puntdeuren het geval is. Voor het openen vindt vuilopeenhoping plaats in de deurkas, voor het sluiten in de deurnis. De gevolgen voor de sterkte van de deur zijn echter minder groot omdat het deurbewegingswerk bij de voorhar minder grote krachten veroorzaakt. De deurkas kan redelijk vrijgehouden worden van ijs en vuil door van de bodem af lucht te blazen. Het klem lopen als gevolg van vuil op de bodem kan niet worden voorkomen, tenzij een diepere vloer voor de drempel is aangebracht.

De oplossing met de draaideur die buiten de sluis draait, dus zonder deurkas- en nis (fig. 7.57), voorkomt voor een belangrijk deel de hiervoor geschetste problemen. De deuren kunnen het vuil en het ijs gemakkelijker voor zich uit duwen.

7.2.3.6 Deurkassen en deurnissen

Voor de vorm en de maten van de deurkas gelden dezelfde overwegingen als bij de puntdeur (fig. 7.22). De deurkas bevindt zich aan de zijde van de draaiingsas. De diepte van de kas is groter dan die van puntdeuren vanwege de deurdikte. Een draaideur is namelijk ongeveer twee maal zo dik als een puntdeur voor een zelfde dagmaat van de sluis.

De deurnis is de inkassing in het sluishoofd aan de niet-draaipunt- (of deurtip-) zijde. De diepte van de deurnis wordt meestal even groot gemaakt als de deurkas. Om de tip van de deur kan het water dan zo lang mogelijk goed rondstromen. Bij tweezijdig kerende deuren moet de nis dieper zijn vanwege de grenzelconstructie (fig. 7.26) die voldoende ver naar de wand moet kunnen draaien om de draaideur te kunnen laten passeren.

7.2.4 Roldeuren

7.2.4.1 Algemeen

Een roldeur is een deurconstructie die dwars op de sluisas beweegt om te openen of te sluiten (fig. 7.11). Vanuit de open stand rolt (of schuift) de deur vanuit de deurkas naar de overstaande deurnis. De deur beweegt daarbij door een sleuf in de sluisbodem. De roldeur staat op twee rolwagens die dienen om het gewicht van de deur rollend te geleiden. De deur kan scharnieren om deze rolwagens en ook zijdelings verplaatsen ten opzichte van de rolwagens. De deur kan dus kantelen naar de bovengeleiding die zich aan het begin van de deurkas bevindt. In de gesloten stand steunt de deur in horizontale zin tegen beide sluiswanden en wordt door de waterdruk tegen de aanslagen gedrukt.

De roldeur wordt tweezijdig kerend uitgevoerd. Constructief moet de deur daarvoor aan weerszijden een beplating hebben. Een enkele beplating voor beide keringsrichtingen is niet uitvoerbaar. De beplating aan de laagwaterzijde keert de hoogste buitenwaterstand, die aan de hoogwaterzijde de hoogste binnenwaterstand. De beplatingen zijn dan ook meestal niet even hoog. Roldeuren toepassen bij éézijdige kering is niet zinvol, puntdeuren zijn daar economischer.

Roldeuren worden dus uitsluitend toegepast voor tweezijdige kering. Zeer grote sluizen, zeesluizen, zijn vrijwel altijd voorzien van roldeuren. Ook grote sluizen voor de binnenvaart, die tweezijdig moeten keren zijn, kunnen met roldeuren uitgerust worden. Kleinere roldeuren worden weinig toegepast.

7.2.4.2 Onderdelen

De samenstellende onderdelen van een roldeur worden mede bepaald door de wijze waarop de onderdelen worden vervoerd en in de sluiskolk gemonteerd. Roldeuren tot 24 m doorvaart worden op een

ponton vervoerd en met een drijvende bok of (indien mogelijk) een mobiele kraan in de kolk op de rails geplaatst. Voor deuren tot die afmetingen en gewichten zijn de benodigde hijsgereedschappen in voldoende mate aanwezig. Dat geldt niet voor de veel grotere roldeuren. Hijsgereedschap daarvoor is meestal heel weinig aanwezig of niet op korte termijn beschikbaar. De deuren worden dan ook selfsupporting uitgevoerd.

Roldeuren, die met een bok geplaatst kunnen worden, zijn als volgt samengesteld (fig. 7.11.en 7.12):

- een *beplating* zowel aan de hoog- als de laagwaterzijde van de deur;
- de beplatingen brengen de belasting, van binnenuit over naar een aantal verticale stijlen die over de deurlengte verdeeld zijn. Die stijlen maken deel uit van een verticaal portaal of andere samengestelde open constructies;
- verschillende horizontale liggers die de belastingen opnemen van de portalen;
- de horizontale liggers brengen de belastingen naar de eindportalen die op hun beurt de belastingen afvoeren naar de deurkas en -nis. De deur ontleent haar torsiestijfheid aan de hiervoor genoemde constructie-onderdelen;
- op de eindportalen en aan de onderzijde van de beplating zijn houten of kunststof aanslagen aan gebracht;
- twee opleggingen waarmee de deur op de onderrolwagens steunt en die de deur in de rijrichting meenemen;
- indien gewenst een ontlasttank in de deur waardoor het overgewicht op de rolwagens wordt verminderd;
- één of twee bevestigingspunten voor de staalkabel(s) die de deur open en dicht trekt;
- op de beplating zijn beschermende balken tegen aanvaringen aangebracht;

De dikte van de deur wordt niet zozeer door sterkte bepaald maar door de benodigde breedte van de rolwagens. Het is belangrijk dat de deur in langsrichting goed doorstroombaar is. Tijdens het bewegen verdringt de deur een hoeveelheid water. Het duidelijkst komt dat tot uiting bij het in een nauwe kas trekken van de deur. Tussen de wanden van de deur moeten zo min mogelijk obstakels aanwezig zijn.

Roldeuren rusten met een zeker overgewicht op de rolwagens om in alle omstandigheden stabiel te zijn, ook bij de hoogste waterstand en golven. Het benodigd overgewicht op de wagens wordt bepaald door de trekkrachten. Op de voorste wagon door de kracht bij het openen, op de achterste wagon door de kracht bij het sluiten. De manier van onderhoud bepaalt veelal de maximale belasting op de rolwagens. Slib op de deur verhoogt het gewicht in 'droogstand' in belangrijke mate.

Zeer grote roldeuren waarvoor op het vereiste moment geen hijsgereedschap in de vorm van een drijvende bok beschikbaar is, hebben extra voorzieningen die de deur selfsupporting maken:

- een drijfkist waarmee de deur met voldoende vrijboord over de betrokken vaarweg gesleept kan worden;
- een installatie om de deur op de rolwagens af te zinken; de drijfkist is daartoe onderverdeeld in een aantal secties die apart gevuld of geleidigd kunnen worden (fig. 7.28);
- appendages waarmee de deur voor het onderhoud opgedreven kan worden (luchtleidingen, afsluiters etc.).

7.2.4.3 Montage en onderhoud met constructieve consequenties daarvan

Plaatsen in sluis

Bij een roldeur met een eigen drijfsysteem wordt de deur boven de sleuf in de bodem gemanoeuvreed. De rolwagens zijn van tevoren op de rails geplaatst. De deur wordt afgezonken met de deurkas en -nis als geleiding. In de sleuf in de bodem zijn voorzieningen aangebracht om de rolwagens op en tussen de rails te plaatsen en op hun plaats te fixeren. Tijdens het plaatsen wordt die fixatie door de deur opgeheven. Omdat de rolwagens niet aan de deur vastzitten is het in principe mogelijk de rolwagens te verwisselen door de deur enigszins te laten opdrijven.

Bij de eerste montage van de deuren kunnen de deuren gewoonlijk geplaatst worden bij de binnenwaterstand. De plaats van de drijfkist in de deur wordt daarop bepaald. De deur moet namelijk voldoende ruim boven de onderrolwagens kunnen drijven (fig. 7.30). Bij het verwisselen van de deuren is aan de

getijdekant van de sluis wellicht een lagere waterstand aanwezig. Als de plaats van de drijfkist op het lage water moet worden gebaseerd is dat meestal zo laag in de deur dat deze, tijdens het drijven zonder geleidingen, instabiel zal blijken.

Plaatsen in kas

Bij het verwisselen van de roldeur kan de stremming van de sluis bekort worden door het afzinken in de deurkas te laten plaatsvinden. De deurkas moet dan worden voorzien van extra geleidingen voor zowel langs- als dwarsrichting. In fig. 7.29 is dat in het bovenaanzicht aangegeven. Natuurlijk moeten ook de voorzieningen voor het plaatsen van de rolwagens in de deurkas aanwezig zijn.

Het drijvend aanbrengen van een deur in de kas vergt een breder eindschot aan de kant van de kas. In fig. 7.31 zijn de gevolgen voor de ingang van de kas aangegeven. Het bredere eindschot moet aan de onderzijde aansluiten op de aanslagen (afdichting) van de onderzijde van de deur. De onderzijde van het eindschot is daarom verlopend (fig. 7.32).

In de deurkas kan een constante waterstand gehandhaafd worden door deze, na het indrijven van de deur, af te sluiten met schotten. Het plaatsen van de schotten kan gebeuren zoals in fig. 7.33 is geschetst. Op die wijze wordt extra stremming voorkomen die met een drijvende bok nodig zou zijn. Het niveau kan in stand gehouden worden met de aanwezige pompinstallatie voor het leegpompen van de kas. De kas moet normaal toch al leeggepompt kunnen worden voor het verwisselen van de rails of voor het onderhoud aan de deur wanneer dat ter plaatse geschiedt.

Afzinken

Er zijn ballast-, trim-, duik-, zak- en ontlasttanks, die samen de drijfkist vormen, die zich over de volle breedte van deur bevindt (fig. 7.28). Het afzinken van een deur geschiedt door water in de bepaalde tanks toe te laten. Indeling en inhoud van elke tank wordt bepaald door zijn functie. Het niveau van de onderkant van de drijfkist hangt af van de beschikbare waterstand en de benodigde stabiliteit van de deur, de bovenkant van het vereiste vrijboord.

Bij het begin van zinken worden de ballasttanks zover met water gevuld dat de bovenkant van de drijfkist strookt met de waterlijn. De deur wordt horizontaal gesteld door het vullen van de afzonderlijke trimtanks. Het verder afzinken gebeurt door het vullen van de duiktanks waarbij de inhoud voldoende moet zijn om de deur op de wagens te laten zakken.

Als de bovenkant van de drijfkist door de waterlijn zakt, gaat de deur op de daarboven gelegen zaktanks drijven. De deur ontleent hieraan haar stabiliteit in langsrichting. In dwarsrichting zal die stabiliteit vrijwel nihil zijn, vandaar de geleidingen die de deur tijdens het afzinken nodig heeft.

Als de deur op de rolwagens rust worden de ballasttanks verder gevuld. De inhoud van de tanks is aangepast aan het benodigde overgewicht dat de deur op de wagens moet hebben. Per wagen kan dat verschillend zijn. Het zwaartepunt kan uit het midden liggen, maar ook de trekkracht aan de deur voor het openen is groter dan voor het sluiten (fig. 7.34).

Onderhoud

Het conserveren van de deur en het plegen van groot onderhoud vergt uitgebreide voorzieningen in verband met het milieu. Voor grote en zware deuren met een eigen drijfsysteem zijn daarvoor weinig bestaande faciliteiten. Het onderhoud kan dan het beste in de eigen deurkas plaatsvinden die dan als deurdok ingericht moet worden. Tast dat de reserve van de sluis te veel aan, dan moet een extra dok ter plaatse gebouwd worden.

Roldeur zonder drijfsysteem

Het plaatsen van een roldeur zonder eigen drijfsysteem geschiedt met een drijvende bok in de sluiscolk. De deur wordt boven de kas en nis gemanoeuvreerd. Bij het zakken van de deur wordt deze tussen de aanslagen van kas en nis geleid. De rolwagens zijn flexibel aan de deur opgehangen. De flenzen van de wielen (of anders) zoeken de rails die in de sleuf in de bodem van de sluis zijn bevestigd. Duidelijk blijkt dat het plaatsen met behulp van een drijvende bok veel eenvoudiger is dan het plaatsen met een self-supporting systeem. Het maakt het onderhoud (conservering) ook eenvoudiger door de deur op de wal te plaatsen en bijvoorbeeld in een eigen loods te onderhouden.

7.2.4.4 Afdichtingen

Roldeuren dichten aan de zijkanten af tegen verticale aanslagen en aan de onderzijde tegen een dorpel of drempel. Het materiaal van de aanslagen is afhankelijk van de wijze waarop de deur geleid wordt. Is het een rollende geleiding met afdrukrichting dan rust de deur in de gesloten stand met hout op beton. Het hout kan voorzien zijn van een rubberen slab, de verticale afdichting is dan optimaal.

De horizontale afdichting, onder langs de deur, moet de doorbuiging van de deur meemaken. De betonnen dorpel (of het ingestorte profiel) is echter een rechte lijn. Om de onderkant in het midden van de deur toch de vervorming mee te kunnen laten maken, dus terug te buigen, wordt een zogenaamde verende plaat toegepast. Door het verval over de deur kan de plaat naar binnen te ver uitbuigen. De plaat wordt tegengehouden door aanslagen die op de einden van de verticale stijlen worden aangebracht (fig. 7.35). De onderaanslag heeft ook een rubberen slab voor een goede afdichting.

Heeft de deur een schuivende geleiding, dan kan rubber niet worden toegepast. De afdichting van de deur is dan minder goed. Plaatselijke onnauwkeurigheden of beschadigingen in de aanslagen of in de maatvoering van de constructie veroorzaken enige lekkage.

7.2.4.5 Deurgeleiding

Tijdens het bewegen ondervinden roldeuren belastingen loodrecht op het deurvlak door verschillen in waterstand en dichtheid van het water. Bij een roldeur wordt de belasting opgenomen door drie steunpunten, twee aan de onderzijde in de sleuf en één aan de bovenzijde van de deur in de deurkas.

Zijn de belastingen klein, dan kan de deur bewegen terwijl deze zijdelings tegengehouden wordt door de aanslagen. Aan de onderzijde zijn er dus twee steunpunten en wel ter plaatse van de eindportalen. Aan de bovenzijde één steunpunt door een oplegging op de deur die langs de wand van de deurkas schuift of met een oplegging op de wand van de deurkas die langs een baan op de deur schuift. De keuze voor een baan op de deur of langs de deurkas is afhankelijk van de vormgeving van de ingang van de kas, maar ook van de hoogte van de verticale aanslagen.

Zijn de belastingen erg groot zoals bij zeesluizen, dan worden wielen gebruikt om de deur te geleiden. Om te voorkomen dat die wielen ook de vervalbelasting bij een gesloten deur moeten opnemen, worden de wielen in die stand ontlast. Dit vergt meestal ingewikkelde constructies die moeilijk te onderhouden zijn.

7.2.4.6 Nivelleren

Het nivelleren door openingen in de roldeuren komt voor bij sluizen met een breedte van bijvoorbeeld 24 m. Bij nog grotere sluizen wordt meestal via aparte riolen genivelleerd omdat deze lagere krachten op de schepen uitoefenen en grote zeeschepen afmeersystemen hebben die relatief gezien minder kunnen opnemen dan die van binnenvaartschepen.

Het nivelleren door roldeuren is constructief minder eenvoudig. Er zijn drie mogelijkheden:

- 1 In beide beplatingen een opening met een schuif aan de benedenstroomse zijde (fig. 7.36, rechte figuur). De schuiven keren negatief. Deze negatieve kering maakt een voorspanning in de geleiding nodig wat de hefkracht van de schuiven doet toenemen.
- 2 Tussen de beplatingen wordt een koker aangebracht zodat één tweezijdig kerende schuif vodoende is (fig. 7.36, middelste figuur).
- 3 In beide beplatingen een opening met een schuif aan de bovenstroomse zijde (fig. 7.36, linkse figuur). De schuiven keren wel positief maar doorsnijden in de deur de aanwezige verstijvingen. De geleiding en het bewegingswerk zijn lastig bereikbaar.

Een goede spreiding van de waterstroom in de kolk kan bij de openingen volgens de oplossingen 1 en 3 niet bereikt worden. Bij oplossing 2 is dit wel mogelijk en deze verdient daarom de voorkeur.

7.2.4.7 Deurkas en deurnis

De deurkas voor een roldeur die met hijsmiddelen uit het water getakeld kan worden (dus zonder eigen drijfvermogen), heeft weinig voorzieningen nodig. De breedte en de lengte moeten voldoende zijn om opstuwing vóór en achter de bewegende deur te beperken. De kas moet drooggezet kunnen worden om de rails en de geleidingen te inspecteren. De deur moet ver genoeg uit de dag van de sluis getrokken worden om aanvaring door langsvarende schepen te voorkomen.

De deurkas voor grotere deuren (zeer grote zeesluizen) waarin de deur drijvend aangevoerd moet worden en vervolgens afgezonken, vergt een groot aantal voorzieningen:

- de kas moet zo lang zijn dat achter een drooggezette deur de rolwagens weggetakeld kunnen worden;
- onder een drijvende deur door moeten de rolwagens uitgewisseld kunnen worden;
- de kas moet voldoende breed zijn om eenvoudige reparaties te kunnen uitvoeren;
- in de kas zijn voorzieningen om een deur de kas in te drijven;
- in de kas moeten geleidingen geplaatst worden om de deur te kunnen opdrijven of afzinken;
- de kas is voorzien van aanslagen waartegen een deur moet kunnen lopen als de eindschakeling weigert;
- de kas moet, indien vereist, aansluiten op een verkeersweg over de deur.

Indien de deurkas ook als dok wordt gebruikt, is bovendien het volgende nodig:

- de kas moet drooggezet kunnen worden zonder de sluis te stremmen;
- er moeten voorzieningen zijn om de deur te kunnen ondersteunen;
- de bodem van de kas moet gemakkelijk en veilig bereikbaar zijn;
- een loopkraan moet over de kas kunnen rijden die onderdelen voor de deur kan aan- en afvoeren terwijl de kas rondom bereikbaar is.

De deurnis is voorzien van een geleiding om de deur storingvrij de nis in te geleiden. Tijdens het bewegen wordt de deur getordeerd door belastingen loodrecht het deurvlak. Als deze belastingen groot zijn worden wielen met afdrukinrichtingen toegepast. Tegen de wand van de nis bevinden zich flexibele aanslagen in geval de eindschakeling mocht weigeren.

7.2.4.8 Wegverkeer over een roldeur

Roldeuren kunnen geschikt worden gemaakt voor het wegverkeer op sluisniveau. Afhankelijk van de deurdikte zijn één of meerdere verkeersstroken mogelijk. De capaciteit is echter kleiner dan van een aparte beweegbare brug van dezelfde afmetingen door de bochten in de rijweg (fig. 7.37). Dat kan wel beter maar vergt (1) een bovenrolwagen die met de deur mee beweegt en de kas langer maakt of (2) een dure overbrugging van de deurkas.

7.2.4.9 Gevoeligheid voor vuil en ijs

Roldeuren zijn gevoelig voor slib en zwevend vuil. Het wordt de deurkas ingezogen bij het sluiten van de deur, bezinkt achter de deur en hoopt zich op tegen de achterwand van de deurkas. Daar moet dan ook voldoende ruimte zijn om het vuil te bergen. Het vuil wordt periodiek verwijderd met een grijperkraan of dergelijke. De deur en de rolwagens worden voorzien van baanschuivers om klemlopen te voorkomen. Verder wordt bij de onderkant van de deur voor de rolwagens een vuilrooster geplaatst.

Bij de deurnis treden nauwelijks problemen op omdat het vuil van hieruit gemakkelijk de kolk of voorhaven weer in kan. Wel kan bij de deurnis de deur door drijvend hout en dergelijke klem lopen.

Een roldeur is ook gevoelig voor ijs. Tijdens het bewegen kan de roldeur vastlopen door drijvend ijs in deurkas en -nis. Dit is met name het geval in de deurkas waar zich drijvend ijs kan ophopen door de aanzuigende werking van de deur. Op de aanslagen van de deur kan ijs aangroeien. De deur kan daardoor klemlopen en zelfs vastvriezen.

IJsvorming in de deurkas kan door lucht blazen vanaf de bodem tegengegaan worden. Raakt de deurkas desondanks te vol met ijs dan moet de sluis gestremd worden. Het ijs is uit de deurnis te houden door lucht blazen vanaf de bodem. Het ijs in de sluiskolk veroorzaakt geen overlast aan de deur anders dan door beschadigingen aan de conservering.

7.2.4.10 Van roldeur naar glijdeur

Een roldeur heeft één groot nadeel. Er bevinden zich veel bewegende en draaiende delen onder water. Dat leidt tot hoge onderhoudskosten en stremmingen van de sluis. Inspectie van de bewegende delen is vrijwel niet mogelijk, die bevinden zich allemaal onder de deur. Voor inspectie moeten de deuren met de rolwagens of de rolwagens zelf uitgewisseld worden.

Voor de roldeuren van de Nieuwe Oranjesluis is een systeem ontwikkeld waarin de veel onderhoud vragende en aan slijtage onderhevige rolwagens vervangen zijn door twee hydrolagers die het overgewicht van de deur dragen. Hydrolagers zijn vlakke, ronde opleggingen die met behulp van water onder druk over een zeer kleine hoogte opgedrukt worden. Aan de omtrek van het lager ontwijkt water. De oplegging draagt op een waterfilm waardoor een zijdelingse beweging bijna geen kracht kost. De deur kan daardoor schuiven, of beter nog 'glijden'. Zie verder par. 7.4.4.3.3

7.2.5 Hefdeuren

7.2.5.1 Algemeen

Een hefdeur is een vlakke deur die voor het openen en sluiten een verticale beweging maakt. In de hoogste stand hangt de deur tussen twee torens. De deur beweegt tussen twee nissen die in de wanden van het sluishoofd zijn uitgespaard en doorlopen tot in de torens waar ze meestal opgebouwd zijn uit een staalconstructie. Hefdeuren worden meestal gedeeltelijk uitgebalanceerd. Toch is de trekkracht bij het hijsen tamelijk groot, en zijn, in verhouding tot andere deurtypen, grote bewegingswerken nodig.

De deur steunt in gesloten stand, aangedrukt door een niveauverschil, tegen aanslagen in de nissen. Hefdeuren worden zowel éézijdig als tweezijdig kerend toegepast. Constructief is er weinig verschil. Een hefdeur heeft voor tweezijdige kering maar één beplating nodig en is daarom eenvoudiger en lichter dan bijvoorbeeld een roldeur die twee beplatingen bezit. In fig. 7.40 is een tweezijdig kerende hefdeur schematisch weergegeven, een éézijdig kerende deur ziet er vrijwel hetzelfde uit.

Hefdeuren worden alleen toegepast als de doorvaarthoogte beperkt mag zijn. Een hogere toepassing dan vereist voor Rijnvaarthoogte is vanuit economische overwegingen vrijwel nooit verantwoord. Toepassing vindt plaats bij sluizen met één- en tweezijdige kering en met een maximum van 24 m doorvaartbreedte. De keuze voor hefdeuren valt in het algemeen daar waar geen ruimte is voor een ander deurtype. Hefdeuren vragen namelijk in de breedte en in de lengte weinig ruimte.

7.2.5.2 Onderdelen

De hefdeur is een eenvoudige constructie die de volgende functionele onderdelen omvat (zie fig. 7.12):

- een enkele beplating en een onderaanslag waar de deur in gesloten stand op steunt en afdicht;
- een aantal horizontale liggers die de belasting van de beplating overdragen;
- verticale eindschotten (of eindliggers), aan elke zijde van de deur één, die de belasting van de horizontale liggers overdragen. De eindschotten steunen met de aanslagen en/of op de wielen in de nissen in de sluishoofden;
- verticale stijlen tussen de horizontale liggers die de plaatvelden van de beplating verkleinen;
- houten aanslagen aan beide zijden van de eindschotten; bij zeer hoge belastingen is dat een ander materiaal;
- schuiven of wielen met ondersteuning van de assen in de deur. De ondersteuning van de assen geschiedt door de eindschotten en een ernaast geplaatste verticale ligger.

In fig. 7.40 is een tweezijdig kerende hefdeur schematisch weergegeven. Een ééNZijdig kerende deur ziet er hetzelfde uit, alleen kunnen de aanslagen aan de hoogwaterzijde weggelaten worden. De deur mag torsieslap zijn, als de verticale aanslagen niet in hetzelfde vlak liggen moet de deur iets kunnen torderen.

7.2.5.3 Deurgeleiding

Hefdeuren worden tijdens het heffen en zakken door middel van schuivers of rollen geleid.

De schuivers zijn bevestigd aan de deur. De banen voor de geleiding zijn in de nissen en aan de torens aangebracht. De banen zijn tegelijk de aanslagen voor de eindstand en de afdichting. Schuivende geleidingen zijn eenvoudig maar vereisen een extra trekkracht aan de hijsinrichting als gevolg van de belasting tegen de hefdeur tijdens het bewegen. Ook extra overgewicht is nodig om bij die belasting de deur te kunnen laten zakken.

Wielen bewegen langs rails die in de nissen en aan de torens zijn bevestigd. De rails en de afdichting liggen naast elkaar (zie fig. 7.41). Rollende geleidingen vergen minder trekkracht. De draaiende delen onder water vergen echter veel aandacht en onderhoud. De wielen met assen zijn aanzienlijk duurder en zwaarder dan de schuivers; het uit te balanceren gewicht is daardoor groter. Ook zijn diepere nissen vereist.

De keuze van het systeem (schuiven of rollen) is enerzijds afhankelijk van de grootte van de belasting op de deur tijdens heffen, anderzijds van de kosten van beide oplossingen, inclusief die voor de hijswerken. Bij grote vervallen die kerend en heffend ongeveer hetzelfde zijn, is een rollende geleiding een vereiste.

Tijdens het heffen kan de deur scheef gaan lopen. Een rol of een schuiver aan weerskanten van de deur zorgt er voor dat de wielen niet naast de rails kunnen gaan rollen.

De zijgeleiding wordt in hoogterichting geplaatst midden tussen de wielen. De zijdelingse uitwijking van de wielen is dan minimaal bij de toegelaten scheefstand.

7.2.5.4 Afdichtingen

In gesloten stand steunen hefdeuren tegen verticale aanslagen in de nissen. Deze aanslagen dichten tevens af. Eenzijdig kerende deuren met rollende geleiding, die in de kerende stand op de wielen blijven rusten, dichten af met een verende stalen plaat aan het eindschot (fig. 7.42). Bij tweezijdig kerende deuren zijn de eindschotten aan beide zijden voorzien van aanslagen (zie fig. 7.40).

Tweezijdig kerende deuren met een rollende geleiding kunnen soms door de grote kerende belasting niet op de wielen blijven rusten. De wielen worden dan in de gesloten stand ontlast door de assen (zie fig. 7.119) over ca. 90° te verdraaien. Daartoe is de as in het wiel excentrisch, dus uit het hart, geplaatst ten opzichte van het gedeelte van de as in de steunpunten. De deur kan door middel van die constructie door de waterdruk, onafhankelijk van de belastingsrichting, verschuiven tot tegen de oplegadzels. De afdichting wordt dan verzorgd een hol rubber profiel.

Aan de onderzijde steunt de deur op de bodem van de sluis, zowel onder de beplating als onder de eindschotten; in fig. 7.40 zijn dat de aanslagen B en C. Met voldoende overgewicht dichten deze onderaanslagen tevens af. Het benodigd overgewicht is afhankelijk van het te keren verval en van de aanslagen (breedte en materiaal).

7.2.5.5 Nivelleren

Het nivelleren door openingen in hefdeuren is zeer goed mogelijk net als bij de enkele draaideur. De totale breedte van de openingen kan constructief zeker 60% van de doorvaartbreedte zijn. Bij de hefdeuren zit de beplating meestal aan de hoogwaterzijde, de schuifgeleiding is dan ook aan die zijde bevestigd. Achter de beplating bevinden zich de geleideschotten voor de spreiding in de breedte. Indien nodig wordt bij tweezijdige kering de schuif naar beide zijden goed afdichtend ontworpen.

Nivelleren door het heffen van de deur is zonder voorzieningen niet mogelijk omdat dan een spleet over de volle breedte van de deur vrijkomt met de vrij grote minimum hefsnelheid van de deur. In fig. 7.43 is een strip onder aan de deur aangebracht die er voor zorgt dat de opening die vrijkomt kleiner is dan de hefhoogte van de deur.

7.2.5.6 Gevoeligheid voor vuil, ijs en ijsvorming

Hefdeuren zijn gevoelig voor drijvend vuil. Aan de open zijde drijft dat bij het ontbreken van een vuilrooster de deur binnen; in geopende stand kan het vuil op een er onderdoor varend schip vallen. Een hefdeur die door wielen geleid wordt kan door in de nis drijvend hout klem lopen. Vóór de wielen moeten om dit te voorkomen, baanschuivers worden aangebracht. Slib zal op de horizontale liggers bezinken; daarmee moet rekening worden gehouden bij het bepalen van het overgewicht van de deur boven water. Drijvend ijs heeft op de deur hetzelfde effect als drijvend vuil. Ijsschotsen in de deur moeten vermeden worden. Roosters vóór het open gedeelte van de deur zijn gewenst, al kan hier weer extra water aanvriezen.

In de deurnissen kan ijsvorming ontstaan rondom geleidingen en afdichtingsvlakken. Het is gebruikelijk om rails en oplegvlakken van rubberafdichtingen te verwarmen. De profielen daarvoor worden hol uitgevoerd.

7.2.5.7 Monteren en demonteren van hefdeuren

Bij de eerste montage wordt met behulp van een drijvende bok de hefdeur eerst boven het sluisniveau gehesen. Daarna wordt de deur via de nissen tot op de bodem van het sluishoofd neergelaten. Van tevoren moet aan één of twee zijden een gedeelte van de geleiding gedemonteerd worden. De hijskabels worden met de hijswerken afgelaten naar de ophangpunten. Als de deur uitgebalanceerd is, staat het balansgewicht in de hoogste stand op hydraulische vijzels. Als de kabels van het balansgewicht aangesloten zijn, wordt het gewicht omhoog gedrukt en worden de kabels aan de deur gekoppeld. De vijzels worden daarna ontlast waardoor het gewicht aan de deur gaat hangen. Als ook het tweede gewicht hangt, kan de deur opgehesen worden. Eerst moeten daarvoor de ontbrekende delen van de deurgeleidingen gemonteerd worden.

Bij het demonteren, wanneer een deur uitgewisseld moet worden, heffen de hijswerken de deur tot boven het sluisniveau. Onder de deur wordt daarna over elke nis een stalen balk aangebracht. De deur wordt dan afgelaten op de balken. Het ballastgewicht moet op de betreffende plaats door vijzels opgedrukt worden. Na het verwijderen van een gedeelte van één geleiding kan de deur door een drijvende bok gehesen en uitgedraaid worden zoals op fig. 7.44 is getekend. Voor het aanbrengen of afvoeren van onderdelen is in de toren hijsgereedschap aanwezig, hetzij de voorzieningen daarvoor. Het demonteren neemt nogal wat tijd in beslag; in die tijd kunnen in de kolk andere werkzaamheden plaatsvinden.

7.2.5.8 Onderhoud

Klein onderhoud van hefdeuren kan ter plaatse geschieden als de sluis tenminste gestremd mag worden. In het verleden werd één van de voordelen voor hefdeuren genoemd het onderhoud ter plaatse zonder verwisselen. De milieueisen van nu vergen zoveel voorzieningen dat het uitwisselen van deuren al gauw economischer is. De conservering kan daarna bij derden geschieden.

7.2.5.9 Wegverkeer over een hefdeur

Bij hefdeuren kan een verkeersweg worden aangebracht zoals fig. 7.45 weergeeft. Dat kan niet over de deur omdat de heftorens dan in de weg staan. Vóór de deuren wordt een verkeersstrook geplaatst, die steunt op consoles aan de deur. Bij het heffen van de deur gaat de 'brug' mee omhoog.

De weg kan het beste buiten de sluiskolk aangebracht worden. Situering binnen de kolk betekent grotere kans op aanvaring en een grotere kolk lengte. De verkeersstrook betekent een ongunstige belasting op de deur en deurgeleiding. Bij hefdeuren wordt de wegverbinding meestal alleen gebruikt voor de bereikbaarheid van de sluiskolkwanden ten behoeve van de bediening en het onderhoud. Daar is één verkeersstrook voldoende voor.

7.3 Keuze sluisdeuren

Deze paragraaf is bedoeld om een keuze van type sluisdeur te maken. Nadat in par. 7.2 de specifieke kenmerken van de vier typen sluisdeuren zijn behandeld, worden in par. 7.3.1 eerst de sluizen ingedeeld in één- en tweezijdige kering en in grootte. Aan de verschillende te onderscheiden sluizen worden in de par. 7.3.2 en 7.3.3 deurtypen gekoppeld. Bij de koppeling van een sluisstype aan een deurtype wordt gelet op de technische mogelijkheden, bouw-, exploitatie- en onderhoudskosten, bedrijfszekerheid en duurzaamheid, schutcapaciteit, milieu, ruimtebeslag etc. Verder wordt aandacht besteed aan de situering van de deuren in de sluis. Een voorbeeld van hoe een deurkeuze verloopt wordt in par. 7.3.4 gegeven. Aangetekend wordt hierbij dat in het ontwerpproces bij de afweging van de diverse varianten, ook het bewegingswerk van de deur (par. 7.4) en het sluishoofd (Hoofdstuk 8) betrokken moeten worden om een deurkeuze te maken.

7.3.1 Sluisindeling

Eenzijdige kering (fig. 7.46)

De eenzijdig kerende sluis is meestal een sluis in een kanaal, een sluis in een gekanaliseerde rivier naast een stuw of een sluis die met een kanaal aantakt op een rivier, een bekken, een boezem of een ander kanaal. De vervallen over de sluis kunnen door de rivierafvoer, stuw- en boezembeheer, op- of afwaaiing in de tijd variëren maar het verval staat steeds in één richting. Uitgezonderd de op- en afwaaiing varieert het verval langzaam in de tijd of in het geheel niet. De sluizen zijn met het oog op het toe te passen type sluisdeur onder te verdelen in de volgende grootten:

- zeer kleine sluizen, doorvaartbreedte 4 - 6 m;
- kleine sluizen, doorvaartbreedte 6 - 10 m;
- middelgrote sluizen, doorvaartbreedte 10 - 16 m;
- grote sluizen, doorvaartbreedte 16 - 24 m.

De zeer kleine sluizen zijn uitsluitend bestemd voor de recreatievaart. De kleine, middelgrote en grote sluizen zijn in de eerste plaats bedoeld voor de binnenvaart maar zijn ook toegankelijk voor recreatievaart en kleine zeevaart. Volgens de richtlijnen van de cvb zijn sluizen met een doorvaartbreedte van 9 m toegankelijk voor schepen tot vaarwegklasse III (Dortmund/Emskanaal-schip), 10,5 m tot vaarwegklasse IV (Rijn/Hernekanaal-schip), 12,5 m tot vaarwegklasse Va (Groot Rijnschip) of Vb (2 baks, gestrekte duweenheden) en 24 m tot vaarwegklasse VI (4-baks duweenheden).

Tweezijdige kering (fig. 7.47)

Sluizen in getijdegebieden zoals aan zee, aan zeearmen of aan rivieren in open verbinding met zee, ondervinden aan de buitenzijde de invloed van de wisselende zeestanden als gevolg van getijden, stormvloeden en seiches. De binnenwaterstand is vaak een min of meer vast kanaal- of bekkenpeil, maar vaak is hier de invloed van de zee, een rivier of op- of afwaaiing bij een bekken aanwezig. Binnen enkele uren kan het verval omkeren.

Sluizen die verbonden zijn met rivieren kunnen ook tweezijdig kerend zijn. De waterstanden in de rivieren worden bepaald door de afvoer en het eventuele stuwbeheer. Bij een kanaal tussen twee rivieren heersen over de sluis wisselende waterstanden afhankelijk van de betreffende rivierafvoeren. Een sluis op de plaats waar een kanaal aansluit op de rivier ondervindt aan het buitenhoofd de invloed van de wisselende rivierstand. Het omkeren van het verval kan dagen duren vanwege de lange duur van een hoogwatergolf.

Een sluis tussen twee bekkens of op de plaats waar een kanaal aansluit op een bekken, kan ook tweezijdig kerend zijn door op- of afwaaiing op het bekken of door een ander peilbeheer. Het wisselen van het verval kan in enkele uren zijn beslag krijgen.

Voor tweezijdig kerende sluizen wordt de overeenkomstige indeling van eenzijdig kerende sluizen aangehouden met als extra:

- zeer grote sluizen, doorvaartbreedte > 24 m

Recreatievaart wordt als regel afgewikkeld in zeer kleine, kleine en middelgrote sluizen. Binnenvaart in kleine, middelgrote en grote sluizen terwijl voor zeevaart de kleine, middelgrote, grote en zeer grote sluizen gebruikt worden.

Sluizen in getijdegebieden zijn vaak zeevaartsluizen die door de grote diepgang van zeeschepen vaak dieper zijn dan sluizen voor de binnenvaart en verder uiteraard veel breder en langer kunnen zijn door de afmetingen van de zeeschepen. Combinatie van binnenvaart met zeevaart respectievelijk met recreatievaart is acceptabel mits de veiligheid is gewaarborgd. Combinatie zeevaart met recreatievaart dient te worden vermeden.

Tabel 7.1

In tabel 7.1 is aangegeven bij welk type sluis welke type deur wordt toegepast. De hoofdingeling van type sluizen is (1) tweezijdig kerende zeevaartsluizen, (2) tweezijdig kerende binnenvaartsluizen en (3) enkelzijdig kerende binnenvaartsluizen, met een onderverdeling in sluisgrootte. Met recreatievaart is bij de indeling geen rekening gehouden, deze wordt ondergebracht bij de zeer kleine of kleine binnenvaart- of zeevaartsluizen. De indeling van type sluisdeuren is (a) puntdeur (eenzijdig kerend of tweezijdig kerend door dubbel stel resp. door vergrendeling), (b) draaideur (eenzijdig kerend of tweezijdig kerend door vergrendeling), (c) roldeur (tweezijdig kerend) en (d) hefdeur (eenzijdig kerend en tweezijdig kerend). De tabel wordt in de volgende paragrafen verder toegelicht.

7.3.2 Type sluisdeur bij éénzijdig keren

Bij relatief kleine vervallen over de sluis (tot enkele meters) krijgen boven- en benedenhoofd dezelfde drempelliging en kunnen de deuren identiek zijn. Bij grotere vervallen over de sluis ligt de drempel in het bovenhoofd hoger dan in het benedenhoofd; de bovenhoofddeur is dan lager dan de benedenhoofddeur.

Zeer kleine sluizen

In de zeer kleine, eenzijdig kerende sluizen worden vrijwel uitsluitend draaideuren toegepast omdat dit de eenvoudigste oplossing geeft. Puntdeuren zijn technisch gezien ook mogelijk maar door het dubbele aantal deuren en bewegingswerken zijn de kosten van investering, beheer en onderhoud hoger. Verschil in gevoeligheid voor vuil, ijs of aanvaring tussen enkele draai- en puntdeuren is er bij deze sluisafmetingen nauwelijks. De opstelling van de deuren volgens fig. 7.50 met een gelijk boven- en benedenhoofd verdient de voorkeur boven die van fig. 7.51 met een korter bovenhoofd maar verschillende deurbewegingswerken.

Kleine sluizen

Kleine, eenzijdig kerende sluizen worden zowel met punt- als met draaideuren uitgevoerd (zie fig. 7.48 en 7.50). De eenvoud van de draaideur valt weg tegen andere aspecten. De voordelen van puntdeuren ten opzichte van draaideuren zijn voornamelijk dat het ruimtebeslag kleiner is (kortere sluis), de deuren kleiner en lichter zijn, de beweegtijd van de deuren korter is en de investering meestal lager uitvalt. Daartegenover staat dat draaideuren een betere afdichting hebben en slechts één deurbewegingswerk per hoofd nodig hebben. Het resultaat is meestal dat de keuze toch op puntdeuren valt.

Het verschil in de bewegingswerken van de boven- en benedendeuren is het gevolg van de natte deursoort tijdens het bewegen van de deur.

Bij kanaalsluizen met een verval tot enkele meters zijn de drempels in beide hoofden even hoog. De deur in het benedenhoofd moet dan in het kanaalpeil kunnen draaien terwijl die in het bovenhoofd in een waterhoogte draait van het kanaalpeil plus het verval.

Bij grotere vervallen wordt de drempel in het bovenhoofd hoger aangelegd. De bovendeur is dan lager dan de benedendeur. Beide deuren draaien dan evenwel in ongeveer even diep water.

Middelgrote en grote sluizen

In middelgrote en grote eenzijdig kerende sluizen wordt om bovengenoemde redenen vrijwel uitsluitend voor puntdeuren gekozen en nooit voor draaideuren. Draaideuren zullen in elk geval bij deze sluisafmetingen erg zwaar en moeilijker handelbaar zijn. Bij sluizen met een groot verval kan wegens ruimtege-

brek ook voor hefdeuren gekozen worden. In het verleden werd in verband met het eenvoudige niveleersysteem door het langzaam heffen van de deur, bij grote vervallen ook vaak voor hefdeuren gekozen. Omdat dit type niveleersysteem kwalitatief de mindere is (opentrekken brede spleet) dan bijvoorbeeld met een woelkelder wordt dit tegenwoordig niet meer toegepast. Overigens is bij een groot verval over de sluis de deur in het benedenhoofd meestal hoger dan van het bovenhoofd.

7.3.3 Type sluisdeur bij tweezijdig keren

Zeer kleine sluizen

In zeer kleine sluizen worden bij tweezijdig keren gewoonlijk vergrendelde draaideuren toegepast. Fig. 7.56 geeft de deuropstelling waarbij de deur en het bewegingswerk van beide hoofden identiek zijn. Deze opstelling wordt gebruikt bij een groot positief verval en een kleiner negatief verval en vergt een aanzienlijke sluislengte.

Wanneer over het positieve verval over de sluis gezegd kan worden dat het kerende niveau van de sluis veel hoger is dan het maximum schutpeil en het negatieve verval over de sluis beperkt is, kunnen om de sluislengte te verminderen, de deuren op de kop van de sluis worden aangebracht volgens fig. 7.57. De krachten in de haakgrendels blijven daarbij beperkt. De deuren dienen gedeeltelijk als geleidewerk en de sluis is weinig gevoelig voor vuil en ijs.

Wanneer het positieve verval vrijwel net zo groot is als het negatieve verval over de sluis kan beter de opstelling van fig. 7.58 toegepast worden. De sluislengte is groot ten opzichte van de nuttige schutkolk. De drie opstellingen hebben identieke deuren, grendels en bewegingswerken, wat een duidelijk positief punt is. Beheer en onderhoud tonen weinig verschillen. De gevoeligheid voor vuil en ijs en het ruimtebeslag zijn bij fig. 7.57 het gunstigst. De aanvaargevoeligheid is voor fig. 7.56 het gunstigst. De uiteindelijke keuze voor de deuropstelling hangt dus af van de waterstandcombinaties, voornoemde argumenten en de investeringskosten.

Kleine sluizen

Kleine sluizen kunnen worden uitgerust met punt- of draaideuren, in opstellingen volgens fig. 7.52 t/m 7.58. De keuze voor de opstelling met draaideuren kan op bovenomschreven wijze gemaakt worden. Door kostenramingen moet een vergelijking met de opstellingen voor puntdeuren tot een definitieve keuze leiden.

De opstelling van fig. 7.52 met dubbele puntdeurstellen is in het verleden veel toegepast maar wordt nauwelijks meer overwogen. Als nadelen zijn te noemen de hoge kosten door de zeer lange sluislengte ten opzichte van de nuttige lengte van de schutkolk en het grote aantal deuren, schuiven en bewegingswerken, het grote ruimtebeslag en het met vierkant gesloten deuren schutten voor een sluis in een getijdegebied. Als voordelen zijn te noemen de geringe gevoeligheid voor aanvaren, nauwelijks beperkingen in verval en geen lekkage.

De fig. 7.53, 7.54 en 7.55 tonen opstellingen met enkele, vergrendelde puntdeurstellen, wat een gunstiger verhouding van nuttige schutkolk lengte en totale sluislengte oplevert. De te keren negatieve vervallen moeten beperkt zijn. Voor de aspecten kosten van investering, beheer en onderhoud zijn de drie opstellingen gelijkwaardig. De oplossing van fig. 7.53 is het gevoeligst voor ijs en die van fig. 7.55 is het minst gevoelig. De gevoeligheid voor aanvaren is voor fig. 7.55 het grootst en voor fig. 7.53 het kleinst.

De ervaring heeft geleerd dat voor kleine sluizen de opstelling met enkele, vergrendelde puntdeuren financieel meestal het aantrekkelijkst uitvalt bij een beperkt negatief verval over de sluis. Bij een groot negatief verval is de opstelling met enkele draaideuren aantrekkelijker.

Middelgrote sluizen

Middelgrote sluizen worden in de regel uitgevoerd met puntdeuren. De overwegingen zoals hiervoor beschreven voor de puntdeuropstellingen gelden ook hier. De keuze valt tussen de opstellingen van de fig. 7.53, 7.54 en 7.55. Enkele draaideuren worden nog niet toegepast, vooral vanwege de lange bewegingstijd. Nadere bestudering hiervan kan de toepassing uiteindelijk bevorderen.

Grote sluizen

Grote, tweezijdig kerende sluizen worden niet alleen met puntdeuren, maar ook wel met roldeuren of hefdeuren uitgevoerd.

De opstelling met dubbele stellen puntdeuren (fig. 7.52) is voor grote sluizen, zoals reeds vermeld bij kleine sluizen, zeker mogelijk maar niet aantrekkelijk vanwege de kosten (lange sluis, veel deuren en bewegingswerken, onderhoud etc.), ruimtebeslag en in getijdegebieden het vierkant sluiten. Eén stel puntdeuren per hoofd (fig. 7.53, 7.54 en 7.55) is met betrekking tot het ruimtebeslag, de investering en de onderhoudskosten een economischer oplossing, vooropgesteld dat de vergrendeling van de deuren voor de negatieve belasting geen grote extra investeringen vergt. De keuze van de stand van de deuren bepaalt de gevoeligheid voor aanvaren. Net als bij kleine sluizen is de opstelling volgens fig. 7.55 het meest gevoelig en die fig. 7.53 het minst gevoelig. De gevolgschade bij aanvaren is vaak een zwaarwegend argument voor de keuze van deuropstelling.

Grote sluizen in getijgebieden zijn veelal uitgevoerd met roldeuren (fig. 7.59). Deze zijn door de dubbele beplating tweezijdig kerend, robuust en daardoor goed bestand tegen aanvaringen. Roldeuren vereisen een grote aanlegbreedte door de deurkas en de daar achter gelegen machineruimte. De onderhoudskosten zijn hoog in verhouding tot die van puntdeuren vanwege de vele draaiende delen onder water, maar de exploitatiekosten zijn wat lager.

Hefdeuren (fig. 7.60) worden in sluizen toegepast wanneer het ruimtebeslag gering moet zijn en omdat deze eenvoudig geschikt gemaakt kunnen worden voor het bewegen bij een initieel verval over de deur. Voor een zeevaartsluis is dit type deur niet toepasbaar vanwege de beperkingen in doorvaarthoogte en de relatief diepe sluis. Maar in een binnenvaartsluis is de hefdeur geschikt. Esthetische eisen inzake de omgeving kunnen belemmerend werken voor de keuze van een hefdeur. Is eenmaal voor een hefdeur gekozen dan zullen aan vormgeving en kleurstelling van toren en deur hoge esthetische eisen gesteld worden. De kosten van investering, exploitatie en onderhoud zijn hoog. De gevoeligheid voor aanvaren, ijs en vuil zijn vrij gering. Als enig type geeft de deur overlast aan de er onderdoor varende schepen.

Zeer grote sluizen

Zeer grote sluizen met een sluisbreedte groter dan 24 m komen alleen voor bij zeesluizen. In die sluizen worden vrijwel alleen roldeuren toegepast. Roldeuren kunnen vrijwel onbeperkt hoog en breed uitgevoerd worden. Ze zijn robuust zodat ze goed bestand zijn tegen aanvaringen. Bij een aanvaring met grote vervormingen van de deur zijn de rails en de onderrolwagens zwakke schakels (Lekgeslagen drijftanks zijn de zwakste schakels omdat de deur dan meestal niet meer bewogen kan worden). In geopende stand worden de deuren zo ver binnen de sluiswandswand getrokken, dat langsvarende schepen ze niet kunnen beschadigen. Het onderhoud van roldeuren in grote getijdesluizen is kostbaar en tijdrovend. Zeer grote deuren moeten vanwege het gewicht selfsupporting zijn, dat wil zeggen ze worden drijvend aangevoerd en zelfstandig afgezonken op de rolwagens. De sluis en de deurkassen zijn daarop aangepast. Voor het onderhoud is een deurendok aanwezig. Zeer grote zeesluizen komen meestal eenmalig per sluiscomplex voor waardoor stremmingen zoveel mogelijk moeten worden vermeden. Per hoofd zijn in de regel twee deuren aanwezig die elkaars reserve zijn.

Het gebruik van andere deurtypen (puntdeuren, sectordeuren) is niet onmogelijk maar in de regel economisch niet aantrekkelijk.

7.3.4 Deurkeuze

Het kiezen van de deurtypen die toegepast zouden kunnen worden in een schutsluis, gebeurt tijdens het voorontwerp. Een beperkt aantal typen wordt op grond van ervaring geselecteerd. Van elk van die deurtypen met bewegingsinstallaties worden, na overleg met een specialist op het gebied van nivelleerprocessen, en in samenspraak met alle betrokken disciplines, de hoofdafmetingen voor een voorontwerp bepaald. Hierna worden voorontwerpen van elk van de sluishoofden gemaakt en in de lay-outs van het sluiscomplex opgenomen. Het ontworpen sluiscomplex wordt daarna getoetst aan het betreffende Programma van Eisen. Vanuit een financieel-economische beschouwing en een afweging van voor- en nadelen van de onderscheiden oplossingen wordt een advies uitgebracht aan de opdrachtgever.

In het algemeen kan gesteld worden dat de keuze van het type deur in hoofdzaak afhangt van de doorvaartbreedte van het sluishoofd, de eisen die aan de deur(en) worden gesteld als waterkering en de eisen ten aanzien van de bewegende deur.

In tabel 7.1 is aangegeven welke typen deuren in aanmerking komen voor welke doorvaartbreedte van de sluizen. Dit wordt voornamelijk bepaald door de sluisbreedte, of de sluis een- of tweezijdig kerend is en, ingeval van tweezijdig keren, hoe groot het negatieve verval is. Dit levert veelal een aantal deurtypen op.

Tabel 7.1 is in woorden als volgt samen te vatten.

Voor eenzijdig kerende sluizen worden in hoofdzaak puntdeuren toegepast, alleen voor zeer kleine sluizen (doorvaartbreedte 4 - 6 m) draaideuren. Voor middelgrote en grote sluizen (10 - 24 m) zijn ook éénzijdig kerende hefdeuren mogelijk.

Voor tweezijdig kerende sluizen loopt de keuze meer uiteen. Voor zeer kleine sluizen (4 - 6 m) zijn dat onafhankelijk van de condities waaronder ze moeten keren, vergrendelde draaideuren. Voor kleine sluizen (6 - 10 m) ligt de keuze tussen vergrendelde draaideuren (laten een groot negatief verval toe) en vergrendelde puntdeuren (beperkt negatief verval). Voor middelgrote sluizen (10 - 16 m) komen in aanmerking vergrendelde puntdeuren (beperkt negatief verval) en dubbele stelling puntdeuren of tweezijdig kerende draaideur (laten groot negatief verval toe). Voor grote sluizen (16 - 24 m) worden bij kleine negatieve vervallen vergrendelde puntdeuren en bij grotere negatieve vervallen roldeuren (zee- en binnenvaart) of hefdeuren (alleen binnenvaart) toegepast. Zeer grote sluizen (> 24 m) voor zeegaande schepen worden uitgerust met roldeuren.

Zijn via tabel 7.1 de in aanmerking komende deurtypen geselecteerd dan kan in het voorontwerpstadium via een keuzematrix het gunstigste deurtype gekozen worden (zie de tabellen 7.2 t/m 7.5). In deze keuzematrix is een aantal varianten (dat wil zeggen deurtypen) gesteld tegenover een aantal aspecten. De aspecten zijn bouwkosten, onderhoud, bedrijfszekerheid, duurzaamheid, schutcapaciteit, milieu, gebruiksgemak en waterdichtheid. Elke variant krijgt voor elk aspect een rapportcijfer of een aantal punten. De aspecten zelf krijgen weegfactoren om het onderlinge belang hiervan uit te drukken. Vermenigvuldiging van rapportcijfer of punten met de weegfactor levert een score. Alle scores van de aspecten opgeteld levert een totaalscore. De hoogste totaalscore moet de beste variant zijn.

Opgemerkt wordt dat de cijfers, punten en weegfactoren nooit volledig objectief zijn vast te stellen. De hoogste totaalscore geeft aan welke variant of deurtype de voorkeur verdient hoewel dit vanwege de mogelijke subjectiviteit kritisch moet worden gehanteerd. Wat daarnaast ook een rol kan spelen is de voorkeur van de opdrachtgever voor een bepaald deurtype.

Zoals hiervoor beschreven, hoort bij elke combinatie van variant (dat wil zeggen deurtype) en aspect een score. Dit kan door het toekennen van een rapportcijfer tussen 0 en 10 waarbij opgemerkt wordt dat cijfer 0 niet wordt gegeven omdat dit een zinloze variant zou zijn en cijfer 10 ook niet omdat geen variant volmaakt is. Ook kan dit door een puntentelling in te voeren door middel van een cijfer tussen 1 en het aantal varianten, bijvoorbeeld bij drie varianten een 3 voor de beste, een 1 voor de slechtste en een 2 voor de tussengelegen.

De aspecten die de keuze bepalen, worden hieronder genoemd in volgorde van afnemende belangrijkheid en worden voorzien van een weegfactor zoals die bij een ontwerp gehanteerd zou kunnen worden en een korte toelichting. (Opm. Uiteraard zijn ook andere weegfactoren mogelijk !):

- *Bedrijfszekerheid, weegfactor 0,25*
De bedrijfszekerheid is het belangrijkste aspect. Bij bedrijfszekerheid staat centraal hoe voorspelbaar de functieervulling is, niet de levensduur: een deur die bijvoorbeeld al na 10 jaar vervangen moet worden kan wel bedrijfszeker zijn mits de vervanging tevoren gepland is.
- *Onderhoud, weegfactor 0,20*
Eenvoud, intensiteit en kosten van onderhoud zijn eveneens zeer belangrijk. Kosten voor onderhoud betreffen vooral de staalconstructie en het werktuigbouwkundig en elektro deel.
- *Gebruiksgemak, weegfactor 0,15*
Onder gebruiksgemak wordt mede verstaan een gemakkelijke bediening, een goede scheepvaartafwikkeling, overzichtelijkheid, beheersmaatregelen bij onderhoud, negatieve belastingen, calamiteiten.

- teiten etc. en gevoeligheid voor ijs, vuil en aanvaringen.
- *Bouwkosten, weegfactor 0,15*
In de stichtingskosten zijn behalve de kosten van de deuren ook die van het civiele deel van de hoofden, de bewegingswerken van de deuren en elektro inbegrepen.
- *Schutcapaciteit, weegfactor 0,10*
Schutcapaciteit wordt sterk bepaald door de tijd die nodig is voor het openen en sluiten van de deur.
- *Waterdichtheid, weegfactor 0,05*
Afhankelijk van de locatie is lekverlies wel of minder belangrijk en wijzigt de weegfactor.
- *Duurzaamheid, weegfactor 0,05*
Bij duurzaamheid gaat het erom hoe lang de deur zijn functie vervult zonder groot onderhoud, en wat de totale levensduur van de deur is.
- *Milieu, weegfactor 0,05*
Bij milieu gaat het om de milieubelasting door materiaalwinning, fabricageproces, bouwactiviteiten, wijze van onderhoud etc.

Tabellen 7.2 en 7.3 betreffen het voorbeeld van een eenzijdig kerende, middelgrote binnenvaartsluis (doorvaartbreedte 10-16 m). Er zijn 3 varianten geselecteerd, te weten de deurtypen puntdeuren, enkele draaideuren en hefdeuren, hoewel de enkele draaideur niet staat aangegeven in tabel 7.1 als keuzemogelijkheid. Tabel 7.2 betreft de rapportcijfers van 0 tot 10, tabel 7.3 betreft de puntentelling van 1, 2 en 3. Uit tabel 7.2 blijkt dat de beste variant de puntdeuren zijn en in tabel 7.3 scoren puntdeuren en enkele draaideuren gelijk. Uit beide tabellen blijkt de hefdeur de slechtste variant te zijn. Het is opmerkelijk dat naast puntdeuren ook enkele draaideuren zo goed scoren, omdat tot op heden vooral puntdeuren voor dit type sluis werden toegepast.

Tabellen 7.4 en 7.5 betreffen het voorbeeld van een tweezijdig kerende, middelgrote binnenvaartsluis (doorvaartbreedte 10-16 m). Er zijn 3 varianten geselecteerd, te weten de deurtypen puntdeuren, enkele draaideuren en roldeuren, hoewel roldeuren niet in tabel 7.1 als keuzemogelijkheid staan aangegeven. Tabel 7.4 bevat rapportcijfers van 0 tot 10, tabel 7.5 betreft de puntentelling van 1, 2 en 3. Uit tabel 7.5 blijkt dat de beste variant de enkele draaideuren is. Verder blijkt dat uit tabel 7.5 de variant roldeuren op de tweede plaats komt.

Uit de tabellen 7.2 en 7.3 voor de enkelkerende en tabellen 7.4 en 7.5 voor de dubbelkerende sluis blijkt dat de totaalscores voor de verschillende varianten niet ver uit elkaar liggen. Om de subjectiviteit enigszins aan banden te leggen worden bij dergelijke multi-criteria matrices de weegfactoren, cijfers en punten meestal door meerdere personen, onafhankelijk van elkaar, ingevuld. Bespreking van de scores en dergelijke kan dan tot een beter afgewogen eindresultaat leiden. In feite zijn alle genoemde varianten mogelijk en het hangt er voornamelijk vanaf op welk aspect de nadruk wordt gelegd (de keuze van de weegfactoren) en de voorkeur die de opdrachtgever heeft voor welk deurtype.

7.3.5 Niveau bovenkant deurbeplatingen

In hoofdstuk 4 zijn de kerende niveaus van de deuren en het niveau van de dekzerk uitgebreid aan de orde geweest. In deze paragraaf worden enkele aspecten die voor de deur van belang zijn, verder belicht.

Eénzijdige kering

In schutsluizen voor eenzijdige kering (zoals sluizen in kanalen) die in de regel met puntdeuren zijn uitgerust, zijn de niveaus van de bovenkant van de beplatingen van de deuren in het boven- en benedenhoofd meestal aan elkaar gelijk. Dit niveau wordt bepaald door de hoogste bovenwaterstand vermeerderd met een toeslag voor opwaaiing, wind- of translatiegolven en dergelijke. Het niveau van de dekzerk over de lengte van de sluis volgt uit het maximum schutpeil vermeerderd met een toeslag voor de scheepvaart. Dit niveau is ten minste gelijk aan dat van de deurbeplatingen maar kan ook iets hoger liggen, althans bij sluizen en kanalen.

De deuren van boven- en benedenhoofd behoeven bij gelijk niveau van de bovenkant van de beplating niet altijd even hoog te zijn (zie fig. 7.62). Bij sluizen met grote vervallen kan het economischer zijn de drempel van de deuren in het bovenhoofd hoger te situeren dan die in het benedenhoofd. Die keuze hangt mede af van de vereiste diepgang in de sluis.

Bij schutsluizen die aan rivieren liggen kan het voorkomen dat de hoogste waterstand aan de rivierzijde veel hoger is dan het maximum schutpeil. In zo'n geval kan overwogen worden om de bovenkant van de beplating van de benedendeur en de dekzerk in de kolk op het maximum schutpeil af te stemmen (dus niet aan de hoogste bovenwaterstand).

Schutsluizen die in een gekanaliseerde rivier naast een stuw liggen, kunnen niveaus van de bovenkant van de beplating en de dekzerk hebben die soms lager zijn dan de hoogste rivierstand, zodat de deuren en het sluiscomplex bij zeer hoge afvoeren overstromen.

Tweezijdige kering

We gaan uit van een sluis uitgerust met roldeuren in een getijdegebied met een kanaal aan de binnenzijde. Roldeuren hebben dubbele beplating waarbij de beplating die het buitenwater keert, zich aan de binnenzijde van de deur bevindt (zogenaamde binnenbeplating) en die het binnenwater keert zich aan de buitenzijde van de deur bevindt (zogenaamde buitenbeplating).

Over de minimum-niveaus van de bovenkant van de *deurbepalingen* kan het volgende gezegd worden (zie fig. 7.63).

Het minimum-niveau van de bovenkant van de binnenbeplating van de deur van het buitenhoofd wordt afgeleid uit de hoogste buitenwaterstand (MHW). Deze wordt verhoogd met een toeslag voor de invloed van zeespiegelrijzing, lokale opwaaiing, seiches, windgolven, waakhogte, en dergelijke (par. 4.5).

Het minimum-niveau van de bovenkant van de binnenbeplating van de deur van het binnenhoofd wordt bepaald door het maximum schutpeil (SP) vermeerderd met een toeslag voor wind- of translatiegolven van bijvoorbeeld 0,5 m. Dit minimum-niveau zou in principe nog hoger kunnen liggen omdat de binnendeur ook als reserve-deur moet functioneren, zie par. 7.3.6.

De minimum-niveaus van de bovenkant van de buitenbeplatingen van de deuren van buiten- en binnenhoofden worden bepaald door het maximum kanaalpeil (KP) aan de binnenzijde vermeerderd met een toeslag voor wind- of translatiegolven van bijvoorbeeld 0,5 m.

Over de minimum-niveaus van de dekzerken kan het volgende gezegd worden.

Het minimum-niveau van de dekzerken ligt bij het buitenhoofd gelijk met het niveau van de bovenkant van de binnenbeplating van de deur van het buitenhoofd. Voor de sluis kolk en het binnenhoofd ligt het minimum-niveau van de dekzerk op het maximum-schutpeil vermeerderd met een toeslag voor de afhandeling van de scheepvaart.

Is het verschil tussen hoogste buitenwaterstand en maximum-schutpeil gering, dan ligt het voor de hand de binnenbeplatingen van de deuren van buiten- en binnenhoofd op gelijk niveau te leggen en de deuren gelijk te houden. Ook het niveau van de dekzerk wordt dan gelijk gehouden over de lengte van de sluis en is ten minste gelijk aan het niveau van de bovenkant van de binnenbeplatingen.

Is het verschil tussen maximum-schutpeil en maximum-kanaalstand gering, dan ligt het voor de hand de niveaus van de bovenkant van de buitenbeplating van deur van het buitenhoofd en van de buiten- en binnenbeplating van de deur van het binnenhoofd gelijk te houden.

Het voorgaande kan in plaats van roldeuren ook betrokken worden op eenzijdig kerende, dubbele puntdeuren. Voor de binnenbeplating van de roldeur wordt gelezen vloeddeuren en voor buitenbeplating van roldeuren wordt ebdeuren gelezen. Voor de bovenkant van de beplating van tweezijdig kerende puntdeuren worden de niveaus van de binnenbeplatingen van de roldeuren aangehouden.

7.3.6 Reserve-kering, tussenhoofd en reserve-deuren

Reserve-kering

Onder de reserve-kering of tweede kering wordt verstaan de kering die bij het falen van de hoofdwaterkering deze in afdoende mate vervangt. De hoofdwaterkering van een schutsluis is gewoonlijk voorzien van een reserve-kering of tweede kering in de vorm van de beneden- of binnendeuren.

Bij eenzijdige kering is de reserve-kering aanwezig in de vorm van de benedendeur(en) waarvan de bovenkant van de beplating in de regel even hoog is als die van de bovendeur(en) (fig. 7.62).

Bij een tweezijdige kering is de reserve-kering de binnendeur met een bovenkant van de beplating die lager kan zijn dan van de buitendeur (fig. 7.61). Stel dat de kerende hoogte van het buitenhoofd hoger ligt dan de kerende hoogte van de kolk (dekzerkniveau kolkwanden) en het binnenhoofd. Bij een weigerende buitendeur en een buitenwaterstand hoger dan de kerende hoogte van de binnendeur kan het water niet gekeerd worden en stroomt over het sluisterrein en de binnendeur het kanaal in. Zolang het bergend vermogen van het kanaal gedurende dit hoogwater voldoende is zonder dat grote schade ontstaat, is dit geen probleem en kunnen de niveaus van deurbeplatingen en dekzerk zo blijven. Is dit wel een probleem, dan moet de faalkans aan de buitendeur verkleind worden. Een tweede buitendeur toepassen wordt tegenwoordig nog maar weinig gedaan, alleen wanneer het verschil tussen mhw en maximum schutpeil groot is

Getrapt keren

Bij het getrapt keren van hoge waterstanden wordt in de kolk een waterstand gehandhaafd tussen de buiten- en binnenwaterstand in. Hiermee worden de belastingen over de hoofden en deuren beperkt.

Tussenhoofd

Sluizen met een sterk wisselende bezetting worden, wanneer dat economisch verantwoord is, voorzien van een tussenhoofd. Over het algemeen worden tussenhoofden alleen in zeer lange sluizen toegepast. De lengte van de korte deelkolk moet minstens geschikt zijn om het maatgevende schip te schutten. Voordelen bij toepassing van een tussenhoofd zijn beperking van het waterverlies, vermindering van het zout/zoet-bezwaar (indien aanwezig), verkorting van de nivelleertijd, grotere beschikbaarheid van de sluis (steeds een reserve-hoofd beschikbaar) en de mogelijkheid om het hoge water over drie deuren getrapt te keren.

Door de aanwezigheid van een derde deur is bij het weigeren van één van de deuren steeds een kering over twee deuren mogelijk. In fig. 7.65 zijn drie situaties getekend voor een sluis met drie gelijke roldeuren waarbij per situatie een deur weigert en het buitenwater het peil bereikt heeft van de bovenkant van de beplating van de buitendeur. Door het aanbrengen van voldoende ruime overstortgaten in de tussen- en binnendeur kan het water door overslag (windgolven) en mogelijk ook overloop afgevoerd worden naar het binnenwater. Het openen van de overstortgaten kan plaatsvinden door bijvoorbeeld het weghalen van noodschotten of door het met een bewegingswerk openen van schuiven. Op soortgelijke wijze is dit ook mogelijk voor dubbele stellen puntdeuren (fig. 7.66).

Reserve-deuren

Elke deur in de sluis moet vervangen kunnen worden door een reserve-deur in geval van onderhoud of calamiteit. Er hoeven echter niet tegelijkertijd meerdere deuren vervangen te worden. Zijn de deuren verschillend dan zijn of evenzo vele reserve-deuren nodig of er moet een hoge reserve-deur gemaakt worden die voor beide hoofden inzetbaar is. Worden de deuren gelijk gehouden dan is slechts één reserve-deur of (bij puntdeuren) één stel reservedeuren nodig, wat goedkoper is dan meerdere reserve-deuren.

7.4 Deurbewegingswerken

7.4.1 Inleiding

Voor elk type deur kan gekozen worden uit verschillende uitvoeringen van bewegingswerken. De keus wordt in hoofdzaak bepaald door de randvoorwaarden, het programma van eisen voor de kerende en bewegende deur en de kosten (investering, beheer en onderhoud). Bewegingswerken worden altijd voorzien van een elektrische aandrijving, besturing en bediening. (Handbediende aandrijvingen worden niet meer toegepast; een noodstroomvoorziening en/of noodhandbewegingswerk is altijd aanwezig.)

In het algemeen wordt van een deurbewegingswerk geëist dat de deur hiermee beheerst bewogen moet kunnen worden onafhankelijk van de hydraulische belastingen die tijdens de beweging op de deur kunnen optreden. Deze hydraulische belastingen betreffen wind- of translatiegolven en de drukverschillen over de deur door de eigen deurbeweging.

Verder moet het deurbewegingswerk de deur in geopende stand kunnen vasthouden ook als een schip langsvaart. Evenzo geldt voor de gesloten stand dat de deur niet mag klapperen bij golven wanneer er geen verval over de deuren staat. Bij een tussentijdse (nood)stop moet de deur in positie gehouden kunnen worden.

De beweegtijden van deuren hangen af van het type deur en de doorvaartbreedte. Dit is het gevolg van de te bewegen deurmassa en van het water dat door de deurbeweging in beroering gebracht wordt en belasting uitoefent op de deur zelf en de gemeerd liggende schepen. Bij hefdeuren is de beweegtijd afhankelijk van de hoogte waarover de deuren moeten worden gehesen.

Beweegtijden voor puntdeuren bedragen (globaal) 30 - 60 s voor kleine sluizen (6 - 10 m), 60 - 75 s voor middelgrote sluizen (10 - 16 m) en 75 - 120 s voor grote sluizen (16 - 24 m). Deze tijden zijn exclusief versnellings- en vertragingstijden. Voor enkele draaideuren in kleine sluizen is dit 60 - 120 s, wat duidelijk langer is dan bij puntdeuren. Voor roldeuren hangt de beweegtijd minder af van de doorvaartbreedte; voor grote en zeer grote sluizen (> 24 m) is dit niet langer dan 120 sec. Hefdeuren worden meestal bewogen met een snelheid van 0,20 m/s. De beweegtijd voor het openen van de deur neemt toe bij aanwezigheid van afdrukinrichtingen en vergrendelingen.

In deze paragraaf komen achtereenvolgens de bewegingswerken aan de orde van punt-, draai-, rol- en hefdeuren. Voorts nog de vergrendelingen van punt- en draaideuren en de geleidingen van rol- en hefdeuren.

7.4.2 Bewegingswerken voor puntdeuren

Voor puntdeuren wordt een drietal typen bewegingswerken toegepast, te weten het Panamawiel, de heugelstang en de hydraulische cilinder. Deze typen worden beschreven en gevolgd door een overzicht van voorzieningen voor negatief keren en een beschrijving hoe een keuze gemaakt kan worden uit de typen.

7.4.2.1 Aandrijving door Panamawiel

Opstelling

De aandrijving bestaat uit een groot, horizontaal opgesteld tandwiel dat via een trek-/duwstang verbonden is met de sluisdeur en aangedreven wordt door een rondsel. Het rondsel is via een tandwielkast verbonden met een elektromotor (zie fig. 7.67 en foto 7.14). De aandrijving staat opgesteld in een kelder naast de deurkas, de trek-/duwstang steekt door een opening in de wand.

De opstelling volgens fig. 7.67 is geschikt voor het gebruik in sluizen waar het water niet via de opening in de wand de kelder in kan lopen. Ligt de hoogste waterstand boven het niveau van de opening dan moet een opstelling gekozen worden volgens fig. 7.68 waarbij de elektrische apparatuur in een droge ruimte boven het Panama-wiel staat opgesteld. Daalt na het vollopen van de ruimte van het Panama-wiel de waterstand dan moeten alle bewegingswerken grondig gereinigd worden.



Foto 7.14 Deurbewegingswerk door middel van Panamawiel, sluis te Oosterhout

Krachtswerking

De grootte van de kracht in de trek-/duwstang is niet alleen afhankelijk van het vermogen van de aandrijfbron maar vooral ook van de stand van de trek-/duwstang ten opzichte van de as van het tandwiel.

Gebruikelijk is de oplossing van fig. 7.69. De kracht in de trek-/duwstang in de eindstanden (geheel geopende en geheel gesloten deur) is daarbij ongeveer drie keer zo groot als halverwege. Dit hangt samen met de verhouding tussen de maat a (a is de afstand van M tot AR , met M = draaipunt Panamawiel, A = aangrijpingspunt trek-/duwstang aan de deur en R = aangrijpingspunt trek-/duwstang aan Panamawiel) en de lengte van de draaiarm MR . De afstand van D (draaipunt deur) tot punt A (aangrijpingspunt trek-/duwstang aan de deur) is ongeveer $1/3$ van de deurlengte. Nabij de eindstanden is de hoeksnelheid van de deur veel lager dan halverwege (zie fig. 7.70). De te leveren kracht in de eindstanden kan verder vergroot worden door de afstand a te verkleinen, maar wordt afgeraden omdat het bewegingswerk dan gevoelig is voor elk obstakel waardoor snel overbelasting optreedt.

In de trek-/duwstang is een voorgespannen bufferveer ingebouwd om het bewegingswerk nog even door te kunnen laten draaien terwijl de deur al stilstaat. Het bewegingswerk trekt of drukt de veer zover in dat de vereiste voorspanning wordt bereikt en de beweging uitgeschakeld kan worden. De veer maakt het mogelijk om ook bij een, zij het gering, obstakel tussen de deuren toch de eindschakelstand te kunnen bereiken.

Voor- en nadelen

De voordelen zijn:

- een robuuste constructie die weinig inspectie en onderhoud vereist;
- ongevoelig voor zettingen van de fundatie of maatafwijkingen aan de deuren, dus ook voor het wisselen van de deuren;
- de trek-/duwstang is - indien nodig - te vergrendelen waardoor een (beperkte) negatieve kering opgenomen kan worden. De overige onderdelen van het bewegingswerk worden dan niet belast.

Nadelen zijn:

- de constructie is duur vanwege de tandwielen, de brede kelder en ingewikkelde montage;
- het bewegingswerk kan niet onder water bewegen vanwege het gevaar van vuil tussen de tanden;
- de kelder vergt een breed sluisterrein;
- de eerste montage is tijdrovend door het afstellen van losse onderdelen ten opzichte van elkaar. Stelmallen zijn nodig voor het inbetonneren van bevestigingsmaterialen in de fundatie.

Toepassing

Aandrijvingen met een Panamawiel werden in het verleden veel toegepast in middelgrote en grote sluisen, tegenwoordig echter nog zelden. In kleine sluisen nemen de kelders een onevenredig grote ruimte in beslag.

7.4.2.2 Aandrijving door heugelstang

Foto 7.15 Rechte heugelstangen voor deur- en schuifbeweging van Koopvaardersschutsluis te Den Helder



Foto 7.16 Rechte heugelstang voor deurbeweging van Koopvaardersschutsluis te Den Helder

Opstelling

De aandrijving bestaat uit een horizontaal opgestelde, rechte heugelstang, zijnde de trek-/duwstang, die rechtstreeks verbonden is met de sluisdeur en aangedreven wordt door een rondsel. De stang wordt tegen het rondsel aangedrukt met een rol. Het rondsel is via een tandwielkast verbonden met een elektromotor (fig. 7.75). De aandrijving staat opgesteld in een kelder naast de deurkas, de heugelstang steekt door een opening in de wand.

De opstelling volgens fig. 7.75 is geschikt voor het gebruik in sluizen waar het water niet via de opening in de wand de kelder in mag lopen. Bij de opstelling volgens fig. 7.78 is sprake van een kelderdeel dat in principe wel onder kan lopen en een erboven gelegen droog kelderdeel, de as van het heugelrondsel is waterdicht doorgevoerd.

Krachtswerking

De kracht die door de heugelstang op de deur wordt uitgeoefend, is in elke deurstand constant. De afstand van heugelstang tot draaiingsas van de deur vermenigvuldigd met de kracht in de heugelstang levert het deurmoment op. In fig. 7.76 is dit voor beide eindstanden aangegeven. De heugelaandrijving is voorzien van een elektrische snelheidsregeling om te voorkomen dat de eindsnelheden te groot zullen zijn. Zodoende wordt ook tegengegaan dat bij begin sluiten de zuigkracht vanuit de deurkas maatgevend kan worden.

Om de kracht op de heugelstang en rondsel te beperken, wordt het aangrijpingspunt op de deur op ongeveer de halve lengte daarvan geplaatst. De heugelstang is voorzien van een bufferveer om de voorspanning tegen de kas en van de deuren tegen elkaar te kunnen realiseren. Dat kan ook door de unit verend te bevestigen aan de kelderwand (zie fig. 7.75).

Voor- en nadelen

De voordelen zijn:

- een eenvoudige constructie die uit één unit opgebouwd is en snel te monteren is;
- goedkoper dan bijvoorbeeld een Panamawiel-aandrijving;
- met een blokkering achter de heugelstang is deze eenvoudig aan te passen voor een negatieve kering.

De nadelen zijn:

- de stand van de heugel is gevoelig voor afwijkingen uit het horizontale vlak wat regelmatig inspectie vereist;
- het bewegingswerk mag niet onder water bewegen om vastlopen door vuil te voorkomen;
- de heugel is gevoelig voor aanvaringen.

Toepassing

Rechte heugelaandrijvingen voor puntdeuren worden toegepast in kleine (6 - 10 m) en middelgrote (10 - 16 m) sluizen. Ook in grote sluizen (16 - 24 m) kunnen ze functioneren, maar de aanvaargevoeligheid wordt dan zo groot dat de heugels daartegen beschermd moeten worden.

7.4.2.3 Aandrijving door hydraulische cilinder

Opstelling

De aandrijving bestaat uit een horizontaal opgestelde, hydraulische cilinder met een zuigerstang waarbij de cilinder scharnierend bevestigd is aan de kelderwand en de zuigerstang scharnierend aan de deur. De zuigerstang wordt bewogen door de oliedruk voor en achter de zuiger te wijzigen. De oliedruk wordt geleverd door een hydrauliek unit (oliepomp, elektromotor, klepsturing en dergelijke). Door de scharnieren cardanisch uit te voeren is de aandrijving vrij ongevoelig voor maatafwijkingen van fundatie of deur (fig. 7.79).

De kelder voor de cilinder is klein. De cilinder kan hoog en net onder het dekzerkniveau gepositioneerd worden zodat de zuiger tot een hoge waterstand droog blijft. Overigens mag de hydraulische cilinder zonder bezwaar ook onder water bewegen, de hydrauliek unit wordt daartoe in een aparte, droge ruimte opgesteld. De leidingen naar de cilinder worden dan waterdicht doorgevoerd vanuit de droge ruimte



Foto 7.17 Hydraulische cilinder aandrijving van puntdeuren en schuiven van Rozenburgse sluis



Foto 7.18 Hydraulische cilinder deurbewegingswerk van Rozenburgse sluis

door de wand naar de kelder van de cilinder. De droge ruimte kan vrij willekeurig geplaatst worden in het sluiscomplex waarbij het zelfs mogelijk is om per sluis één ruimte te gebruiken van waaruit alle deuren aangedreven worden.

Krachtswerking

De cilinder kan een constante kracht leveren tegen de deur ter plaatse van het aangrijpingspunt. Zoals in fig. 7.79 is te zien, ligt het aangrijpingspunt van de zuiger op de deur dicht bij het draaipunt van de deur dan bij andere aandrijvingen. De benodigde kracht tegen de deur is daardoor groter maar de af te leggen weg kleiner wat voor hydrauliek juist gunstig is ('grote krachten / kleine slag'). De afstand van aangrijpingspunt tot draaipunt is ongeveer 1/5 van de deurlengte.

De snelheid van de deur waarmee deze in en uit de deurkas komt en bij einde sluiten, kan geregeld worden door in die standen de capaciteit van de pompen te verminderen. Het verloop van de zuigersnelheid is weergegeven in fig. 7.80. Bij een hydraulische aandrijving is het gebruikelijk om de deuren vlak vóór het sluiten eerst op elkaar te laten wachten. Dit is bedoeld om te voorkomen dat de ene deur vóór loopt op de andere door ongelijke capaciteiten van de pompen. Na deze korte stop worden de deuren op de juiste plaats langzaam tegen elkaar gedrukt.

Tussen deur en cilinder is geen bufferveer nodig. In de eindstanden kan de cilinder onder druk gezet en gehouden worden door een pomp en een accu. De pomp slaat af wanneer de druk in de cilinder hoog genoeg is.

Voor- en nadelen

De voordelen zijn:

- de aandrijving is compact en vergt maar een kleine kelderruimte;
- de aandrijving is nauwelijks gevoelig voor maatafwijkingen en zettingen;
- de cilinder kan zonder bezwaar onder water functioneren, ook wat betreft milieueisen en is niet gevoelig voor zwevend vuil;
- de aandrijffunit kan op elke beschikbare plaats gesitueerd worden;
- de installatie is in verhouding tot een mechanische aandrijving goedkoop;
- de cilinder is gemakkelijk uitwisselbaar.

De nadelen zijn:

- de eerste montage is door het vele leidingwerk en het beproeven van de installatie tijdrovend;
- de gehele installatie is veel ingewikkelder dan een elektromechanische installatie;
- de betonnen ruimten voor cilinder en aandrijffunit moeten geconditioneerd zijn tegen olielekage;
- de standtijd van hydraulische apparatuur is korter dan die van mechanische terwijl vaak inspectie en preventief onderhoud gepleegd moet worden;
- het onderhoud vereist gekwalificeerd personeel;
- het rendement van de installatie is laag, het benodigd motorvermogen daardoor hoog;
- storingsgevoeliger in verband met het grote aantal (elektromechanische) componenten.

Toepassing

Aandrijvingen door hydraulische cilinders van puntdeuren worden toegepast in zowel kleine (6 - 10 m), middelgrote (10 - 16 m) als grote (16 - 24 m) sluizen. De aandrijving is met name geschikt daar waar grote belastingen op de deuren tijdens het bewegen voorkomen, wanneer er ruimte ontbreekt voor grote kelders, of wanneer de deuren bij zeer hoge waterstanden moeten blijven bewegen waardoor de aandrijving onder water moet functioneren.

7.4.2.4 Voorzieningen voor negatief keren

Puntdeuren zijn zeer geschikt voor een positieve belastingsrichting. Moeten de deuren ook negatief keren dan zijn aan de deuren en meestal ook de bewegingswerken extra voorzieningen nodig die de deuren tegenhouden. Er zijn enkele oplossingen mogelijk die afhangen van de grootte van het te keren negatieve verval.



Foto 7.19 Hydraulische cilinder deurbewegingswerk en rechte heugelstang schuifbewegingswerk van duwvaartsluizen in de Volkerak



Foto 7.20 Hydraulische cilinder deurbewegingswerk van Tweede Sluis te Lith

Geringe negatieve belasting

Wanneer de negatieve belasting gering is en niet groter dan de maximale belasting waarop de sterkte van het bewegingswerk is bepaald, kunnen zonder grote aanpassingen de drie voornoemde bewegingswerken ingezet worden. Gedacht moet daarbij worden aan vervallen van 0,20 tot 0,75 m.

De aandrijving met een Panamawiel of met een rechte heugelstang moet voorzien worden van een zwaardere bufferveer omdat de deuren bij de normale uitvoering zouden gaan lekken. Uiteindelijk houdt de rem de belasting tegen die geen verdere versterking behoeft.

De aandrijving met een hydraulische cilinder is zonder verdere voorzieningen geschikt waarbij de druk in de accu opgevoerd moet worden naar de maximale werkdruk.

Nadeel van deze systemen is dat de deuren bij een aanvaring van binnenuit open gevaren kunnen worden. Als de opening waar water door wegstroomt niet erg groot is, kunnen de deuren in het andere hoofd nog gesloten worden. Mocht dat niet het geval zijn, dan loopt er veel water het kanaal uit als de deuren negatief keren naar de zee- of rivierzijde. Bij negatieve kering naar het kanaal kan dat echter overstromingen van het achterland tot gevolg hebben.

Grote negatieve belasting

Als de belasting door het negatieve verval groter is dan de sterkte van het bewegingswerk, moeten de bewegingswerken hiervoor aangepast of geheel verzwakt worden.

Bij de aandrijving met een Panamawiel moet de trek-/duwstang verzwakt worden en een vergrendeling door het wiel worden aangebracht en wel vlak achter de aansluiting van de trek-/duwstang om de rest van het bewegingswerk te ontlasten (fig. 7.73).

Bij de rechte heugelaandrijving zakt na het sluiten en voorspannen een balk achter de heugel zodat deze door de deur niet meer teruggedrukt kan worden. De speling tussen balk en heugel, nodig voor het zakken, wordt daarna gereduceerd door de rem van de aandrijving te lichten. In de fig. 7.77 en 7.78 is een voorbeeld van deze oplossing getekend.

De hydraulische cilinderaandrijving moet in haar geheel worden aangepast voor de grotere belasting. Verder moeten er voorzieningen getroffen worden om lekkage te voorkomen bij het uitvallen van elektrische energie.

Nadeel van vergrendelde bewegingswerken is de schade die bij een aanvaring aan deze bewegingswerken worden toegebracht. Ze worden vervormd waardoor ze ernstig verzwakt kunnen worden en verder open gaan dan door de aanvaring zelf. Dat geldt in mindere mate voor de hydraulische cilinder die een overbelasting bij een langzame snelheid beter kan volgen.

Een andere oplossing voor het opnemen van de negatieve belasting door puntdeuren is het aanbrengen van een vergrendeling van de deuren aan elkaar. In fig. 7.83 zijn de puntdeuren van ogen voorzien waar een pen door kan zakken. De pen heeft ruimte in het gat waardoor de deuren een beetje open kunnen gaan en lekken. Nadeel van deze oplossing is dat bij een aanvaring niet alleen de deuren maar ook de draaipunten (taats en halsbeugels) erger beschadigd worden.

7.4.2.5 Keuze type bewegingswerk

Een aandrijving met een Panamawiel is complex en duur en wordt daarom nauwelijks meer toegepast. Het is een zeer bedrijfszeker systeem dat weinig inspectie en onderhoud vergt.

Een aandrijving met een rechte heugelstang ligt voor de hand wanneer de deuren tijdens het bewegen slechts licht belast worden en het aanvaarrisico van de deuren klein is.

De aandrijving met een hydraulische cilinder wordt het meest toegepast en is vooral in een van de volgende gevallen op zijn plaats:

- tijdens het bewegen worden de deuren relatief zwaar belast door wind- en translatiegolven;
- het aanvaarrisico van de deuren is vrij groot;
- de kans bestaat dat de deuren moeten bewegen terwijl het waterpeil al zover is gestegen dat het

- bewegingswerk zich onder water bevindt;
- bij weinig ruimte voor de bewegingswerkkelders, wat vooral voorkomt bij kleine en/of korte sluisen;
- voorkeur van opdrachtgever voor hydrauliek in verband met eenheid van onderhoud of bij hydraulische aandrijving van de deurschuiven.

Wanneer economische motieven buiten beschouwing gelaten worden, kan de keuze van het type bewegingswerk verlopen volgens het beslisschema (zie fig. 7.144). Dit beslisschema is ook in woorden samen te vatten aan de hand van een aantal aspecten:

- | | | |
|---------------------------|---------------------------|------------------------------|
| • onvoldoende ruimte: | nee, Panamawiel of heugel | ja, → cilinder |
| • hoge bedrijfszekerheid: | nee, heugel | ja, → Panamawiel of cilinder |
| • onder water: | nee, Panamawiel of heugel | ja, → cilinder |
| • zwaarbelast: | nee, Panamawiel of heugel | ja, → cilinder |

In plaats van het beslisschema kan evenals bij de keuze van deurtypen ook voor deurbewegingswerken een keuzematrix worden opgesteld. Bij de in aanmerking komende bewegingswerken worden verschillende aspecten gezet waarbij deze aspecten onderling gewogen worden met een weegfactor. Tabel 7.6 geeft een voorbeeld van een dergelijke keuzematrix voor de bewegingswerken van de Krabbersgatsluizen. Vergelijking van een elektromechanisch met een elektrohydraulisch deurbewegingswerk leverde voor de laatste optie een gunstiger score op; die is dan ook gekozen. De opgegeven weegfactoren zijn niet algemeen geldig en kunnen voor een andere situatie hiervan duidelijk verschillen.

7.4.3 Bewegingswerken en vergrendelingen voor draaideuren

7.4.3.1 Aandrijving met hydraulische cilinder

Keuze voor hydraulische cilinder

De enkele draaideur is te vinden in zeer kleine (4 - 6 m) en kleine (6 - 10 m) sluisen. Tijdens het draaien moeten de uitwendige belastingen op de draaideur door het bewegingswerk opgenomen worden. Door de relatief grote lengte van de draaideur is de belasting op de aandrijving al gauw zo groot dat een hydraulische cilinder de voorkeur verdient boven een Panamawiel of rechte heugelstang.

De voorkeur voor een hydraulische cilinder kan ook voortkomen uit het feit dat de lange trek-/duwstang van een rechte heugelstang een grote kans heeft om aangevaren te worden. Wel kan voor recreatievaart overwogen worden een Panamawiel als aandrijving te kiezen (fig. 7.74).

Opstelling

De beste plaats voor de hydraulische cilinder is buiten het profiel van de doorvaart. Daarvoor wordt de deur voorzien van een korte hefboom aan de bovenste ligger die binnen de bewegingswerkkelder draait. Door de korte hefboom zijn de krachten in de cilinder erg groot, dit is dus zeer geschikt voor een hydraulische aandrijving.

De hydraulische cilinder wordt opgesteld buiten het profiel van de doorvaart, meestal in de lengteas van de sluis. Afhankelijk van de beschikbare ruimte wordt de cilinder vóór het draaipunt (fig. 7.82) of achter het draaipunt (fig. 7.81) geplaatst, waarbij de voorkeur uitgaat naar de eerste opstelling. In die situatie kan de cilinder kleiner in diameter zijn dan in de andere opstelling omdat de zuigerzijde dan aan de goede kant zit. Die zijde kan de grootste kracht leveren wat nodig is voor het openen van de deur, omdat de deur een grotere uitwendige belasting ondervindt bij openen dan bij sluiten. De opstelling van fig. 7.81 wordt wel toegepast als door de plaats van een rioolschuif de ruimte onvoldoende is.

Evenals bij puntdeuren moet het hydraulisch systeem voor de draaideur de genoemde krachten in de eindstanden in stand blijven houden. Het verloop van de hoeksnelheid van de draaideur is overeenkomstig met dat van puntdeuren, behalve dat bij het openen en sluiten tijdig op een toelaatbare snelheid overgegaan wordt om ongewenste translatiegolven in de kolk te voorkomen.

De cilinder trekt en duwt aan de hefboom als verlenging van de bovenste horizontale ligger. Door de stand van die verlenging ten opzichte van de as van de deur wordt de fundering ter plaatse van de hals-

beugel doorsneden. Het ontwerp moet daarin voorzien.

7.4.3.2 Voorzieningen voor negatief keren

Soorten vergrendeling

De argumentatie om een hydraulische cilinder te kiezen als aandrijving van een draaideur geldt ook voor de draaideur die tweezijdig keert.

De tweezijdig kerende draaideur moet tegen de negatieve belasting vergrendeld worden. Het soort vergrendeling is afhankelijk van de grootte van die belasting en het toelaatbare waterverlies. Er zijn drie oplossingen te noemen:

- *Handhaven bewegingswerk*
Het bewegingswerk dat ontworpen is voor de deurbeweging, is sterk genoeg om ook de negatieve belasting op te nemen. Wel moeten voorzieningen getroffen worden voor het uitvallen van de energievoorziening. De druk op de accu's kan anders zo ver terugvallen dat de deur door de negatieve belasting wordt opengeduwd.
- *Versterkt bewegingswerk*
De negatieve belasting is te groot voor het bewegingswerk waardoor dit wordt aangepast aan de grotere belasting.
- *Aparte vergrendeling*
De negatieve belasting is zo groot dat een aparte vergrendeling bij de deurtip nodig is. Hoe de aparte vergrendeling uitgevoerd wordt, hangt af van het feit of de draaideuren binnen of buiten het sluishoofd draaien.

Aparte vergrendeling bij sluishoofd met deuren en -nissen

Als de deuren geplaatst worden in een sluishoofd met complete deuren en -nissen (deuren draaien binnen de sluis, zie fig. 7.56) dan is er in de deurnis voldoende ruimte voor een grendel die vóór de deur gedraaid wordt na het sluiten. Een voorbeeld van een zogenaamde raamgrendel is te zien in fig. 7.85 en foto's 7.21 en 7.22. Nadat de deur is gesloten, wordt het grendelraam met een hydraulische cilinder (1) voor de deur gedraaid en met een tweede hydraulische cilinder (3) voorgespannen tegen de flexibele aanslagen. Het grendelraam heeft twee, boven elkaar gelegen steunpunten waardoor de deur ook aan

de onderzijde goed wordt aangedrukt en lekkage nauwelijks optreedt. Het grendelraam is zodanig uitgevoerd dat het boven water gedemonteerd kan worden. Een alternatief voor deze oplossing is getekend in fig. 7.84 waarbij het grendelraam wordt voorgespannen door een met een elektromotor bewogen as met excentrieken. Beide oplossingen zijn voorzien van een mechanische vergrendeling die voorkomt dat de grendels door jutteren kunnen verdraaien waardoor de deur niet meer tegen de aanslagen is gedrukt.

Aparte vergrendeling bij sluishoofd zonder deuren en -nissen

Draaideuren die buiten het sluishoofd draaien (fig. 7.57) hebben geen deurnis waarop afgesteund kan worden. De vergrendeling wordt tot stand gebracht met een haakgrendel die na het sluiten van de deur over een aanslag getrokken wordt (fig. 7.27 en 7.86). De deur wordt daarmee tevens voorgespannen tegen zijn aanslagen. Er wordt maar één grendel gebruikt en wel boven water. Daarom moet de deur extra verstijfd worden om te grote lekkage aan de onderzijde van de deur te voorkomen. De haakgrendel is compact, goed bereikbaar en te inspecteren, zonder stremming van de sluis. De constructie is wel zwaar.

Een eenvoudiger oplossing voor het vergrendelen van een draaideur die buiten de sluis draait zijn schuifgrendels (fig. 7.87). Uit de voorhar (deurtip) van de gesloten, door het bewegingswerk aangedrukte draaideur, worden met hydraulische cilinders twee, boven elkaar gelegen pennen geschoven die steunen tegen opleggingen in uitsparingen in de nis. De pennen worden geborgd met stangen. Deze schuifgrendels kunnen de deur niet voorspannen; de voorspanning moet komen uit het bewegingswerk. De constructie heeft het voordeel dat het onderhoud samen met de deur kan plaatsvinden. Nadeel is dat inspectie alleen kan geschieden door de deur te verwisselen.



Foto 7.21 Vergrendeling voor enkele draaideur met raamgrendel van schutsluis te Nieuwe Statenzijl

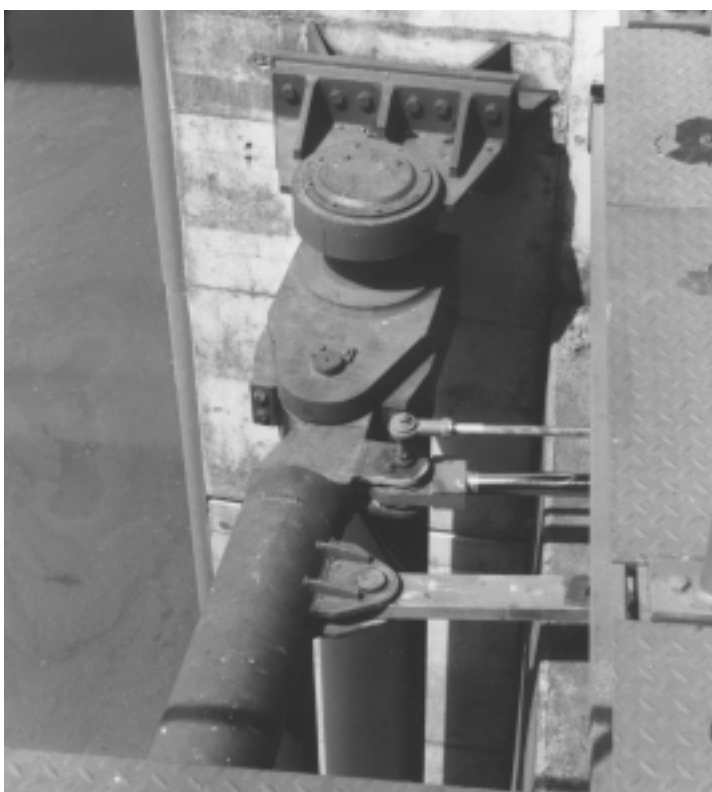


Foto 7.22 Detail vergrendeling voor enkele draaideur van schutsluis te Nieuwe Statenzijl

7.4.4 Bewegingswerken en geleidingen voor roldeuren

7.4.4.1 Algemeen

Bewegingswerken

Roldeuren hebben bewegingswerken in de vorm van een kabellierwerk dat de deur opent en sluit. In het verleden zijn schutsluizen uitgevoerd met roldeuren die door heugelstangen of met een locomotief werden bewogen. Bij de locomotief op rails met aangedreven wielen moet het eigen gewicht erg groot zijn of er is een tandbaan nodig om de benodigde trekkracht aan de deur te leveren. Het toepassen van kabels heeft zoveel voordelen boven heugels of een locomotief, dat deze niet meer worden toegepast.

Bewegingswerken voor roldeuren hoeven in verhouding tot die voor andere deurtypen, slechts kleine krachten te leveren. Dat komt omdat de externe belastingen loodrecht op het deurvlak tijdens het bewegen door de deurgeleidingen opgenomen worden. De trekkracht is daar een afgeleide van. De trekkracht wordt wel sterk beïnvloed door het soort geleiding: een rollende of een schuivende geleiding. De keuze daarvan is een economische afweging in samenhang met de grootte van het bijbehorende lierwerk.

Deuren met een rollende geleiding, zowel verticaal voor het overgewicht, als horizontaal voor de belastingen, vereisen in verhouding zeer lichte lierwerken. De trekkracht is dan in hoge mate afhankelijk van de snelheid waarmee de deur beweegt, en de wijze waarop het door de deur verplaatste water kan worden verdrongen. De deur moet daarvoor goed doorstroombaar zijn. De trekkracht aan een deur met schuivende geleiding kan wel een factor 10 groter zijn dan bij een rollende geleiding.

Kabellierwerken worden in verschillende uitvoeringen toegepast. Dat kan met een tweezijdige aandrijving met aan elke zijde een kabeltrommel (fig. 7.88), een éézijdige aandrijving met één kabeltrommel (fig. 7.93) of een tweezijdige aandrijving met één trommel (fig. 7.94). De keuze hangt af van de grootte van de trekkracht, het soort geleiding en de beschikbare ruimte.

In de geopende stand wordt de deur voorgespannen tegen aanslagen om te voorkomen dat de deur uit de kas gezogen wordt. In gesloten stand moet het niveau in de deurkas de waterstand daarbuiten kunnen volgen. De spleet tussen deur en kas en tussen deur en nis, moet daartoe voldoende groot zijn.

Geleidingen

In verticale zin wordt een roldeur gesteund door twee onderrolwagens, voorzien van wielen die over rails in een sleuf in de bodem rijden. Een roldeur staat scharnierend op deze rolwagens opgesteld en moet daarom tijdens zijn beweging ook zijdelings gesteund worden. In horizontale zin wordt de deur aan weerszijden geleid door horizontale geleidewielen, door schuivers of door een combinatie hiervan. Dit geeft twee oplegpunten aan de onderzijde en één aan de bovenzijde van de deur.

De horizontale wielen lopen tegen rails terwijl schuivers zich langs banen bewegen. Welk soort wordt toegepast hangt af van de grootte van de loodrechte belasting op de deur tijdens bewegen omdat de wrijving door het bewegingswerk van de deur overwonnen moet worden. Rails worden alleen voor de geleiding aangebracht terwijl banen ook gebruikt worden als aanslag c.q. afdichting.

Om de deur vrij van zijn aanslagen te laten bewegen is het nodig dat de deur gecentreerd wordt door een afdruksysteem dat de horizontale geleidewielen vrijwel tegen hun rails aandrukt.

7.4.4.2 Bewegingswerken

7.4.4.2.1 Tweezijdige aandrijving met aan elke zijde een kabeltrommel

Van de tweezijdige aandrijving met aan elke zijde een kabeltrommel is het schematisch verloop van de kabels te zien in fig. 7.89. Twee identieke systemen zijn aan weerszijden van de deurkas aangebracht. Ze bestaan uit een aangedreven kabeltrommel, een omloopschijf en een boven- en een onderkabel. De bovenkabels zijn bij de aangrijppingspunten verbonden met de roldeur. Het geheel staat boven de hoogste waterstand om binnen het inwendige van de kabels roestvorming tegen te gaan.

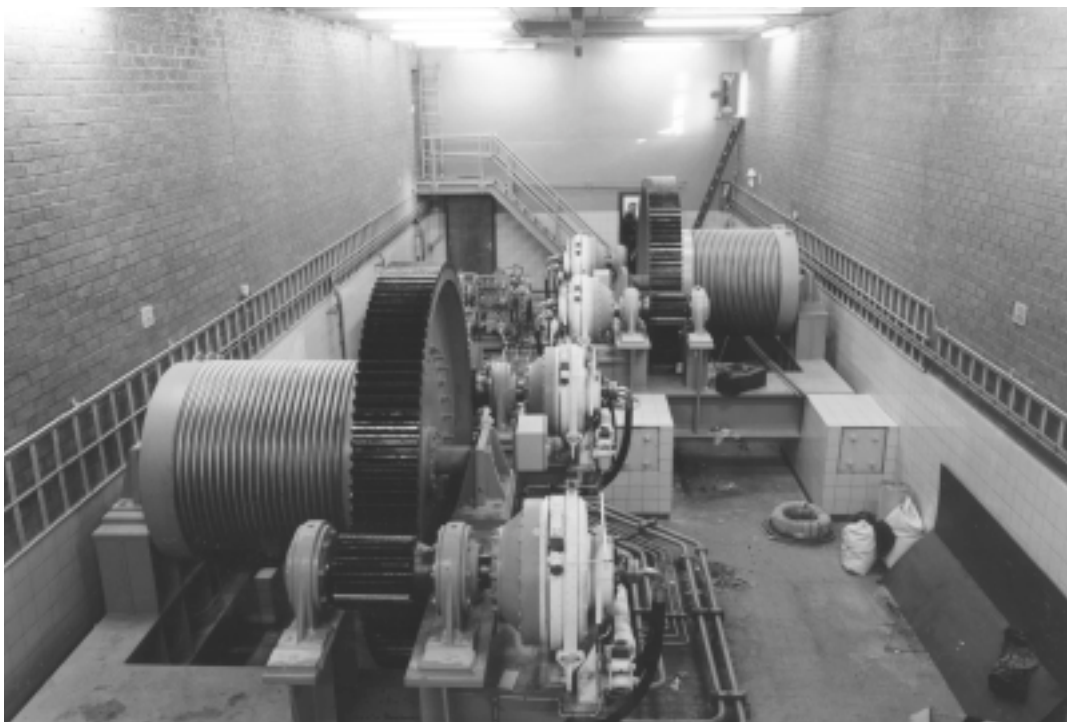


Foto 7.23 Kabeltrommels van aandrijving roldeur van Noordersluis te IJmuiden

De deur wordt geopend door de beide kabeltrommels synchroon te laten draaien waarbij de bovenkabels dan aan het aangrijpingspunt van de deur trekken. Een kabelspaninrichting die in elke bovenkabel is opgenomen, zorgt ervoor dat de onderkabel strak blijft. Als de kabeltrommels de andere kant draaien, trekken de onderkabels via de omloopschijf de deur weer dicht. Daarbij zorgen de kabelspaninrichtingen voor strakke bovenkabels.

In fig. 7.90 is de kabelspaninrichting te zien van de roldeur zeesluis Terneuzen. De slag die de veer van de kabelspaninrichting moet kunnen maken hangt af van de trekkracht, de dikte van de kabel en de lengte waaraan getrokken wordt. Wordt de ene kabel overbelast en de andere onderbelast dan zorgt een extra verenpakket ervoor dat de overbelasting in de ene kabel gesignaleerd wordt en bijgesteld kan worden met een spanschroef.

De kabels die de deur aandrijven bevinden zich ter weerszijden van de deur, elk in een eigen goot. De kabeltrommels staan opgesteld in een kelder achter de deurkas en de omloopschijven in de kabelgoten langs die kas. Een klossenrem houdt de deur in geopende stand voorgespannen tegen de aanslagen in de deurkas. De kabeltrommels worden centraal aangedreven (fig. 7.88) wat als nadeel heeft dat de belastingen in beide kabels vrijwel nooit aan elkaar gelijk zijn door verschil in elasticiteit, zeker bij lage belasting van de kabels. Een betere oplossing is die waarbij elke trommel zijn eigen aandrijving heeft en eenzelfde koppel krijgt toebedeeld zodat aan beide kabels even hard getrokken wordt.

De snelheid van de deur tijdens bewegen is niet constant (fig. 7.91 en 7.92). De deur wordt langzaam versneld naar een in verhouding tot andere deurtypen hoge snelheid om aan het einde weer langzaam te vertragen. Dit is bedoeld om hoge translatiegolven in de deurkas te vermijden.

De resultante van de langsweerstand van de deur door het water valt samen met de deuras wanneer de deur een symmetrische vorm heeft. De weerstand van de horizontale deurgeleidingen valt echter samen met de deurbeplating en dus niet met de deuras. Deze weerstand is een gevolg van de hydraulische belastingen loodrecht op de deur (windgolven, seiches, halingen, dichtheidsverschillen, restverval en dergelijke). De grootte van deze hydraulische weerstand van de geleidingen is veel kleiner voor een rollende dan voor een schuivende geleiding. Is de langsweerstand van het water groot ten opzichte van de (incidenteel optredende) weerstand van de horizontale geleidingen zoals bij rollende geleiding het geval

is, dan is het moment op de deur in het horizontale vlak niet groot. De keuze van twee kabels per zijde is dan verantwoord.

7.4.4.2.2 Eénzijdige aandrijving

Roldeuren voor middelgrote (10 - 16 m) sluizen worden soms door één kabel aangedreven langs één zijde van de deur (fig. 7.11 en 7.93). Die deuren zijn in verhouding tot grote deuren smal, waardoor de excentriciteit van de trekkende kabel klein kan zijn.

De kabel kan het beste gesitueerd worden aan de zijde waar de grootste weerstand van de horizontale geleidingen op de deur gewoonlijk optreedt. Ondanks dat ondervindt door het asymmetrisch trekken de horizontale geleiding grotere krachten dan bij het trekken met twee kabels. Bij een eenzijdige aandrijving is een rollende geleiding daarom gewenst.

Het aandrijven door één kabel geeft wel een financiële besparing op het civiele werk en het ruimtebeslag in langsrichting van de sluis, maar niet op de aandrijving. De kabel is dikker, de trommel en omloop-schijf daardoor groter en de goot dieper terwijl de deur rollend geleid moet worden. Het bewegen van een roldeur met de kabels aan één zijde van een deur is daarom niet aan te bevelen.

7.4.4.2.3 Tweezijdige aandrijving met één trommel

De constructie bestaat uit een aandrijftrommel, twee kabels met gewichten, een bovenrolwagen met leidschijven en een centrale stang (fig. 7.94 en 7.95 en foto's 7.24, 7.25 en 7.26). De kabels vormen de verbinding tussen aandrijftrommel en bovenrolwagen, de stang is de verbinding tussen bovenrolwagen en roldeur. De bovenkabel op de aandrijftrommel heeft als functie de deur te openen en loopt via twee horizontale leidschijven op de hoekpunten van de bovenrolwagen en een verticale leidschijf in de deurkas naar een contragewicht om de kabel strak te houden. In de kabel is een nok opgenomen die tegen een kabelaanslag loopt. De deur kan pas daarna in beweging komen. Op precies dezelfde manier is ook een onderkabel aangebracht om de deur te sluiten.

De constructie van beide kabels met horizontale leidschijven op beide hoekpunten van de bovenrolwagen en de verticale leidschijf naar een contragewicht zorgt ervoor dat aan de beide zijden van de bovenrolwagen vrijwel even hard getrokken wordt. Samen met de centrale stang van de roldeur en bovenrolwagen beweegt de bovenrolwagen rechtuit.

De bovenrolwagen rijdt met wielen met flenzen op hooggelegen rails over de lengte van de deurkas. De trekstang tussen bovenrolwagen en deur is beweeglijk omdat de deur zijdelings moet kunnen bewegen. Bij het verwisselen van de deur is het niet nodig de kabels te demonteren, alleen de trekstang moet losgehaald worden. De rolwagen doet bij bereden deuren tevens dienst als rijdekwagen.

De aandrijving van de kabeltrommel van fig. 7.94 is ondergebracht in een waterdichte ruimte achter de deurkas.

7.4.4.3 Deurgeleidingen

7.4.4.3.1 Rollende ondergeleiding

Een roldeur wordt gesteund door twee onderrolwagens die het overgewicht van de deur overdragen naar de bodem en die bij grote belastingen loodrecht op het deurvlak ook de deur aan de onderkant zijdelings geleiden (foto 7.27). De roldeur wordt rollend geleid om te grote trekkrachten te voorkomen tijdens het bewegen van de deur. Dat aparte onderrolwagens gebruikt worden, vindt zijn oorzaak in het in de natte kunnen verwisselen van de wielen los van de deur en het zijdelings moeten kunnen bewegen van de deur.

Elke onderrolwagen is voorzien van vier verticaal opgestelde loopwielen en als deze de deur ook zijdelings geleiden van horizontaal opgestelde leidwielen (fig. 7.100). Bovenop de onderrolwagen is centraal een scharnierend en flexibel deuroplegpunt aangebracht om de deur ook enigszins te kunnen laten kantelen (fig. 7.98 en 7.101). De verticale loopwielen zijn vlak wanneer ook horizontale leidwielen aanwe-

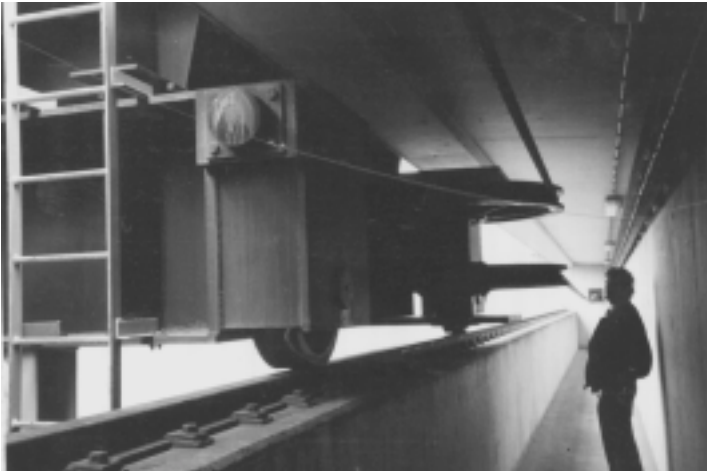


Foto 7.24 Bovenrolwagen van aandrijving roldeur van schutsluizen te Hansweert

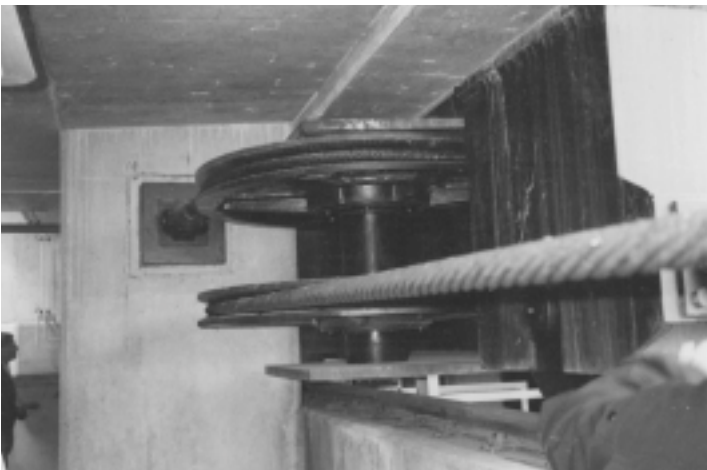


Foto 7.25 Omloopschijven van aandrijving roldeur van schutsluizen te Hansweert

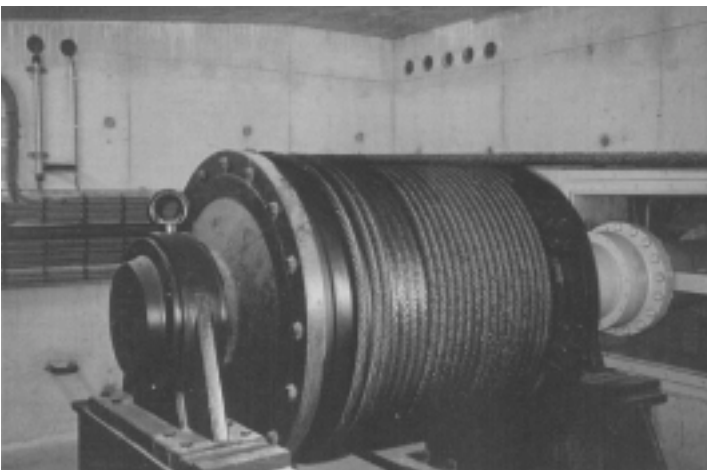


Foto 7.26 Aandrijftrommel van aandrijving roldeur van schutsluizen te Hansweert

zig zijn; anders zijn deze voorzien van flenzen. In de sleuf in de bodem zijn twee rails voor de verticale loopwielen en ook twee rails voor de horizontale leidwielen (indien aanwezig) opgenomen. De leidwielen worden gelagerd in kunststof bussen of met rollenlagers.



Foto 7.27 Onderrolwagen van roldeur van Middensluis te Terneuzen

Een voorbeeld van een onderrolwagen met verticale en horizontale wielen geeft fig. 7.105. Die rolwagen is voorzien van vier verticale loopwielen en vier horizontale leidwielen en aan de bovenzijde van een scharnierende deuroplegging. De wagen is in verband met de plaats van de afdrukinrichting (zie hierna) vrij lang. De deurdikte is daarbij afhankelijk van de afmetingen van de wagen. De wagen rijdt onder het niveau van de drempel en daardoor is een diepe aanleg van de sleuf vereist.

Fig. 7.100 toont een veel compactere wagen waarbij slechts een ondiepe sleuf nodig is. Wel moet de deur dikker zijn terwijl de wagen aanmerkelijk zwaarder is door de overkragende wielen en assen.

De onderrolwagen in fig. 7.99 heeft de voordelen in zich van de vorige oplossingen zoals een ondiepe sleuf in de bodem, een lichtere constructie van de wagen en een dunnere deur. De wagen heeft vier verticale en twee horizontale wielen. Nadeel is wel dat deze onderrolwagen sneller wil kantelen wat voorkomen moet worden door de oplegkracht van de deur te vergroten.

De rails voor de onderrolwagens moeten zeer nauwkeurig ten opzichte van elkaar gemonteerd worden om de belasting op de wielen goed te verdelen. Elke wagen rijdt op vier wielen. Een kleine afwijking uit het horizontale vlak veroorzaakt tordering van de wagen en verhoging van de belasting op twee van de vier wielen. Ook de horizontale rails moeten nauwkeurig ten opzichte van de verticale rails liggen. Voegen in de betonnen vloer tussen sluishoofd en deurkas worden door de rails overbrugd en niet door de fundaties die hier alleen dwarskracht kan opnemen. Verder zijn de rails slecht beschermd tegen krabende ankers.

Om de deur vrij van zijn aanslagen te laten bewegen en een rollende geleiding te laten uitvoeren wordt de deur tijdens bewegen gecentreerd door een afdrukinrichting. Deze afdrukinrichting die onderdeel uitmaakt van de deur, drukt de horizontale geleidewielen in de onderrolwagens zover naar buiten dat nog een kleine speling ontstaat tussen horizontale geleidewielen en rails (zie fig. 7.105). Moet de deur in gesloten positie keren, dan wordt de afdrukinrichting uitgeschakeld en beweegt de deur zijdelings door de waterdruk en gaat tegen de aanslagen steunen. In het verleden werd in plaats van een afdrukinrichting ook wel een veerconstructie toegepast (fig. 7.98) die als nadeel heeft dat de deur in gesloten stand met weinig verval langdurig blijft lekken.

Naast het overgewicht van de deur bepaalt de trekkracht van het kabellierwerk van de deur de maximale verticale belasting van de roldeur op onderrolwagens. Tijdens het openen neemt de belasting op

de achterste rolwagen toe en tijdens het sluiten op de voorste vanwege het hooggelegen aangrijpingspunt van de trekkracht (fig. 7.34). De grootste oplegdruk treedt op tijdens bewegen bij het minimum schutpeil.

7.4.4.3.2 Schuivende ondergeleiding

Als de horizontale belasting op de deur tijdens bewegen gering is, dan worden de horizontale wielen van de onderrolwagens weggelaten. De verticale wielen van de onderrolwagens worden met flenzen uitgevoerd. Fig. 7.97 is hiervan een voorbeeld. De zijgeleiding aan de onderzijde van de deur komt in de eerste plaats uit schuivers die op alle vier hoekpunten van de deur aan de onderzijde tegen de beplating zijn aangebracht (fig. 7.104). De schuivers glijden dan langs twee banen in de sleuf in de bodem. Deze banen dienen tevens als afdichting van de deur in kerende situatie.

De keuze van het materiaal van schuivers en banen is afhankelijk van de wrijvingscoëfficiënt, de vlaktedruk tijdens bewegen, de toe te laten slijtage in de standtijd, de vervorming, de temperatuursverhoging door wrijving en de verwisselbaarheid. Meestal worden de schuivers van roestvrij staal en de banen van kunststof gemaakt. Uiteindelijk zal dit een factor 10 tot 15 keer hogere weerstandskracht opleveren dan bij toepassing van horizontale geleidewielen. Maar als de horizontale belasting gering is, is dit minder bezwaarlijk. Tussen de schuivers is in langsrichting van de deur meestal een slappe onderaanslag aangebracht; dit deel zal tijdens bewegen weinig kracht afdragen.

7.4.4.3.3 Glijdende ondergeleiding



Foto 7.28 Vaste draagvoet en hydrostatisch lager van glijdeur van Nieuwe Oranjesluis te Amsterdam

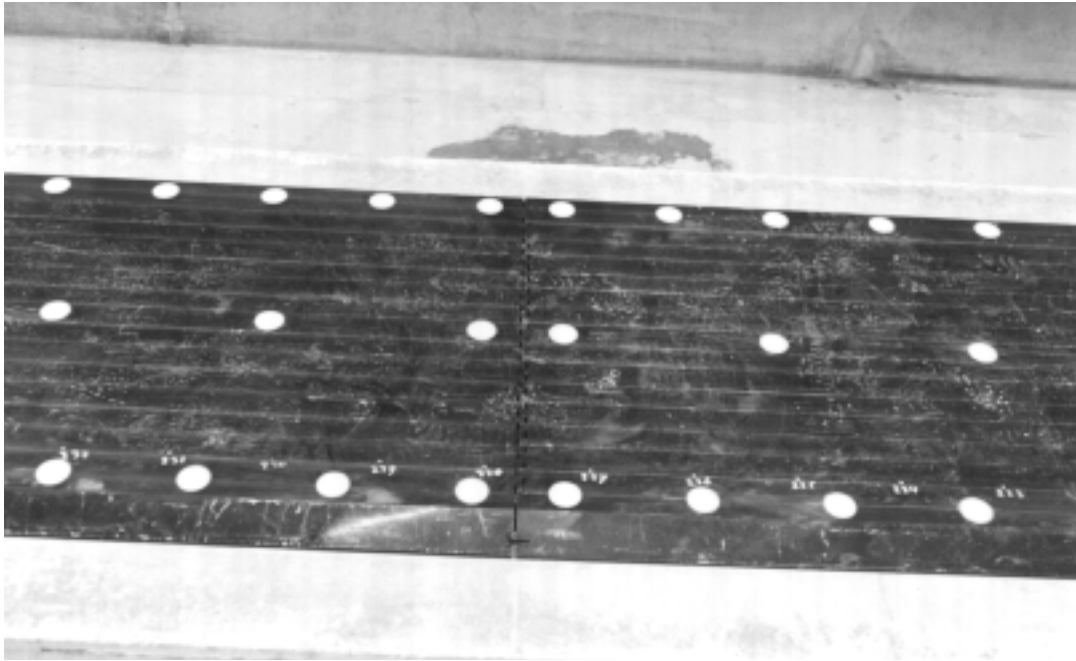


Foto 7.29 Kunststof glijbaan van glijdeur van Nieuwe Oranjesluis te Amsterdam

Voor de roldeuren van de Nieuwe Oranjesluis zijn de onderrolwagens vervangen door twee hydrolagers die het overgewicht van de deur dragen. Hydrolagers zijn vlakke, ronde openingen die met behulp van waterdruk over een kleine hoogte worden opgedrukt. Aan de omtrek van het lager ontwijkt water (foto's 7.28 en 7.29).

Het lager is schematisch voorgesteld op fig. 7.39. De oplegging is van staal, rond en voorzien van vier waterkamers. Deze kunnen elk, onafhankelijk van elkaar, onder druk worden gehouden. De druk wordt verzorgd door pompen die in waterdichte ruimten in de deur zijn ondergebracht (zie fig. 7.38). De zijdelingse weerstand is afhankelijk van de nauwkeurigheid van de baan waarover de opleggingen glijden. De oplegging is flexibel ondersteund om zich in te kunnen stellen naar kleine hellingen. De oplegging raakt de baan over soms kleine stukjes van de omtrek. Daardoor ontbreekt de waterfilm en ontstaat er weerstand.

De deur is verder voorzien van vaste opleggingen om bij het uitvallen van het systeem de deur toch nog, maar dan langzaam, naar een eindstand te kunnen bewegen. De hydrolagers kunnen verwijderd worden zonder de deur droog te zetten. De deur rust in de kerende stand rechtstreeks op de hydrolagers. De pompinstallatie is dan buiten werking.

Zijdelings wordt deze deur geleid door een schuivende geleiding langs een baan. De combinatie van geleiders en baan heeft een lage wrijvingscoëfficiënt. De speling tussen geleider en baan is zo gering als praktisch uitvoerbaar is waarmee voorkomen wordt dat de deur onder wisselende belasting grote heen en weer gaande bewegingen kan maken.

7.4.4.3.4 Rollende bovengeleiding

Om de roldeur tijdens het bewegen aan de bovenzijde te geleiden, worden aan de bovenzijde bij de ingang van de deurkas aan beide zijden horizontale wielen (foto 7.30) en op beide beplatingen van de deur rails aangebracht. De geleidewielen moeten voor de verticale aanslagen van de deur zijn bevestigd omdat anders de aanslagen doorsneden worden door de rails. Als enige lekkage aan de bovenzijde van de verticale aanslagen is toegestaan, mogen de wielen echter verder de kas in gesitueerd worden. Ook deze geleidewielen worden met een afdrukinrichting naar buiten gedrukt met een kleine speling tussen de wielen en rails om de deur te centreren en daarmee vrij te houden van zijn opleggingen. Eventueel worden aan de bovenzijde van de ingang van de deurnis op dezelfde manier ook horizontale geleidewielen aangebracht (zie fig. 7.95 en 7.107).



Foto 7.30 Horizontaal geleidewiel van glijdeur van Nieuwe Oranjesluis te Amsterdam

Als de bovengeleiding uit meerdere wielen moet bestaan vanwege de grootte van de horizontale belasting, wordt een andere constructie toegepast waarbij de wielen aan de deur en de rails langs de deurkas lopen. Aan een uithouder aan de achterzijde van de deur is een bovenrolwagen bevestigd die in zijdelingse zin langs rails in de goot van de deurkas loopt. (In deze goot bevinden zich ook de trekkabels van het aandrijving.) De bovenrolwagen heeft aan weerszijden horizontale geleidewielen die tijdens het bewegen met een afdrukinrichting naar buiten gedrukt worden om de deur te centreren en daarmee vrij te houden van zijn opleggingen. De krachten op de deur worden voor beide belastingsrichtingen aan één kant van de deur opgenomen (fig. 7.106). Een variant hierop is een bovengeleiding met aan beide zijden van de deur bovenrolwagens (fig. 7.102).

De bovengeleiding kan ook schuivend uitgevoerd worden. De ruimte tussen deur en geleidingen moet echter zo ruim zijn dat tijdens het nivelleren het waterniveau in de kas en nis dat in de kolk of voor de deur kan volgen. De deur kan daardoor heen en weer gaan slaan waardoor het beter is om de schuivers afdrukbaar te maken. Het is dan constructief eenvoudiger om wielen te gebruiken.

7.4.5 Bewegingswerken en geleidingen voor hefdeuren

7.4.5.1 Algemeen

Hefdeuren worden tegenwoordig vrijwel alleen toegepast in grote sluizen met een doorvaartbreedte van 16 - 24 m. Vanwege de grote slag die hefdeuren moeten maken, worden deze deuren altijd bewogen met kabellierwerken die in de torens aan weerszijden van de sluiskolk staan opgesteld. Hefdeuren worden uitgebalanceerd met twee balansgewichten om de grootte van de lierwerken te kunnen beperken. Hefdeuren worden rollend of schuivend geleid. De torens dienen voor het onderbrengen van de kabellierwerken en de geleidingen.

Het kabellierwerk wordt aan beide zijden van de hefdeur aangebracht. De hefdeur is met balanskabels (of omloopkabels) verbonden met de balansgewichten waarbij deze kabels bovenin de toren via kabelschijven omgeleid worden. Aan de deur of aan de balansgewichten wordt met een hijs- of haalkabel getrokken door middel van een lierwerk dat boven- of onderin de toren opgesteld staat. Het lierwerk bestaat uit een kabeltrommel, tandwiel, rondsel, tandwielkast, aandrijfmotor en een of meerdere klossenremmen.

Bij een rollende geleiding zijn aan beide zijden van de deur bovenin en onderin geleide- of loopwielen aangebracht die over rails rijden. Door een afdrukinrichting wordt tijdens de deurbeweging de deur vrij van zijn aanslagen gehouden en worden de wielen op de rails gebracht. Veelal zijn er ook zijgeleidingswielen. Voor licht belaste deuren wordt een schuivende geleiding toegepast bestaande uit schuivers op de deur en kunststof glijdstrippen.

7.4.5.2 Bewegingswerken

7.4.5.2.1 Contragewicht en kabellierwerken

Hefdeuren worden in de regel uitgebalanceerd met een contragewicht (verdeeld over twee balansgewichten) waardoor de belasting van de kabellierwerken beperkt blijft. De volgende overwegingen spelen een rol bij het vaststellen van de grootte van het contragewicht. De deur kan niet volledig uitgebalanceerd worden, het deurgewicht moet steeds het contragewicht overtreffen. Is de deur gesloten dan moet dit met een zeker overgewicht (deurgewicht minus contragewicht en opwaartse kracht) zijn om lekkages bij de onderrand te voorkomen. Om de deur te kunnen laten zakken heeft de hefdeur voldoende overgewicht nodig om de weerstand te overwinnen van deurgeleiding als gevolg van de deurbelasting door wind, wind- of translatiegolf belastingen, de opwaartse kracht van de deur onder water en de weerstand tegen het buigen van de kabels om trommels en schijven. Verder is voldoende overgewicht nodig om de weerstand te overwinnen als de deur onder dezelfde omstandigheden moet kunnen sluiten als waaronder ze geopend moet kunnen worden.

De bewegingswerken van hefdeuren worden in verhouding tot bijvoorbeeld roldeuren zeer zwaar belast. De belangrijkste belastingen van het kabellierwerk zijn tijdens heffen en zakken van de deur het benodigde overgewicht van de deur en het extra gewicht door aanhangend vuil en ijs. Tijdens het heffen moet het lierwerk ook de weerstand van de deurgeleiding als gevolg van deurbelasting door het restverval, wind- of translatiegolven en wind overwinnen en de buigweerstand van de kabels om trommels en schijven.

De kabellieren die aan de deur of aan de balansgewichten trekken, worden uitgevoerd met verschillende kabels om de afmetingen van de trommels en daardoor de lierwerken te beperken. Een kleine machineruimte is vooral belangrijk boven in de torens. Dat meerdere kabels nodig zijn komt omdat één kabel per trommel zo'n dikke kabel geeft dat de trommeldiameter erg groot wordt. Door twee of vier kabels toe te passen wordt de benodigde machineruimte veel kleiner. Dat is vooral belangrijk wanneer de lieren boven in de torens worden geplaatst.

Het trekken aan de hefdeur (of balansgewichten) met verschillende kabels vergt extra voorzieningen om de kabels zoveel mogelijk gelijkelijk te belasten. Worden kabels zonder meer aan de ophangpunten bevestigd, dan kan dat door de ongelijke elasticiteit van de kabels of door verschil in diameter van de groeven op de kabeltrommel of de kabelschijven tot grote verschillen in trekkracht per kabel leiden. Dat probleem kan op drie verschillende manieren worden opgelost.

- *Veerconstructie*
Tussen elke kabel en ophangpunt wordt een veerconstructie aangebracht waarbij de veren een deel van het verschil in elasticiteit van de kabels compenseren. In fig. 7.110 trekken de vier kabels via veerconstructies en kabelspanners de deur omhoog. De kabelspanners worden gebruikt om de veerspanning in elke kabel even groot te maken bij het bevestigen van de kabels.
- *Evenaarconstructie*
Bij toepassing van een evenaarconstructie wordt het verschil in de kabelkrachten grotendeels opgeheven. De oplossing met de evenaars vergt een zwaar belaste constructie die alleen goed functioneert als alle draaipunten daarvan met rollenlagers zijn uitgerust. De oplossing vraagt meer hoogte en is in kosten vergelijkbaar met veerconstructies.

- *Veel kabels*
Wanneer veel dunne en lange kabels geïnstalleerd worden is het verschil in kabelkrachten gering. Dit vergt echter een lange kabeltrommel en (meestal te) veel ruimte om de bevestiging aan de deur te maken.

7.4.5.2.2 Opstelling

Er zijn verschillende opstellingen van kabellierwerken en balansgewichten mogelijk. In fig. 7.108 zijn vier methoden geschetst.

- *Methode A*
Beide balansgewichten die via de balanskabels aan de deur hangen, zijn zo groot mogelijk. Kabellieren en leidschijven staan opgesteld bovenin de toren, in twee ruimten of gecombineerd tot één zoals in fig. 7.109 en foto 7.31. De kabellierkrachten zijn aanzienlijk.
- *Methode B*
De deur wordt voor minstens 90% uitgebalanceerd door in totaal vier balansgewichten. De kabellierwerken worden dan altijd positief belast door het gewicht van de deur. De kleine gewichten aan de lierwerken zijn net zo groot als het benodigd overgewicht van de deur op de drempel. De lierwerken tillen na einde sluiten de kleine gewichten op. De benodigde trekkrachten aan de lieren bij het heffen zijn daardoor aanzienlijk minder dan bij methode A. De balanskabels zijn lichter belast, de trommel zwaarder, maar de aandrijving lichter.
- *Methode C*
Het kleine ballastgewicht is vervangen door een veer aan de balansgewichten. De lier trekt via de veer aan het balansgewicht. Aan het einde van het bewegen wordt het grote gewicht via de veer iets opgetrokken. Het nadeel van de ruimte voor het tweede gewicht vervalt. Net als bij methode B zijn de balanskabels lichter belast en de kabellierkrachten minder.
- *Methode D*
Methode D komt overeen met methode A, behalve dat het lierwerk beneden staat.



Foto 7.31 Bewegingswerk van hefdeur van nieuwe sluis te Wijk bij Duurstede

De trekkracht in de lieren is met de methoden B en C lager maar de kabels zijn zwaarder belast. Methode C heeft daarbij de voorkeur boven B omdat geen ruimte voor een tweede ballastgewicht nodig is. Beide methoden hebben het nadeel dat bij het loskoppelen van het lierwerk tijdens een inspectie, de drem-peldruk onvoldoende wordt waardoor de deur zal lekken. Bij grote deuren leveren de oplossingen B en C onvoldoende voordelen, bij kleinere met gekoppelde torens soms wel.

In geheven stand mag de deur door windbelastingen niet tussen de geleidingen klapperen. De deur wordt daartoe uit het zwaartepunt opgehangen.

Esthetische eisen van de torens van de hefdeuren beïnvloeden de opstelling vaak ingrijpend. Twee voorbeelden worden toegelicht.

Het kabellierwerk met 4 (haal)kabels van fig. 7.110 en foto 7.32 (methode D) is onder de toren geplaatst om de torens in het complex heel slank te kunnen vormgeven. Voordelen van deze oplossing zijn dat de machineruimte goed toegankelijk is voor inspectie en onderhoud, er maar weinig inspectie nodig is bovenin de toren (alleen kabelschijven en kabels) waardoor een lift niet nodig is. Bovendien geeft de slankheid een betere toegankelijkheid voor het wegverkeer over de deur. Nadelen zijn dat alle kabels en het kabellierwerk zwaar belast worden en de fundatie van de kabellier op trek is belast.

Kabellierwerken boven in de torens vergroten de kop van de torens maar meestal ook de afmetingen van de toren zelf omdat vanwege inspectie ook een liftschacht nodig is. Wel kan de hoogte van de toren beperkt blijven. In fig. 7.109 (methode B) draaien kabelschijven en kabeltrommel om eenzelfde as. Omdat een grote diameter voor de trommel beschikbaar is kunnen minder en dikkere hijskabels gekozen worden. Nadelen van de oplossing hebben te maken met investering en onderhoud. Bij vervanging van één van de functionele onderdelen moeten alle betrokken componenten zoals de deur, de ballastgewichten en de kabellier geblokkeerd of gedemonteerd worden.

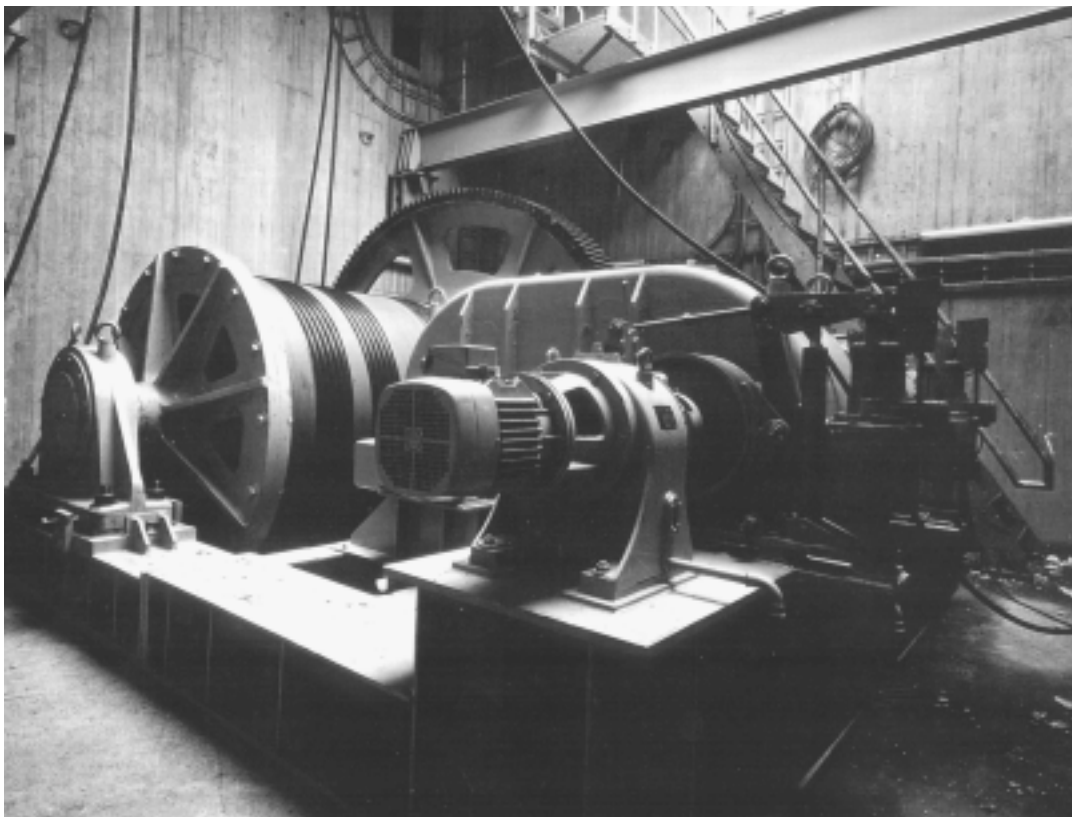


Foto 7.32 Bewegingswerk van hefdeur van Kreekraksluizen

7.4.5.3 Deurgeleidingen

7.4.5.3.1 Rollende geleiding

Hefdeuren die tijdens openen of sluiten grote horizontale belastingen van wind, wind- of translatie golven of verticale zuigkrachten door stromend water onder de deur ondervinden, worden door geleidewielen geleid. Wielen vergen door hun zeer lage wrijving maar een geringe extra trekkracht van de lierwerken.

De wielen worden over rails in de nissen geleid aan weerszijden van het sluishoofd en langs de torens. Aan de deur worden twee of vier wielen per zijde bevestigd, afhankelijk van één- of tweezijdige kering. Het onderste wiel is zo laag mogelijk aangebracht, het bovenste wiel op een zodanige plaats dat beide wielen een even grote kracht ondervinden van de maximale belasting tijdens heffen. Het toepassen van wielen bij hefdeuren is minder problematisch dan bij roldeuren. Als de hefdeur boven water hangt kunnen de wielen geïnspecteerd en onderhouden worden en zonder uitwisselen van de deur vervangen worden.

Verder worden ook zijgeleidingswielen toegepast en wielen voor de geleiding van de balansgewichten.

Wielen rollen langs rails. In het algemeen worden daar genormaliseerde railprofielen voor gebruikt. Voor zeer zwaar belaste rails worden ook hoogwaardig stalen stukken plat gebruikt. Het deel van de rails boven de nis dat geheel of gedeeltelijk wegneembaar moet zijn om de hefdeur te kunnen uitwisselen, bevindt zich vóór de voorwand van de toren.

De rails of het plat worden in de nissen bevestigd op stalen fundatiebalken die de wielbelasting in lengte en breedte spreiden. Voor het aanbrengen van de fundatiebalken zijn twee oplossingen: tegelijkertijd met het opgaande betonwerk instorten of met ankers aan het beton in de nis bevestigen. Bij de eerste oplossing wordt gebruik gemaakt van een stelconstructie (zie fig. 7.112). Het voordeel is dat de fundaties na het instorten al zo nauwkeurig op afstand en verticaal kunnen staan dat het afstellen van de rails daarop niet meer nodig is wat tijdswinst bij de bouw oplevert. Bij de tweede oplossing worden de fundatiebalken met ankers aan het reeds gestorte werk bevestigd en daarna ondersabeld (fig. 7.113). De overdracht van de wielbelasting naar het beton is minder goed dan bij de eerste oplossing, wel is de oplossing goedkoper dan de eerste. In fig. 7.114 is de geleiding bevestigd door de wand heen, samen met de geleiding van het ballastgewicht. Dat is een voorbeeld hoe de bevestiging moet worden om de toren met een glijbekisting te kunnen storten.

7.4.5.3.2 Afdrukinrichting

In de gesloten stand steunt de hefdeur tegen de verticale aanslagen. Om van de steunende situatie over te gaan naar de rollende geleiding en andersom is een afdrukinrichting nodig.

Het systeem met hefbomen is geschetst in fig. 7.116 waarbij de wielen in de afgedrukte stand staan. Door de uitvoering met vier wielen per deurzijde is het systeem geschikt voor tweezijdige kering. Bij het omhoog komen van de lange hefbomen door middel van een trekstang verplaatsen de wielen zijdelings. Daardoor wordt de deur in de middenstand gedrukt, komt los van de aanslagen terwijl de wielen tegen de rails gaan aanliggen. De deur kan omhoog als de aanslag van de trekstang aanligt. Steunt de deur op de linker aanslag dan drukken de linkerwielen de deur naar de middenstand, evenzo voor de rechter aanslag en rechter wielen. Is de deur licht belast dan is voor het afdrukken geen aparte aandrijving nodig en wordt de trekstang aangesloten op het kabellierwerk. Nadeel hiervan is dat bij gesloten deur de kabels niet gespannen zijn en op de wind kunnen klapperen.

In het algemeen worden zwaar belaste deuren, dus met grote wielen, voorzien van een systeem met een eigen aandrijving. Een hefboomconstructie vergt daar te veel ruimte en is erg zwaar. De eigen aandrijving kan elektro-mechanisch of elektro-hydraulisch geschieden. Omdat de afdrukweg niet groot behoeft te zijn, wordt gebruik gemaakt van wielassen waarbij de wielen om een excentrisch gedeelte draaien. Door de assen te verdraaien maken de wielen een in hoofdzaak zijdelingse beweging. In fig. 7.118 is

zo'n mechanisch aangedreven systeem geschetst met twee wielen voor een eenzijdige kering. Het nadeel van die oplossing is dat de aandrijving in een waterdichte ruimte van de deur moet worden ondergebracht wat inspectie en onderhoud bemoeilijkt. Fig. 7.115 met eveneens twee wielen en eenzijdige kering toont een alternatief. De assen waar de wielen omheen draaien worden zelf verdraaid door de hefboom omhoog te bewegen. Fig. 7.117 geeft het schema van de aan- en afdrukinrichting van de hefdeuren van de Kreekraksluizen. In fig. 7.113 met vier wielen en tweezijdige kering is een oplossing getekend met een hydromotor als aandrijving die onder water kan werken. De voeding van de hydromotor wordt verzorgd door elektrisch aangedreven pompen boven in de deur.

Het kiezen van een type afdrukinrichting is vaak lastig omdat elke uitvoering zijn voor- en nadelen heeft. Voor licht belaste constructies met kleine wielen is de uitvoering die door de kabellier wordt aangedreven een goede en eenvoudige oplossing. Zwaarder belaste wielen kunnen onder water aangedreven worden door een hydromotor of een hydraulische cilinder, waarvan de aandrijfbron in een (zo nodig waterdichte) ruimte in de deur is ondergebracht.

7.4.5.3.3 Schuivende geleiding

De eenvoudigste vorm van deurgeleiding is de schuivende geleiding. Een groot voordeel van het ontbreken van de rails is de veel ondiepere nis. Op het betonwerk wordt een kunststof geleiding aangebracht en op de deur roestvaste stalen schuivers. De stalen schuivers op de kunststof baan leveren een betrekkelijk lage wrijvingsweerstand. De benodigde oppervlakte van de kunststof banen is afhankelijk van de vlaktedruk, de toelaatbare slijtage en de temperatuurstijging als gevolg van de wrijving. In vergelijking met roldeuren is de koeling van kunststof in lucht bij hefdeuren minder gunstig. De verticale kunststof geleidingen worden met bouten gesteld in een uitsparing in het betonwerk van de nissen (fig. 7.120). De sparing wordt vervolgens gevuld met mortel.

7.4.5.3.4 Rollen of schuiven

Een rollende geleiding vereist extra investering in de vorm van wielen en afdrukinrichting. Verder is de deur zwaarder door de wielen en daarmee ook de balansgewichten. Maar de lieren worden minder zwaar belast. Dat alles in vergelijking met een schuivende geleiding waarvan de afdichting van de deur iets minder goed is, de nissen minder diep, de lieren iets zwaarder en de balansgewichten kleiner.

Voor deuren die bij het heffen licht belast worden, dat wil zeggen nauwelijks enige invloed van golven ondervinden, kan volstaan worden met een schuivende geleiding. Bij zwaarder belaste deuren wordt een rollende geleiding aangetroffen.

7.5 Schuiven en schuifbewegingswerken

7.5.1 Schuiven en bewegingswerken bij deuropeningen

7.5.1.1 Algemeen

Schuiven voor openingen in deuren worden toegepast om te nivelleren en soms ook voor het spuien. Het nivelleren wordt gestart door de schuiven te heffen waardoor het debiet toeneemt met het toemen van het doorstroomoppervlak. De kolk vult (of ledigt) zich terwijl het verval over de deuren afneemt. Op een bepaald moment is het verval zover afgenomen dat het debiet ook afneemt hoewel de openingen in de regel dan nog niet helemaal open zijn. Korte tijd later zijn de openingen geheel open (schuiven geheel geheven) en enige tijd later is het verval over de deur nog maar bijvoorbeeld 0,10 m. Dan worden de deuren geopend en is de sluis gevuld of geleidigd. Tijdens het openen van de deuren blijven de schuiven geheel open staan en ze worden gesloten op het moment dat de deuren geheel geopend zijn. Tijdens het sluiten van de deuren blijven de schuiven gesloten. De deuren dienen langzaam de kassen te verlaten om grote zuigkrachten te vermijden.

De plaats van de nivelleeropeningen is zo laag mogelijk in de deur en verspreid over de breedte van de deur. Zoals eerder vermeld, worden voor het nivelleren standaardmaten voor de openingen in breedterichting toegepast (1,40, 2,15 en 2,60 m). De totale breedte van de openingen bedraagt ca. 60% van de doorvaartbreedte van de sluis. De hoogte van de openingen is afhankelijk van de lengte van de sluis en het verval, maar ligt meestal tussen 0,75 en 1,75 m. In 't algemeen zijn minstens vier openingen per hoofd aanwezig om bij het uitvallen van één van de schuiven toch een aanvaardbaar stroombeeld in de sluis over te houden. De vorm van de openingen en de schuifsnelheid volgen uit hydraulisch onderzoek.

Voor het bewegen van de deurschuiven worden twee soorten aandrijvingen toegepast: een hydraulische cilinder of een spindel. In het verleden werden ook heugels toegepast maar deze aandrijving heeft geen enkel voordeel meer boven de twee andere. Voor de eerste twee typen is, behalve onder bijzondere omstandigheden, nauwelijks een voorkeur aan te geven. Het bewegingswerk moet de maximaal benodigde trekkracht kunnen leveren om de schuiven onder het maximum-verval te openen. De snelheid van heffen van de schuiven is meestal laag en bedraagt 2 - 10 mm/sec. Het kan uit hydraulisch oogpunt nodig zijn dat deze snelheid gevarieerd wordt tijdens het heffen (langzame start) en/of afhankelijk gesteld wordt van het beginverval over de deur.

Schuiven worden soms ook geschikt gemaakt om water uit een hoger liggend pand te spuien. Tijdens het spuien is de schutsluis buiten bedrijf. De constructie van de schuiven verandert voor het spuien niet. Meestal wordt vanwege de benodigde spuicapaciteit alleen de hefhoogte vergroot en de vorm aangepast. Om met die schuiven te nivelleren wordt maar een deel van de hefhoogte gebruikt. Een voorbeeld is te zien in fig. 7.121. Voor het nivelleren wordt het onderste deel met 6 openingen gebruikt. Dus een beperkte breedte van de openingen waardoor de hefsnelheid van de schuiven niet erg klein hoeft te zijn. Bij het spuien wordt de volle breedte achter de schuif benut; de hefsnelheid is daarbij niet van belang en kan hetzelfde zijn als bij nivelleren. Een nadeel van zo'n oplossing is de grote hefkracht bij het nivelleren omdat de vervalbelasting over de gehele oppervlakte werkt. Het splitsen in meerdere units is echter ingewikkeld en minder economisch.

7.5.1.2 Schuiven

Bij een eenzijdig kerende schuif worden de schuiven aan de hoogwaterzijde van de deur gesitueerd (fig. 7.122 en foto's 6.8, 6.10 en 6.12). De schuif is opgebouwd uit een verstijfde plaat of een massieve dikke plaat. De verstijfde plaat bevindt zich aan de laagwaterzijde en is langs zijn omtrek voorzien van kunststof strippen. Langs de omtrek van de opening zijn stalen strippen aangebracht zodat in gesloten positie van de schuif door de waterdruk de kunststof strippen tegen de stalen strippen afdichten. U-vormige, verticale schuifgeleidingen zijn op de deur aangebracht, voorzien van stalen strippen waartussen de deur schuift tijdens de beweging. Hiervoor heeft de schuif aan de niet beplatingszijde schuivers aan de hoekpunten en ook aan de zijkanten. De boven- en onderrand van de schuif moeten zo stijf zijn dat de geleiding door de doorbuiging van de schuif onder belasting niet beschadigt, en bij het dalen niet ach-

ter de aanslag kan blijven haken.

Is de deur dubbelkerend en enige lekkage toegestaan, dan kan de constructie van fig. 7.122 aangehouden worden behalve dat aan weerszijden van de omtrek van de schuif nu kunststof strippen zijn aangebracht met een minimale speling met geleidingen.

Deurschuiven die tweezijdig moeten keren en goed moeten afdichten om waterverlies te voorkomen, worden aan een zijde van een rubber (fender) profiel voorzien dat als aanslag functioneert voor de negatieve kering (fig. 7.123). Het rubber profiel spant de schuif voor in de geleiding. Het rubber bevindt zich aan die zijde waar de grootste druk op rust (beplatingszijde). Om ook negatief af te dichten is dan de minste voorspanning nodig. Door de voorspanning moet de trekkracht van het bewegingswerk enigszins worden vergroot. Tweezijdig afdichtende schuiven worden toegepast in alle tweezijdig kerende deuren, dus ook voor dubbelkerende enkele puntdeuren.

7.5.1.3 Bewegingswerken



Foto 7.33 Hydraulische cilinder schuifbewegingswerk van enkele draaideur van schutsluis te Nieuwe Statenzijl

In het verleden werden veel rechte heugelstangen ontworpen als bewegingswerk van schuiven (foto's 7.14 en 7.19). Tegenwoordig worden aandrijvingen hydraulisch of met een spindel uitgevoerd.

Hydraulische aandrijving

Een hydraulisch bewegingswerk voor een deurschuif bestaat uit een cilinder met een zuigerstang en zuiger, en de voor de oliedruk benodigde aandrijfbron met tank en appendages. De cilinder wordt vast of scharnierend aan de deur bevestigd, afhankelijk van de plaats van de schuif ten opzichte van de onderzijde van de cilinder. De cilinder wordt bij voorkeur zo hoog in de deur gepositioneerd dat de afdichting rond de zuigerstang zich boven het kanaalpeil of het gemiddeld hoogwater bevindt. Bij olie lekkage kan dat verholpen worden zonder de deur uit te moeten wisselen (fig. 7.125).

Constructief komt het meestal zo uit dat de cilinder met de zuigerstang naar beneden aan de deur wordt bevestigd. Dat is wat minder logisch ten opzichte van de hef- en daalkracht; de beschikbare oppervlakte van zuiger- en stangzijde is omgekeerd evenredig met de benodigde krachten. De zuiger andersom plaatsen vergt echter een extra stangenstelsel en een minder gunstige plaats op de deur.

De vereiste trekkracht tijdens heffen is afhankelijk van het maximum-verval over de deur en daardoor van de wrijving van de schuivers en banen. Maar ook van het eigen gewicht van de schuif en de eventuele schrankkrachten. In geval van een calamiteit kan het gewenst zijn het nivelleren direct te stoppen. De schuiven moeten daarom ook onder verval gesloten kunnen worden. De benodigde kracht om te sluiten is minder dan die om te openen vanwege het gewicht van de schuif.

De aandrijfunit van oliepomp, elektromotor, appendages, olietank etc. kunnen in een watervrije ruimte in de deur worden opgesteld. Het voordeel hiervan is dat het verwisselen van een deur weinig tijd vergt omdat alleen de elektrische aansluitingen ontkoppeld en weer aangesloten worden. Nadelen zijn dat de beschikbare ruimte op punt- en draaideuren beperkt is wat inspectie en onderhoud bemoeilijkt en dat de reservedeur met aandrijfunit niet horizontaal opgeslagen kan worden.

De aandrijfunit kan ook worden geplaatst in een watervrije ruimte in het sluishoofd of in een daar bovenop gelegen ruimte. Dit gebeurt zeker bij een hoog schutpeil ten opzichte van de bovenkant van de sluisdeur. Het grote voordeel is dat de watervrije ruimte goed bereikbaar kan worden gemaakt. Door toepassing van snelkoppelingen kunnen de hydraulische leidingen weer snel aangesloten worden na verwisselen van een deur hoewel de beproeving van het systeem nog enige tijd kan vergen (dat wil zeggen langere ombouwtijd).

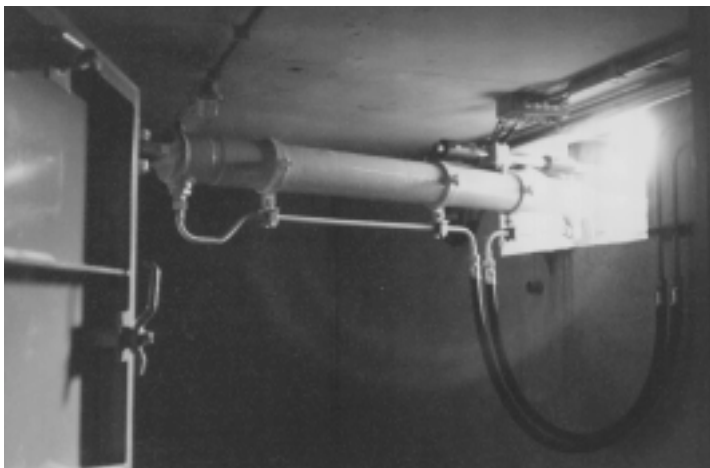


Foto 7.34 Hydraulische cilinder deurbewegingswerk van houten, enkele draaideur van benedenhoofd van schutsluis te Almere

Spindel-aandrijving

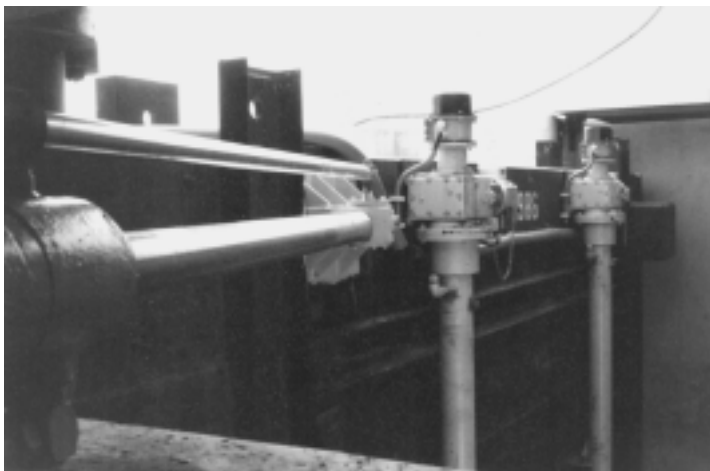


Foto 7.35 Hydraulische cilinder deurbewegingswerk en spindelaandrijving van schuiven van houten, enkele draaideur van benedenhoofd van schutsluis te Almere

Een spindel-aandrijving (fig. 7.126 en 7.35) is een mechanisch bewegingswerk waarbij de draaiende beweging van de motor via een tandwieloverzetting en een draadspindel wordt omgezet naar rechtlijnige beweging van een moer. Door het draaien van de moer tegen te gaan beweegt de moer zich met daaraan een trekstang in de vorm van een pijp in verticale zin. De constructie is waterdicht, net als de zuigerstang van de hydraulische aandrijving. Het bewegen kan ook onder water ongestoord geschieden. De aandrijving is daardoor niet gevoelig voor drijvend vuil en indien voorzien van een ijsschraper, ook weinig gevoelig voor ijsvorming. Mechanische beschadigingen door drijvend ijs of door aanvaringen worden voorkomen door een (scharnierende) beschermkap om de trekstang.

De spindel-aandrijving is samengebouwd tot een unit die eenvoudig aan een console van de deur is te bevestigen (fig. 7.126). De unit is iets langer voor dezelfde slag van de schuif dan de cilinder. Dat komt door de aandrijving die aan de bovenzijde is bevestigd. Bij deuren in een hoge waterstand steekt dat deel boven de deur uit. Wellicht is dit een argument om voor een cilindraandrijving te kiezen. Evenals de cilindraandrijving is de spindel voor grote trekkrachten te gebruiken.

7.5.1.4 Koppeling van schuif aan bewegingswerk

Het koppelen van een deurschuif aan het bewegingswerk kan op diverse manieren gerealiseerd worden, afhankelijk van hoogte/breedte-verhouding van de schuif, de bevestiging van het bewegingswerk aan de deur en de wijze waarop de schuif geleid wordt.

Een rechthoekige schuif met een kleine hoogte/breedte verhouding kan niet zonder extra voorzieningen met vier zijschuivers op de hoekpunten worden uitgevoerd. De zijschuivers zitten in verticale zin te dicht bij elkaar waardoor de schuif zichzelf kan vastklemmen wanneer er een verschil in wrijving tussen de linker en rechter schuifgeleidingen is. Dit kan nog versterkt worden door het verschil in wrijving tussen de linker en rechter zijschuivers. In opstelling A van fig. 7.128 kan de schuif in het vlak van tekening verdraaien door de invloed van het koppel gevormd door de wrijvingsverschillen van de beide schuifgeleidingen, tot de zijaanslagen B en O of B1 en O1 tegen de geleidingen komen. De bevestigingen bij de punten 1 en 3 zijn bolscharnieren om te voorkomen dat het bewegingswerk krachten ondervindt als de schuif mogelijke vervormingen van de deur of onnauwkeurigheden in afstelling of fabricage moet volgen. Punt 2 is buigingsvast aangesloten. Wanneer via berekening (fig. 7.129) blijkt dat de schuif zichzelf vastklemt, moet voor een andere opstelling gekozen worden. De toelaatbare hoogte/breedte verhouding is niet te standaardiseren, die is afhankelijk van de toegepaste schuifmaterialen.

Om vastklemmen te voorkomen is bij opstelling B (fig. 7.128) het frame van de schuif verlengd zodat de zijschuivers ver genoeg uit elkaar zitten. Evenzo zijn bij opstelling C de schuif en het bewegingswerk in het vlak van de schuif stijf aan elkaar gekoppeld waardoor de schuif nog maar twee zijschuivers nodig heeft. Laatstgenoemde opstelling heeft een lichte voorkeur omdat de afmetingen van de schuif niet van belang zijn.

7.5.2 Schuiven en bewegingswerken bij riolen

7.5.2.1 Algemeen

In het algemeen komen riolen met bijbehorende rioolschuiven hoofdzakelijk voor in binnenvaartsluizen met groot verval (5 à 7 m verval voor bovenhoofd) tot zeer groot verval, in zeer grote sluizen voor de zeevaart (meer dan 24 m doorvaartbreedte) of in sluizen met een zout/zoetscheidingssysteem.

In binnenvaartsluizen voor groot tot zeer groot verval wordt, door het gebruik van riolen die uitmonden in een woelkamer in het bovenhoofd, het water goed over de natte doorsnede van de kolk verdeeld. Tijdens het vullen behouden de schepen daardoor een rustige ligging (fig. 7.130). Bij dergelijke vervalLEN is het ook voor het benedenhoofd zinnig om omloopriolen in beide kolkwanden toe te passen om de energie van de stralen uit de riolen in het benedenpand te vernietigen door de twee stromen op elkaar te laten botsen. In zeer grote zeesluizen kan door een goed gebruik van de riolen een rustige ligging van de schepen verkregen worden, bijvoorbeeld door een nivelleersysteem in de bodem via riolen (fig. 7.131) of door omloopriolen die eventueel naar de deur gericht worden. In sluizen met een zout/zoet-

scheidingssysteem volgens systeem Kreekrak (ook wel genoemd het systeem Duinkerken) is een uitgebreid rioolstelsel met schuiven aanwezig voor de aan- en afvoer van zout water naar verschillende bekens.

In tegenstelling tot deurschuiven zijn riolen met rioolschuiven duur in bouw en onderhoud. Dit komt door de riolen en het schuivenhuis (civiele deel) en door de schuiven met bewegingswerken en droogzetvoorzieningen (staal- en werktuigbouwkundige deel). De rioolschuif wordt aangebracht in het diepste deel van het riool om luchtaanzuigen achter de schuif te vermijden. Voorkomen moet worden dat cavitatie optreedt. De schuif bevindt zich in een schuifschacht, boven- en benedenstrooms hiervan zijn in het riool droogzetschachten met schotten aangebracht voor onderhoud aan de rioolschuif zelf. Tijdens onderhoud van de rioolschuif valt het halve systeem uit waardoor de nivelleertijd bijna verdubbelt. Soms is het mogelijk een schuivenhuis te vermijden door de schuif in een aparte, diepe schacht voor de eigenlijke rioolmond te plaatsen (fig. 7.132, recreatiesluis Almere).

7.5.2.2 Schuiven

Twee soorten schuiven worden toegepast: glijdschuiven of wielschuiven. De keuze van rollen of schuiven is net als bij andere bewegingswerken een afweging van de kosten in samenhang met het schuifbewegingswerk.

De meeste rioolschuiven voor eenzijdige kering worden tegenwoordig uitgevoerd als glijdschuiven. Dit komt omdat de kunststof schuifmaterialen zodanig zijn verbeterd, dat ze zeer slijtvast zijn en een lage wrijving hebben. De extra trekkracht voor het bewegingswerk ten opzichte van het gebruik van wielen is niet meer zo groot terwijl ook de mogelijkheden met en de kennis van hydraulische aandrijvingen sterk verbeterd zijn. De combinatie van een glijdschuif met een hydraulische cilinder komt steeds eerder in aanmerking. Het grote voordeel van glijdschuiven is de eenvoudige constructie en het ontbreken van draaiende delen onder water. Geleidingen van schuiven worden volgens hetzelfde principe opgebouwd als die van de hefdeuren; zie de betreffende paragraaf.

De schuif in het riool van de schutsluis Almere is een glijdschuif die niet veel afwijkt van de gebruikelijke deurschuiven. Fig. 7.135 geeft die schuif weer. Het verval is hier 5 à 6 m en daardoor vergelijkbaar met een deurschuif. In fig. 7.134 is de glijdschuif voor het riool in het bovenhoofd van sluis Panheel getekend.

Bij zeer grote vervallen worden soms wielschuiven toegepast. De rioolschuiven voor eenzijdige kering in de sluizen te Maasbracht (fig. 7.133) zijn uitgevoerd met wielen. Het verval is voor Nederlandse begrippen zeer groot, ongeveer 12 m. De schuif blijft in kerende stand op de wielen rusten. De afdichting wordt verzorgd door een rubber profiel aan de boven- en zijkanten van de schuif en een houten onderwand. De lip van het profiel wordt door de waterdruk aangedrukt. Het profiel zelf is vanwege de grote belasting rondom door een stalen profiel ondersteund.

Verder kunnen wielschuiven worden toegepast wanneer weinig of geen lekkage is toegestaan en een aan-/afdrukkinrichting toegepast wordt. Zo'n aan-/afdrukkinrichting is gemakkelijker met wielassen te combineren dan met een andersoortige constructie.

Figuur 7.136 geeft een voorbeeld van een tweezijdig kerende schuif (zeesluis Terneuzen). Het betreft een wielschuif die goed afdicht tegen lekverlies zonder dat een aandrukkinrichting nodig is. De schuif heeft daartoe een tapse vorm met twee beplatingen. De afdichting is flexibel en bevindt zich aan beide zijden van de schuif tegen de tapse eindschotten. Als de schuif, in horizontale zin onbelast, op de drempel zakt, worden alle afdichtingen, ook voor en achter de schuif enigszins ingedrukt. De wielen zijn dan aan beide zijden ongeveer 5 mm vrij van de rails. Als daarna de druk op de schuif stijgt, dicht de schuif van het begin af reeds goed af. De afdichting kan niet verder ingedrukt worden dan de speling die de wielen vanuit de middenstand tussen de rails hebben. De wielen nemen daarna de belasting van de waterdruk op. Ze moeten dat ook bij het heffen onder verval.

De schuif is tussen de beplatingen geperforeerd om ook water via de schacht door de schuif te laten stromen naar de onderrand van de schuif om hier verder weg te stromen. Dit is bedoeld om er zeker van te zijn dat de stroming onder de schuif aan de bovenstroomse zijde van de onderrand loslaat en niet meer aan gaat liggen aan de benedenstroomse zijde om mogelijke trillingen van de schuif te voorkomen.

7.5.2.3 Bewegingswerken

Soorten bewegingswerken

Bewegingswerken voor rioolschuiven zijn in principe hetzelfde als die voor de deurschuiven: een hydraulische of een spindel-aandrijving. Er is geen verschil aanwezig tussen het bewegingswerk voor schuiven met eenzijdige of tweezijdige kering. De hydraulische aandrijving is geschikt voor hoge schuiven met een lange slag; de spindel-aandrijving voor lage schuiven met een korte slag. De hefhoogte komt overeen met de hoogte van het riool en ligt bijvoorbeeld tussen 2,5 en 4 m, voor een recreatiesluis is dit veel minder.

Krachten op bewegingswerken

De trekkracht op de schuif om te heffen is naast het eigen gewicht en de wrijving(en) ook afhankelijk van de grootte van de zuigkracht van het onder de schuif door stromende water. Deze is afhankelijk van de vorm van de onderzijde van de schuif, de snelheid van het water en de hefhoogte van de schuif.

De grootte van de zuigkracht is alleen te beïnvloeden door de onderzijde optimaal vorm te geven. Dit is een scherpe onderrand met een zo smal mogelijk draagvlak op de drempel en een constructie die naar boven toe onder een hoek van 60° verloopt (fig. 7.142).

Bewegingswerken voor wielschuiven moeten de schuiven kunnen heffen; de schuiven zakken, ook onder de maximale waterdruk, door het eigen gewicht tot op de drempel. De energie die vrijkomt bij dat zakken, moet door de aandrijfbron opgenomen worden. Het bewegingswerk moet zo zijn ingericht dat de schuif tot op de drempel kan komen. Het laatste deel van de beweging is een (kleine) vrije val, een veerweg of, zoals bij een dubbelwerkende cilinder, een drukschakeling in combinatie met de meting van de afgelegde weg van de schuif. Dit laatste om te voorkomen dat de neergaande beweging te vroeg zou kunnen stoppen.

Bewegingswerken voor glijdschuiven moeten zowel trekken als duwen. Het laatste alleen als bij het zakken het gewicht van de schuif onvoldoende is om de wrijvingskrachten te overwinnen.

Opstellingen onder dekzerkniveau

De eisen aan de opstelling van de bewegingswerken zijn vaak tegenstrijdig. Aan de ene kant moeten de bewegingswerken zo hoog boven het kanaalpeil of het maximum schutpeil geplaatst worden omdat inspectie en onderhoud uitgevoerd kunnen worden zonder het riool droog te moeten zetten. Aan de andere kant is het vaak van belang om vrij uitzicht over het sluisterrein en de voorhavens te hebben. Plaatselijke verhogingen zijn niet erg gewenst. De bewegingswerken moeten dan onder het niveau van het sluisterrein opgesteld worden.

Bij sluizen in een kanaal is er maar weinig hoogte beschikbaar omdat het verschil in de kerende hoogte van de sluis en de kanaalstand meestal vrij gering is. Bij sluizen in getijdegebieden is in hoogterichting meer ruimte beschikbaar omdat het maximum schutpeil veelal lager is dan de kerende hoogte. Verschillende onderdelen komen dan, zij het incidenteel, tijdelijk onder water.

Hydraulische bewegingswerken kunnen op twee manieren vlak onder het dekzerkniveau geplaatst worden. Dat kan door de cilinder horizontaal of verticaal te plaatsen:

- *Horizontale cilinder*
Een voorbeeld van een horizontaal geplaatste cilinder is te zien in fig. 7.136 (details in fig. 7.137) waarbij de cilinder via een hefboom verbonden is met de trekstang van de schuif. De horizontaal geplaatste cilinder heeft als voordelen dat de kelderruimte klein is, het hydraulisch systeem eenvoudig is en de cilinder een kleine slag heeft en altijd goed bereikbaar is. De nadelen zijn dat de koppeling tussen schuif en cilinder een zware constructie is met veel draaipunten en dat een constante hefsnelheid een continue snelheidsregeling van de aandrijfbron vergt.
- *Verticale cilinder*
Een voorbeeld van een verticaal geplaatste cilinder geeft fig. 7.138. Deze cilinder is een eenvoudige en goedkope oplossing die weinig ruimte inneemt. Maar deze heeft als nadelen dat de cilinder alleen in geheven stand te inspecteren is bij sluizen met weinig verschil in kerende hoogte en

kanaalstand of de cilinder is slecht bereikbaar bij een hoge waterstand (getijdegebied) terwijl voor het verwisselen van de schuif het bewegingswerk geheel verwijderd moet worden.

De voorkeur is duidelijk afhankelijk van de te stellen eisen. De verticale cilinder is een goedkope oplossing waarvan de nadelen geaccepteerd worden. De horizontale opstelling biedt betere mogelijkheden voor het onderhoud.

Opstellingen boven dekzerkniveau

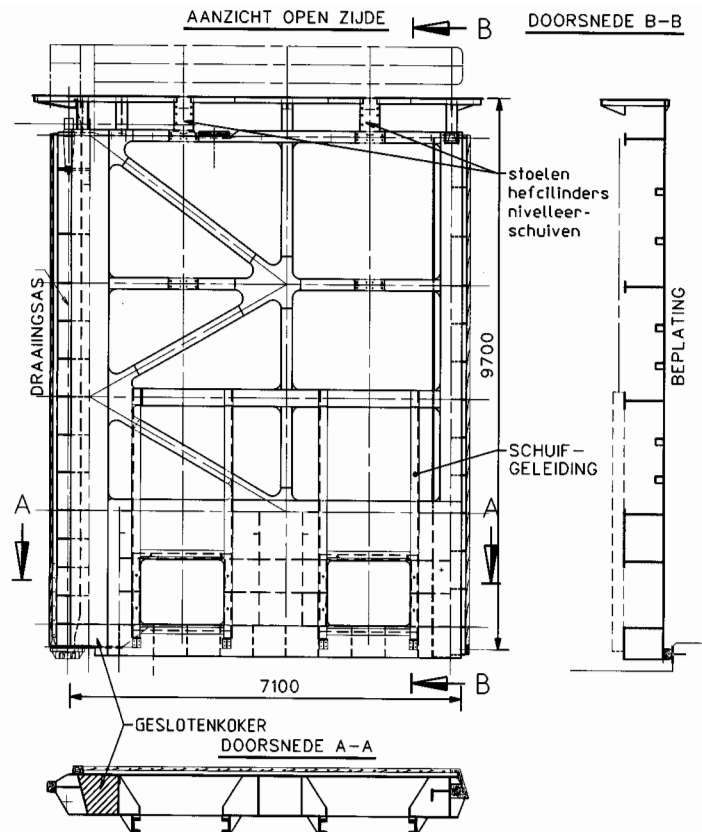
Soms wordt geaccepteerd dat het bewegingswerk boven het sluisniveau mag uitsteken. Dat is het geval wanneer de hefhoogte van een schuif erg groot en/of het riool niet diep is gelegen. De verticale cilinder kan dan op verschillende manieren bevestigd worden, hetzij opgehangen aan het dak van een gebouw als dat aanwezig is, hetzij aan een juk (fig. 7.140 en 7.141).

In fig. 7.141 is tevens aangegeven dat het mogelijk is de rioolschuif te verwisselen zonder het bewegingswerk te demonteren. De schacht is daartoe boven de geheven stand verbreed. De schuif wordt door de cilinder naar de vereiste hoogte geheven. De schuif wordt daarna door een mobiel hefwerk overgenomen en door een luik in het dak afgevoerd.

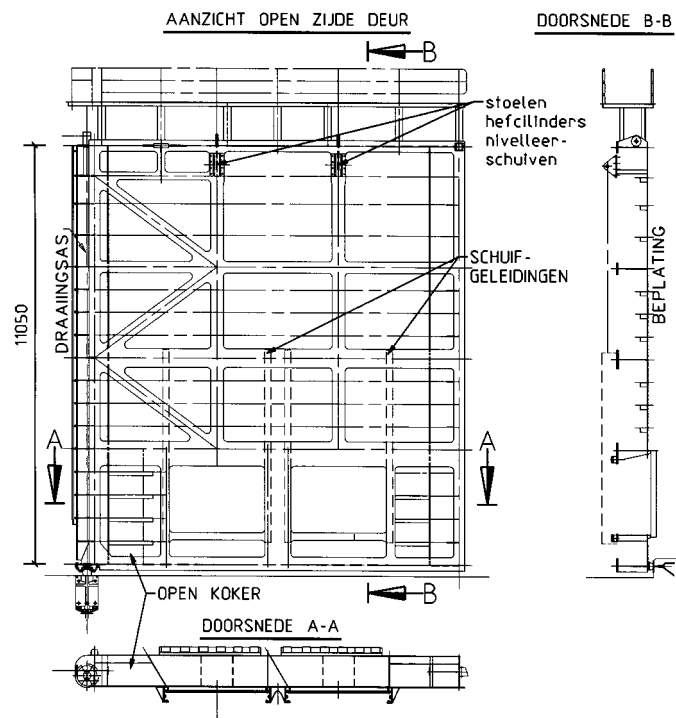
Literatuur:

- [7.1] Rijkswaterstaat, Directie Bruggen, "Werktuigbouw in de Kreekraksluizen"
- [7.2] Rijkswaterstaat, Directie Bruggen, "Bewegingswerken Koopvaardersschutsluis"
- [7.3] Rijkswaterstaat, Directie Bruggen, "Ontwerpnota Staal en Werktuigbouw sluis Nieuwe Statenzijl"
- [7.4] Rijkswaterstaat, Directie Bruggen, "Toegepaste vergrendelingen van sluisdeuren"
- [7.5] Rijkswaterstaat, Directie Bruggen, "Geleiding en afdichting van roldeuren"
- [7.6] Rijkswaterstaat, Directie Bruggen "Ontwerpgegevens recreatiesluis Lingehaven Gorinchem"
- [7.7] Rijkswaterstaat, Bouwdienst, "Ontwerpnota Nieuwe Oranjesluis", 1993
- [7.8] Rijkswaterstaat, Bouwdienst, "Ijsbestrijding bij Kunstwerken", IJK-N-95.018, mei 1995
- [7.9] Rijkswaterstaat, Bouwdienst, "Voorontwerpnota Naviduct Krabbersgat te Enkhuizen", nov. 1996
- [7.10] PIANC, "Final Report of the International Commission for the Study of Locks", bulletin No. 55, 1986
- [7.11] G.J.Arends: "Sluizen en Stuwen", Bouwtechniek in Nederland, Delftse Universitaire Pers, 1994
- [7.12] Josephus Jitta, J.P., "Sluizen en andere waterbouwkundige kunstwerken in en langs kanalen", Bohn, Haarlem, 1947
- [7.13] Postema, J.A., e.a., "Sluizen, kanalen en havens", Kosmos 1950
- [7.14] Vrijburcht, A., "Standaardisatie van vul- en ledigingsopeningen", Waterloopkundig Laboratorium, Q255-VI, januari 1989
- [7.15] Vrijburcht, A., "Krachten op puntdeuren en enkele draaideuren", Waterloopkundig Laboratorium, Q1442, mei 1994

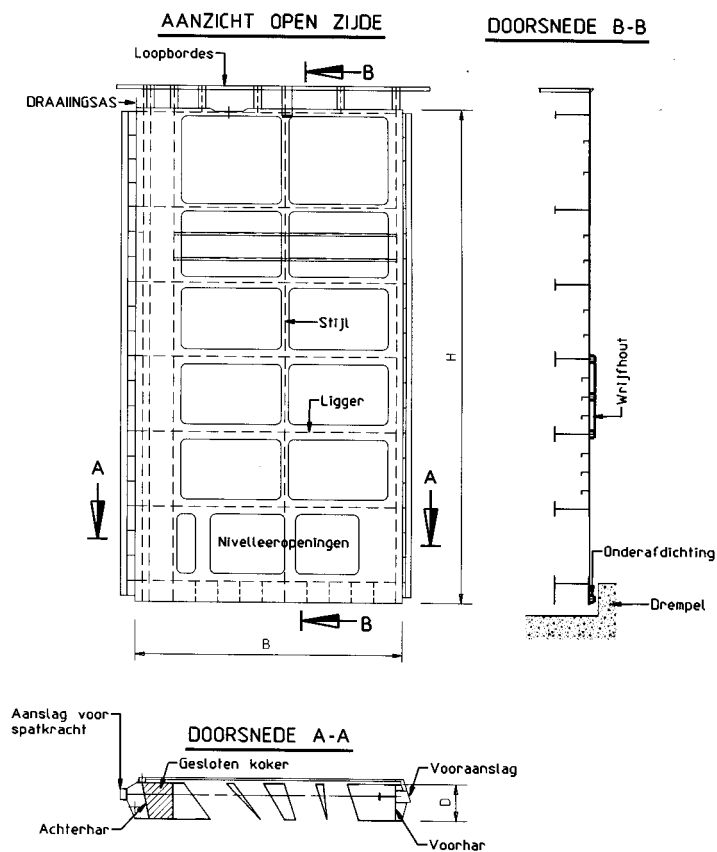
Figuren en tabellen



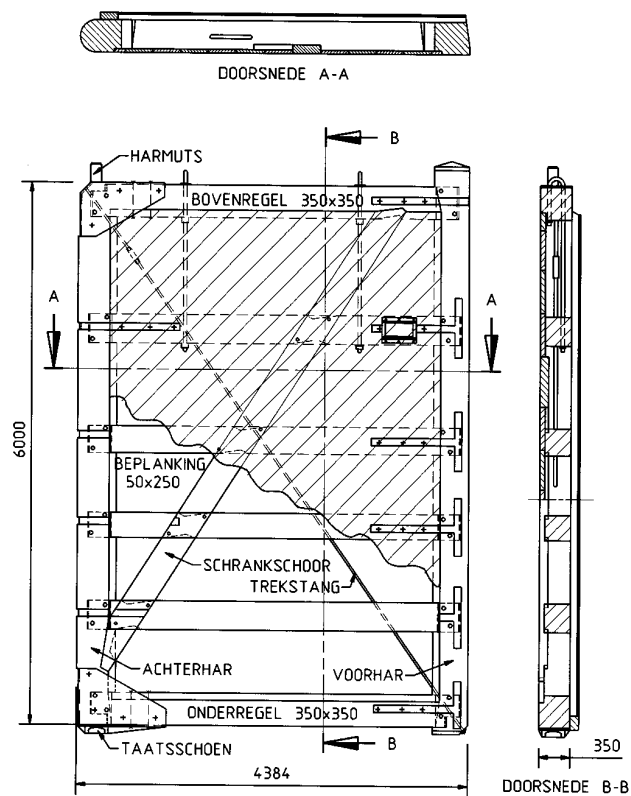
Figuur 7.1 Overzicht stalen puntdeur met gesloten koker en diagonaalverbanden



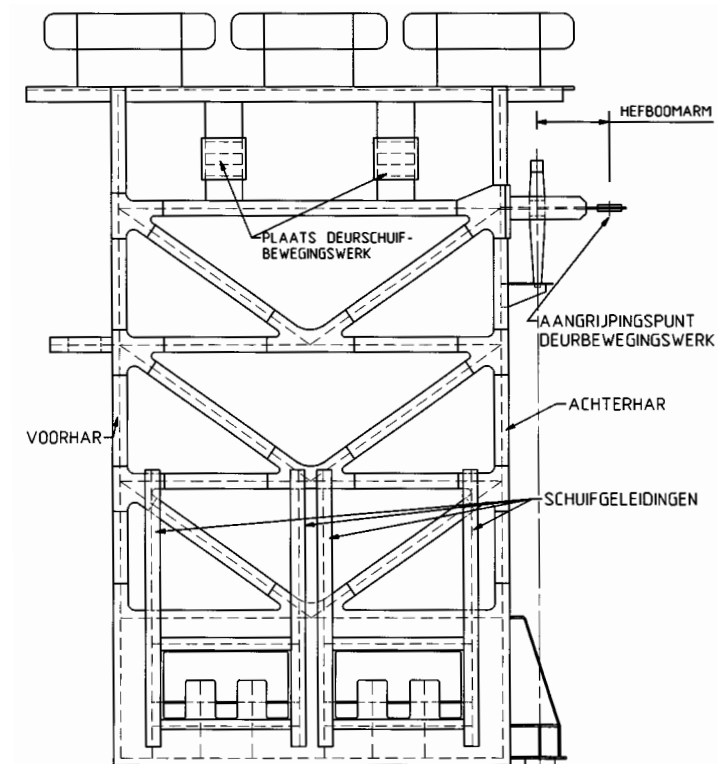
Figuur 7.2 Overzicht stalen puntdeur met open koker en diagonaalverbanden



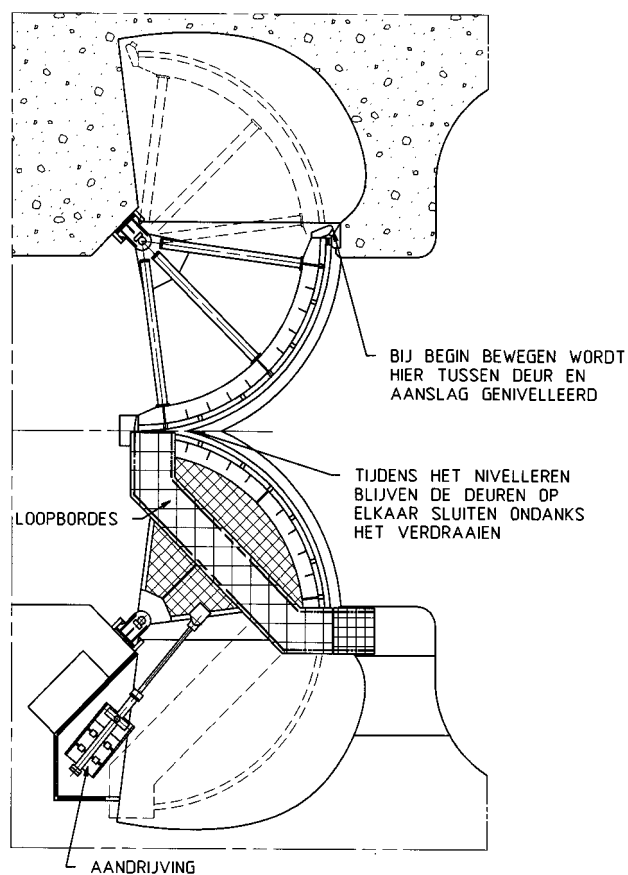
Figuur 7.3 Overzicht stalen puntdeur



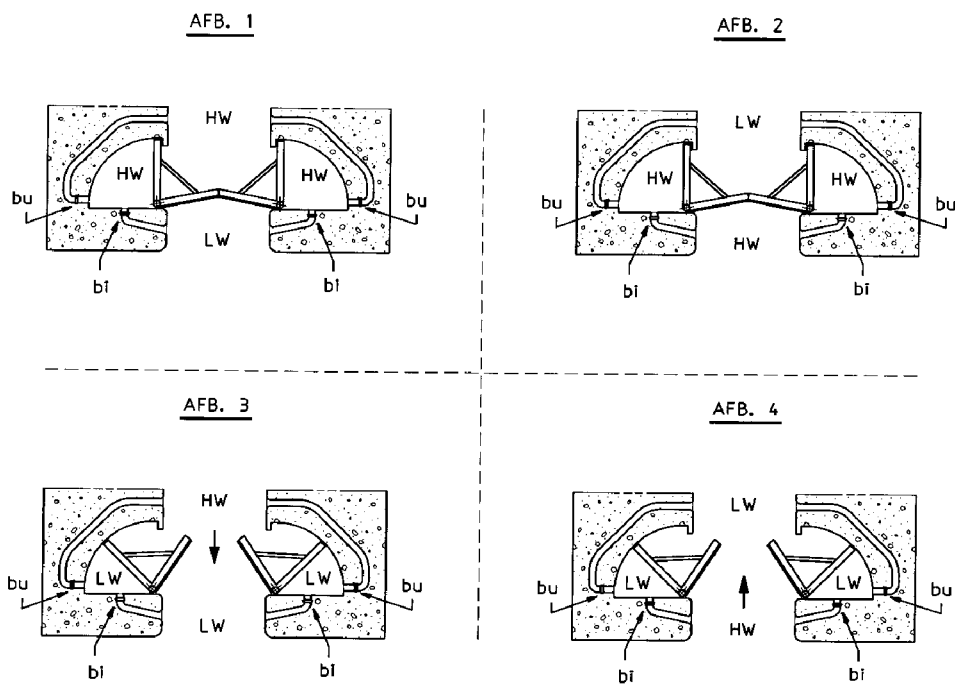
Figuur 7.4 Overzicht houten puntdeur



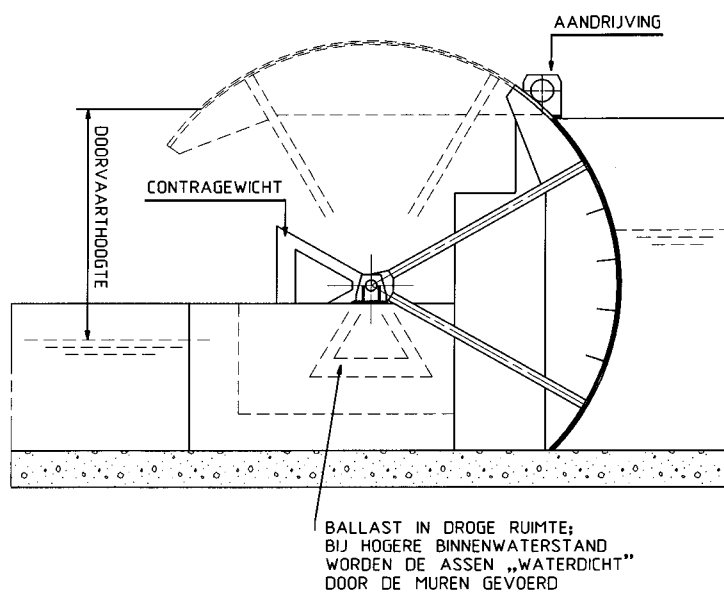
Figuur 7.5 Overzicht enkele draaideur (kopdeur van Fig. 7.57)



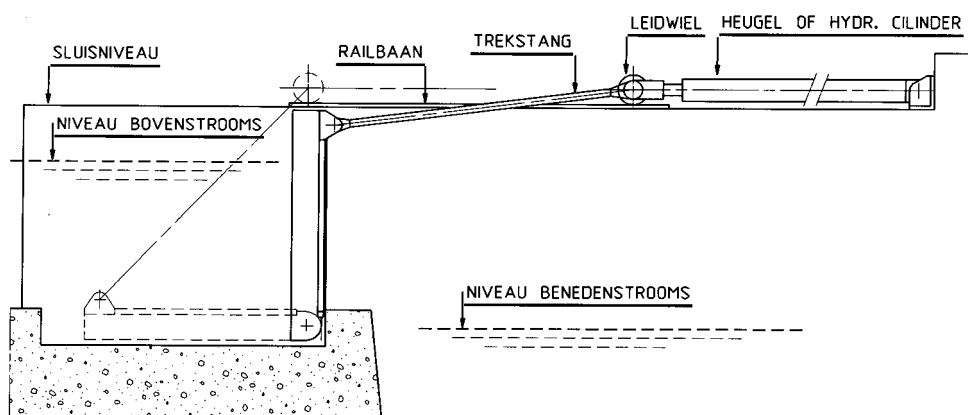
Figuur 7.6 Overzicht segmentdeuren met verticale as



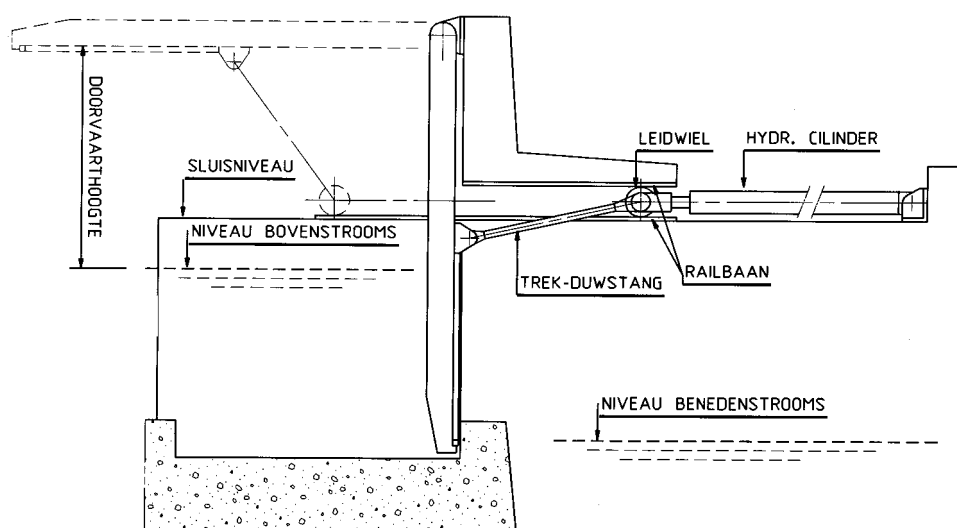
Figuur 7.7 Principe werking van waaierdeuren



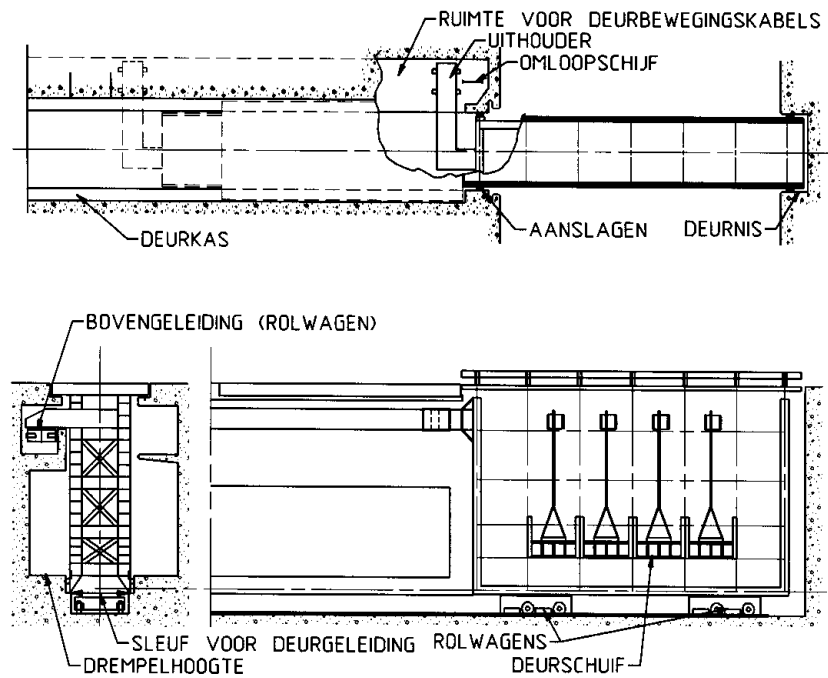
Figuur 7.8 Overzicht segmentdeur met horizontale as



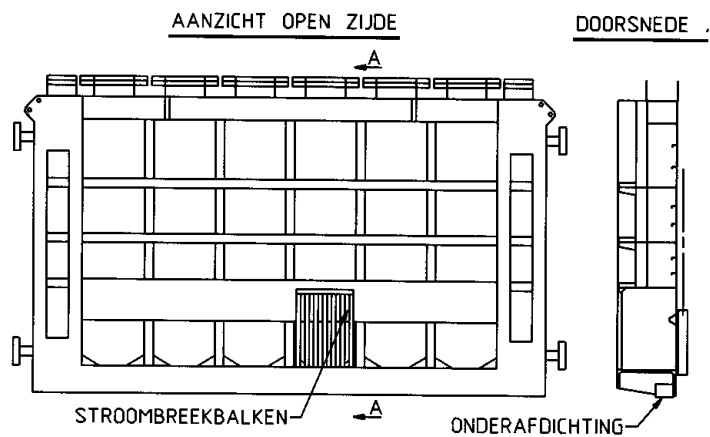
Figuur 7.9 Overzicht klepdeur met draaiingsas onder water



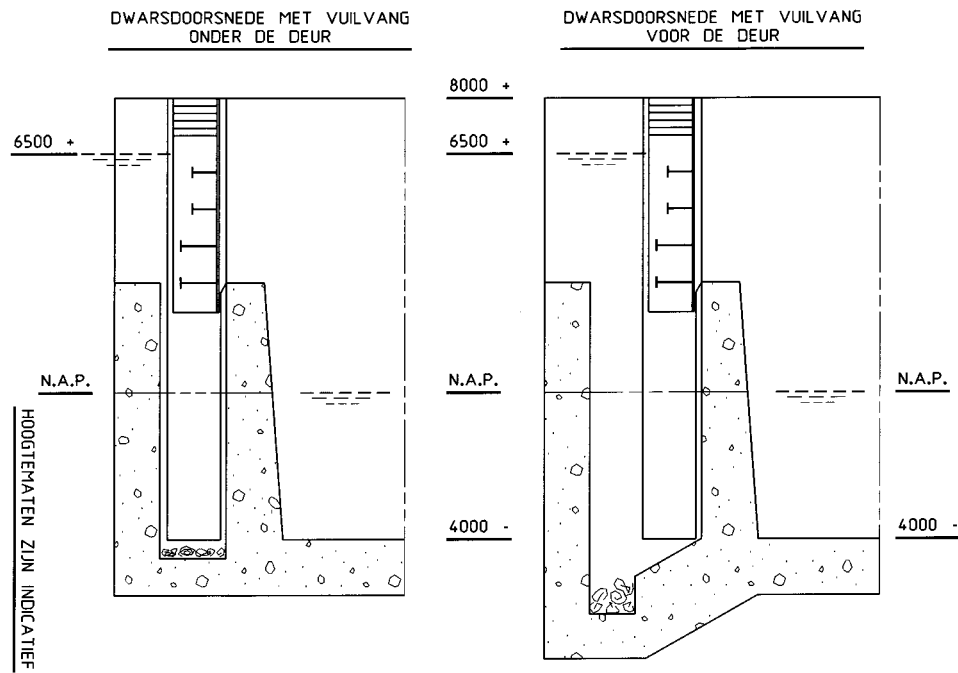
Figuur 7.10 Overzicht klepdeur met draaiingsas boven water



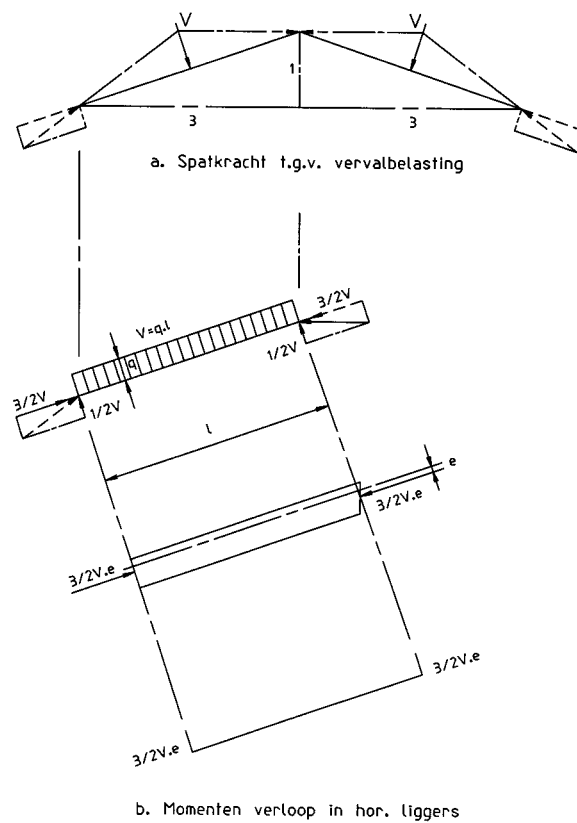
Figuur 7.11 Overzicht roldeur met nivelleeropeningen



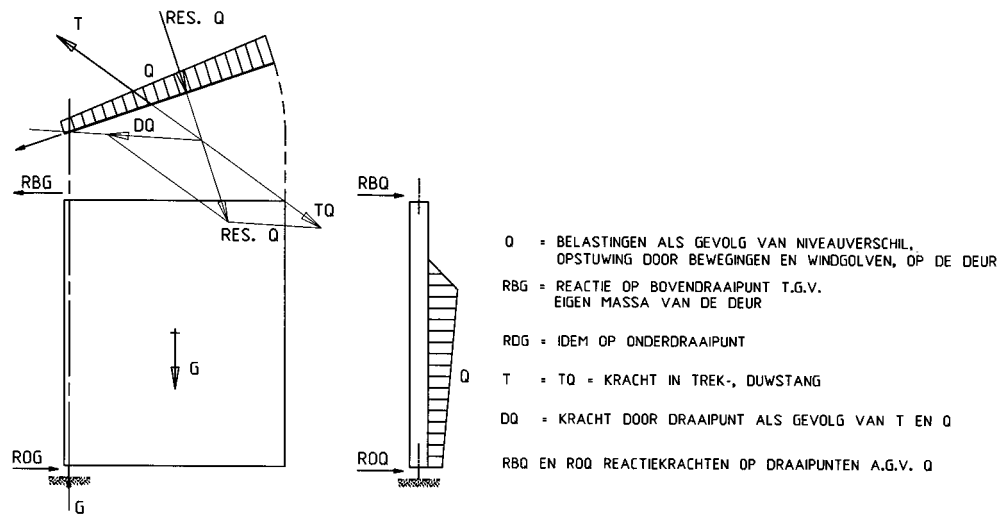
Figuur 7.12 Overzicht hefdeur met nivelleeropeningen



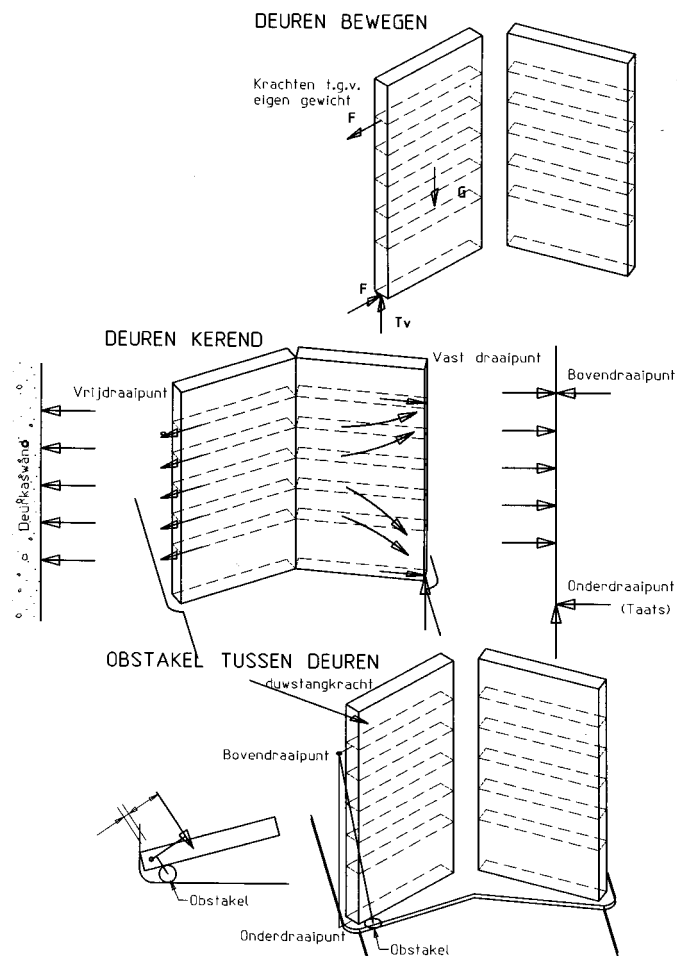
Figuur 7.13 Overzicht zakdeuren in een bovenhoofd



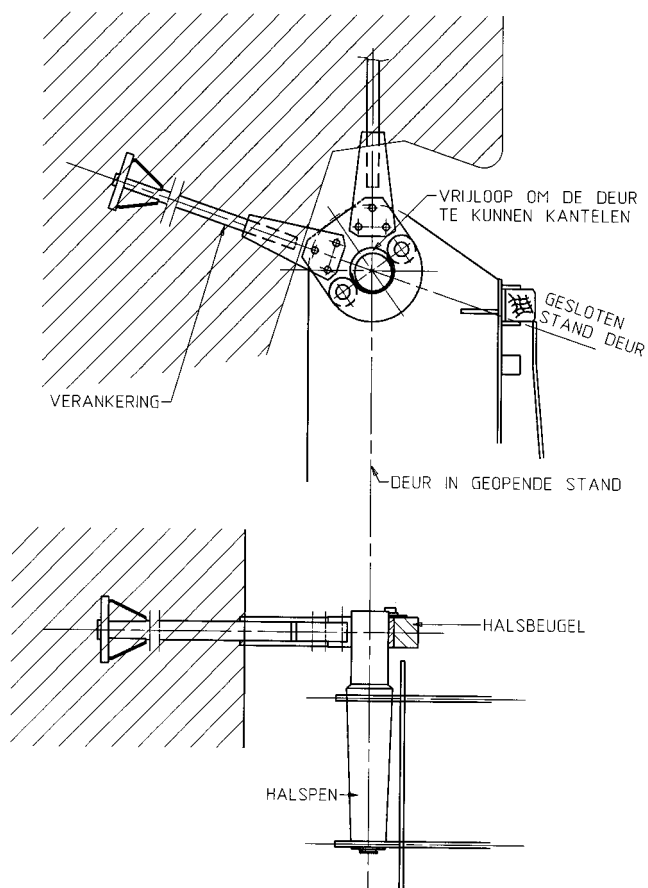
Figuur 7.14 Krachten op kerende puntdeuren



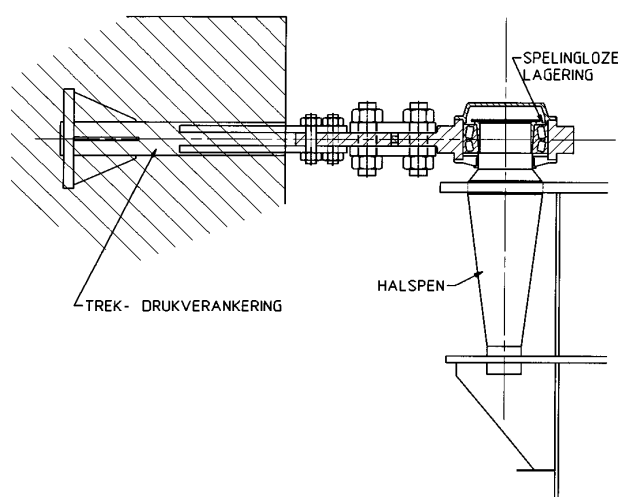
Figuur 7.15 Krachten op bewegende puntdeur



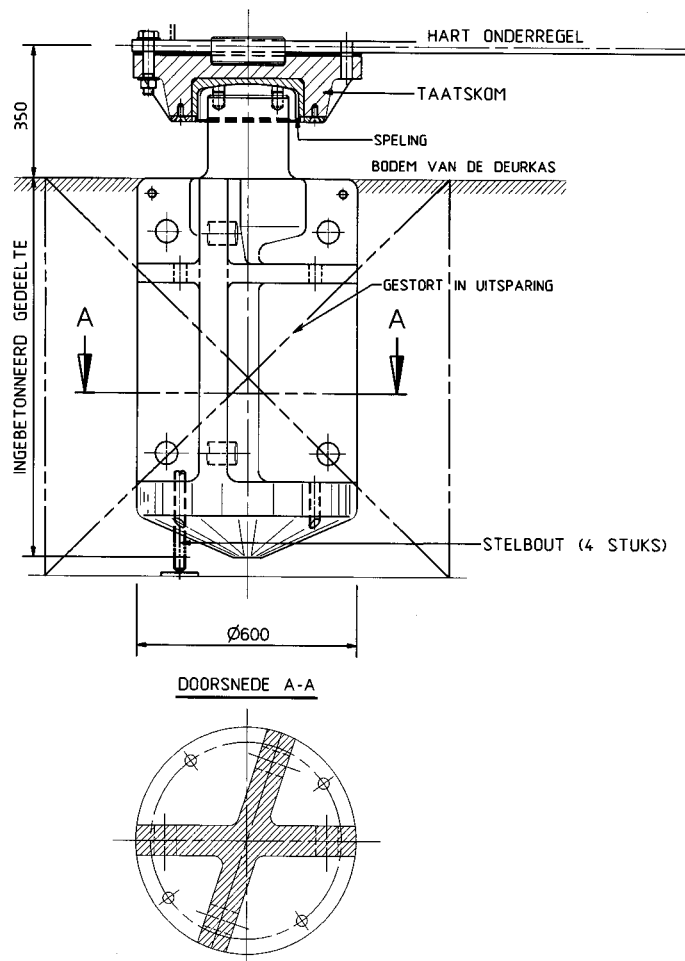
Figuur 7.16 Schema belastingen op puntdeuren



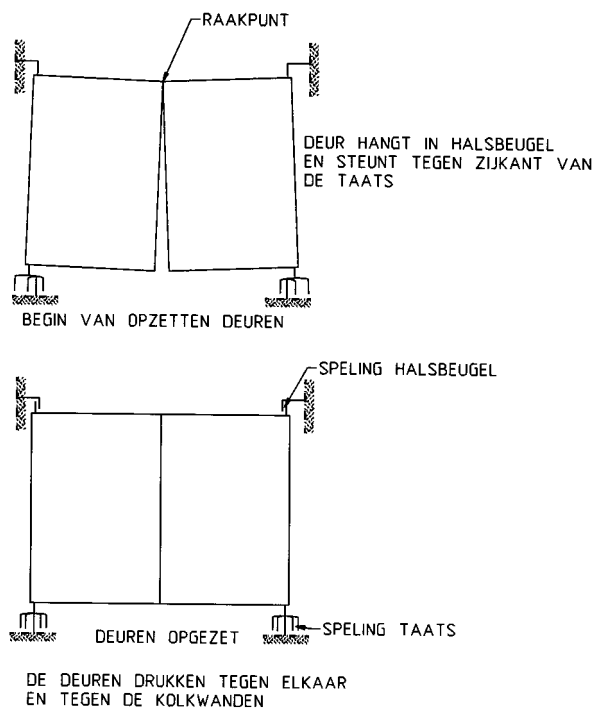
Figuur 7.17 Halspen en halsbeugel van een puntdeur



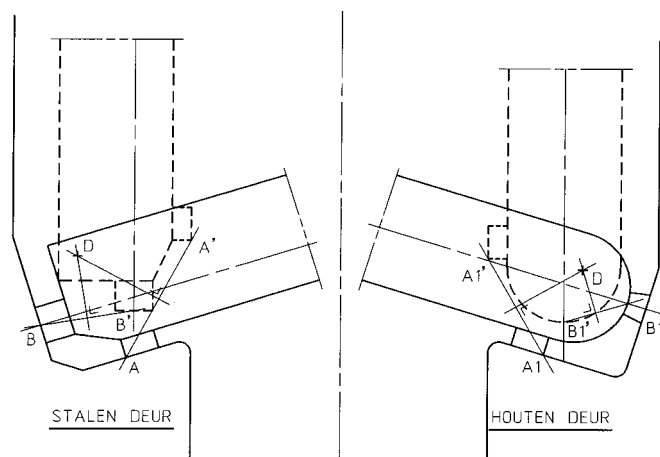
Figuur 7.18 Spelingsvrij bovendraaipunt van een puntdeur



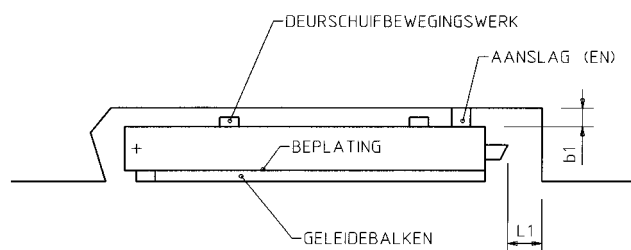
Figuur 7.19 Taats met taatskom van een puntdeur



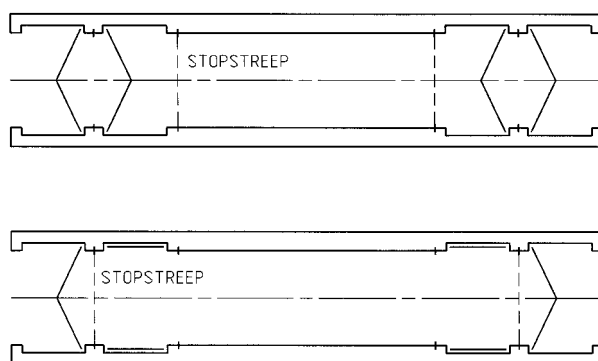
Figuur 7.20 Kantelen van puntdeuren



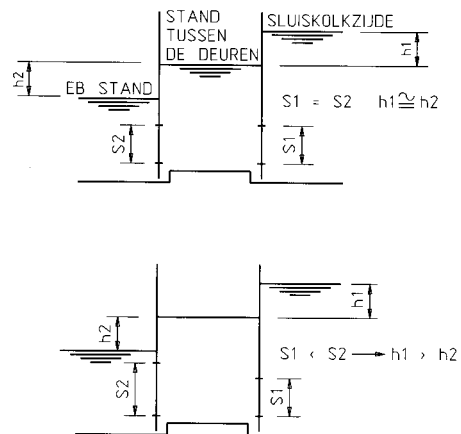
Figuur 7.21 Construeren van het vrijdraaipunt bij puntdeuren



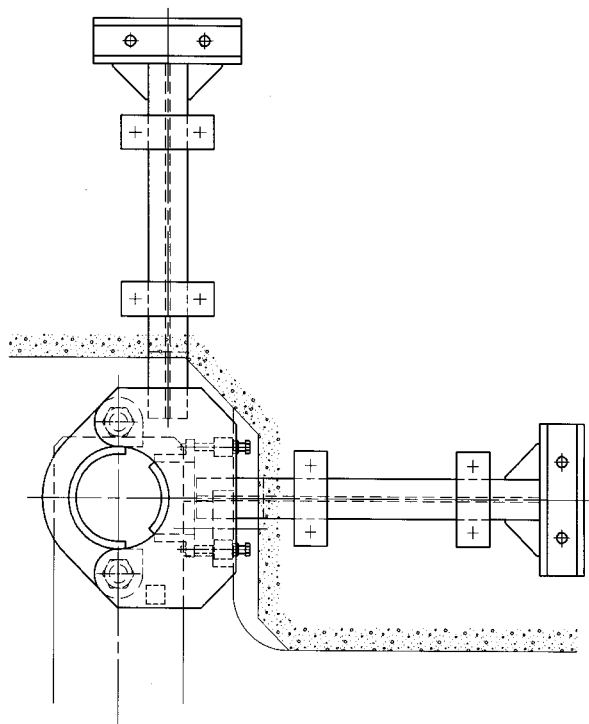
Figuur 7.22 Opstelling puntdeur in deurkas



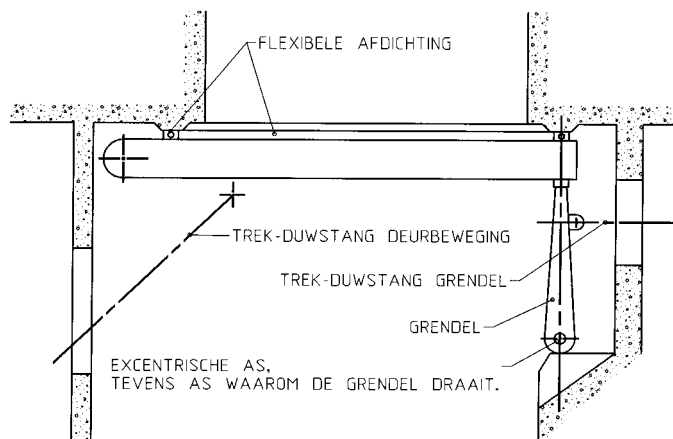
Figuur 7.23 Nuttige kolklenge tussen de stopstrepen bij dubbel puntdeurstel



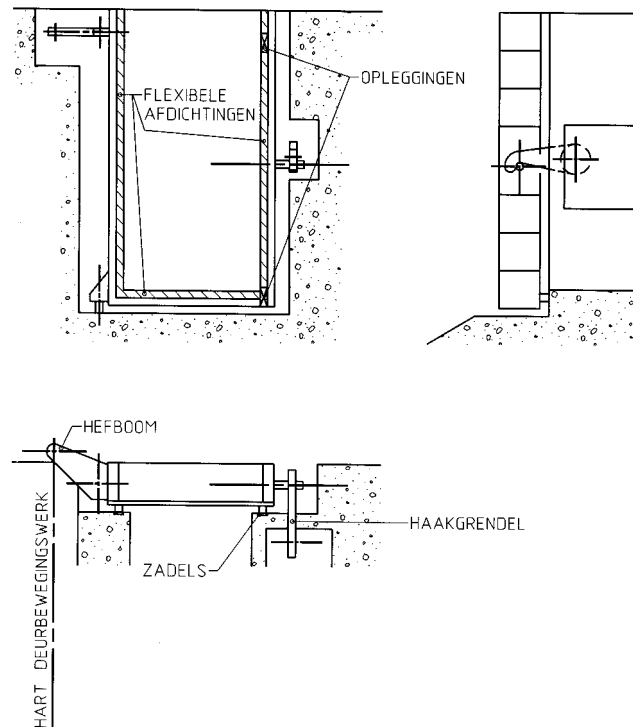
Figuur 7.24 Waterstanden tussen eb- en vloeddeur bij dubbel puntdeurstel



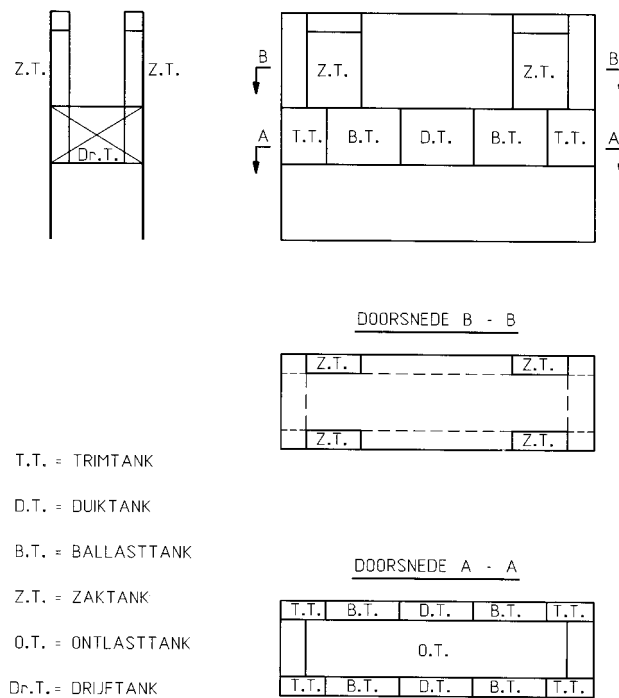
Figuur 7.25 Halsbeugel van een draaideur



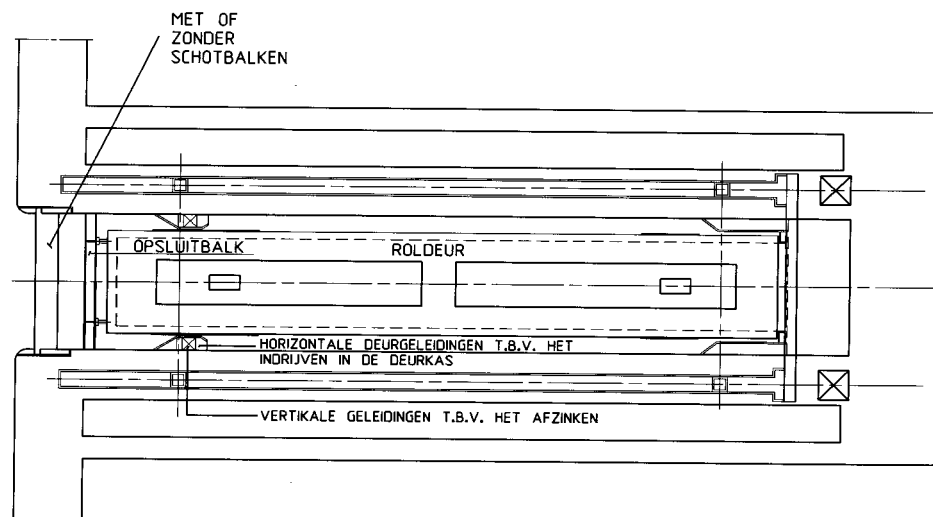
Figuur 7.26 Schema draaideur met bewegingswerk en raamgrendel



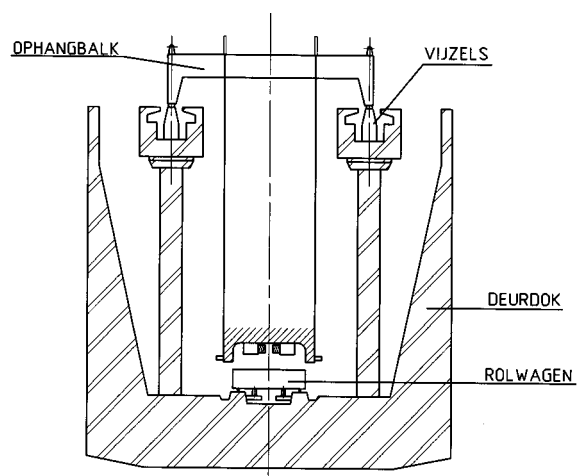
Figuur 7.27 Schema draaideur met bewegingswerk en haargrendel



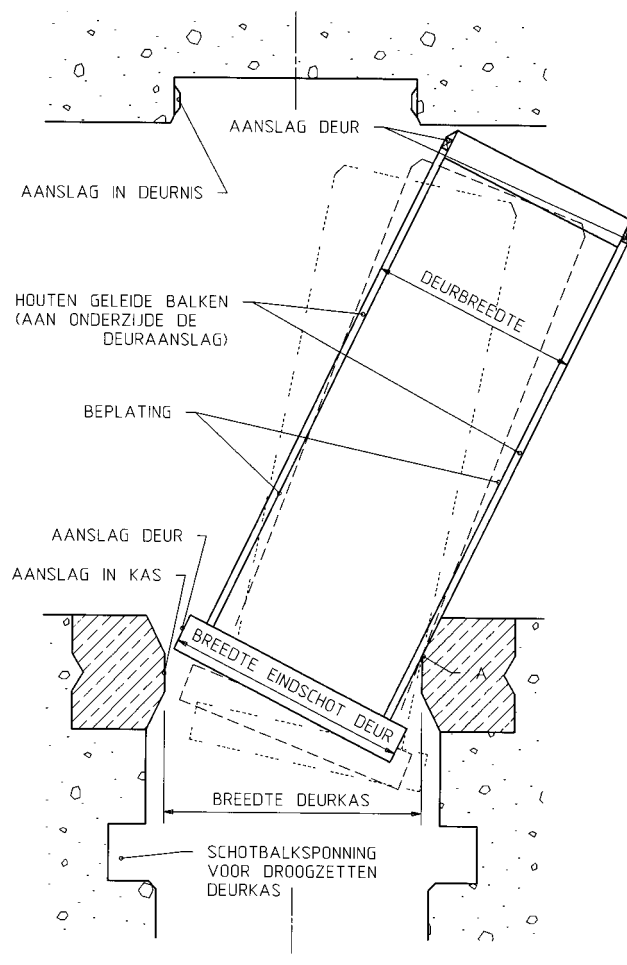
Figuur 7.28 Schema drijfkisten voor drijvend aan te voeren roldeur



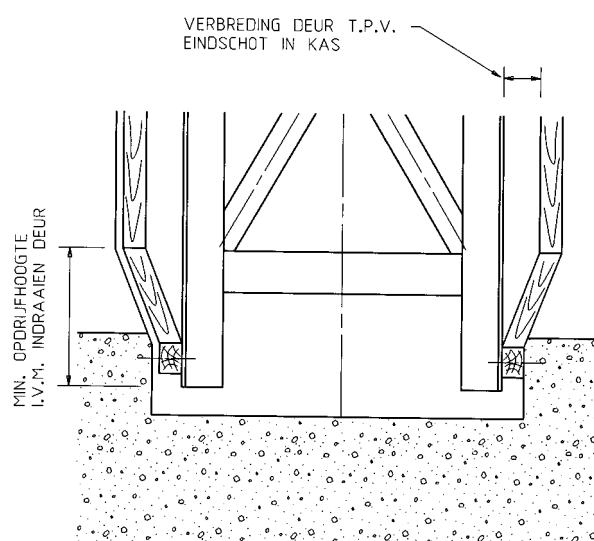
Figuur 7.29 Roldeur drijvend in afgesloten deurdok



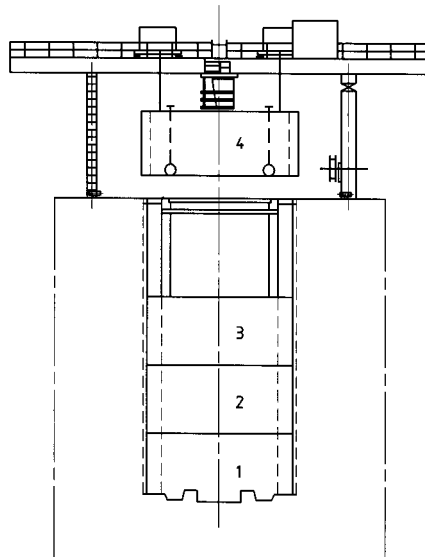
Figuur 7.30 Roldeur opgehangen aan twee balken in deurdok



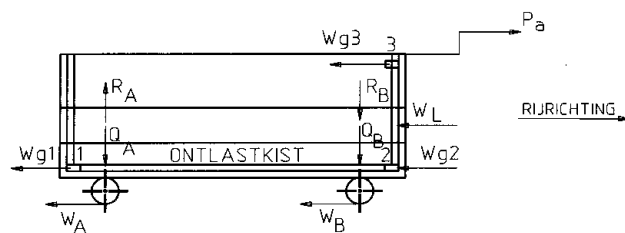
Figuur 7.31 Indrijven van drijvend aangevoerde roldeur



Figuur 7.32 Verloop eindschot met aanslagen bij onderkant roldeur



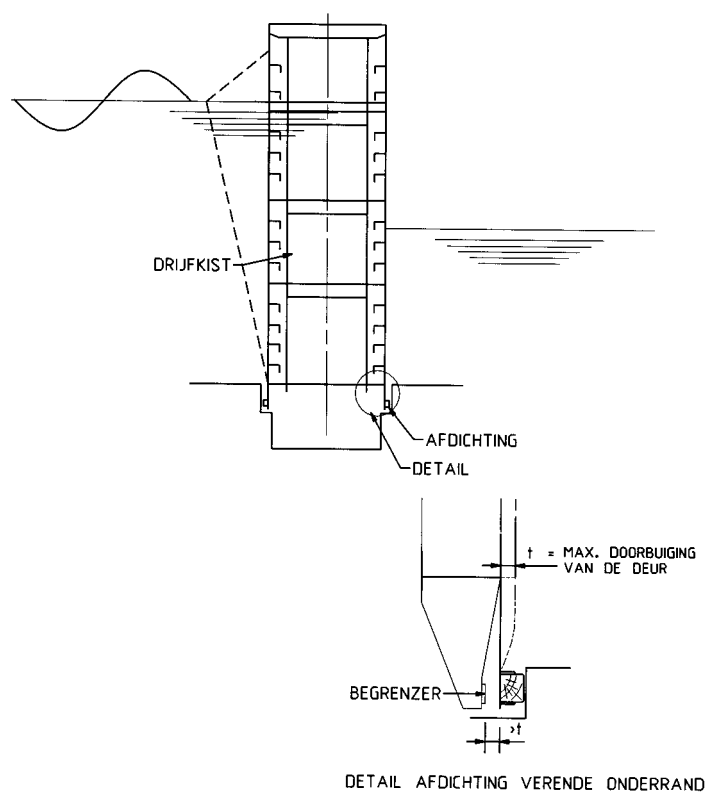
Figuur 7.33 Plaatsen van schotbalken met een loopkraan in roldeurkas



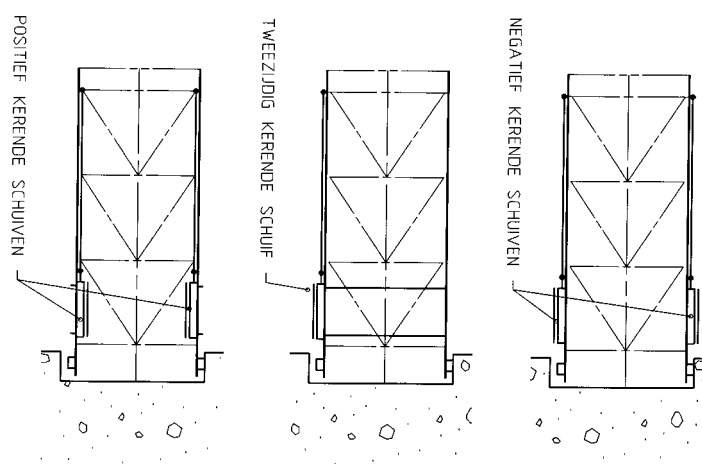
BELASTINGEN OP
VOORSTE ROLWAGEN

BELASTINGEN OP
ACHTERSTE ROLWAGEN

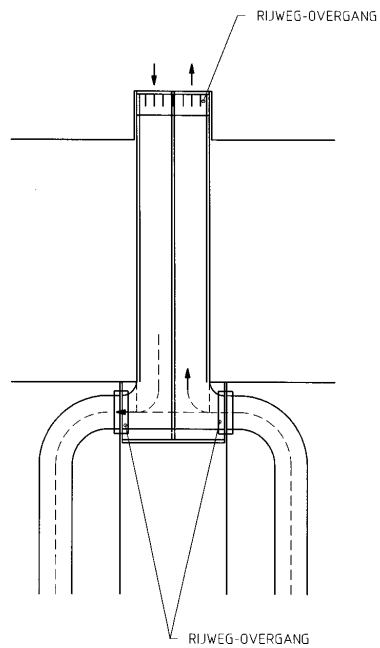
Figuur 7.34 Verticale belasting op rolwagens tijdens deurbeweging als gevolg van trekkracht bewegingswerk



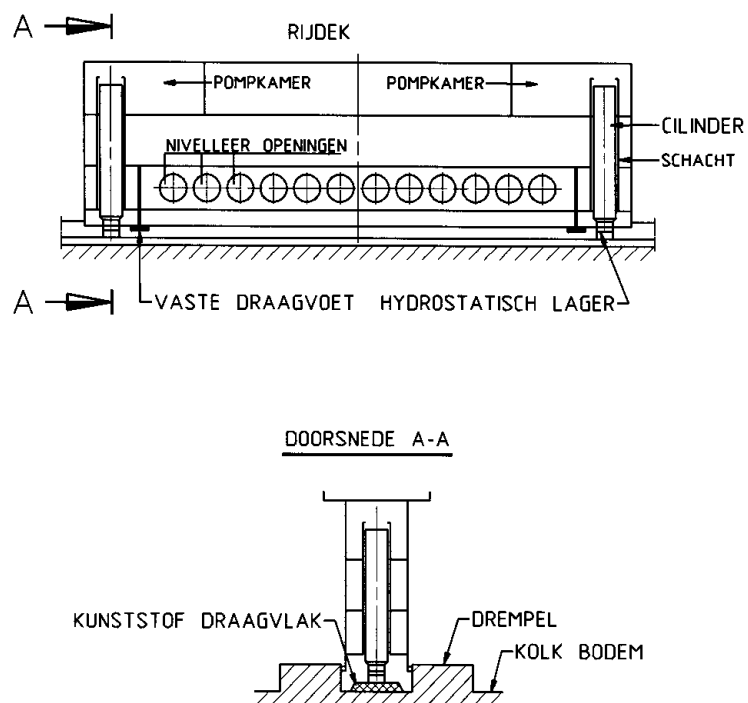
Figuur 7.35 Dwarsdoorsnede van roldeur met een verende onderrand



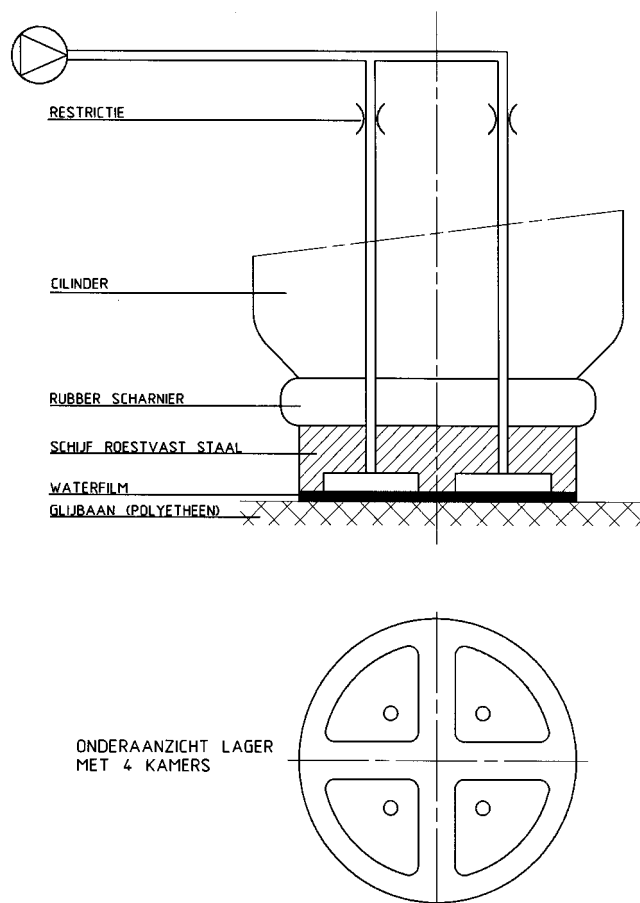
Figuur 7.36 Nivelleerschuiwen in een roldeur



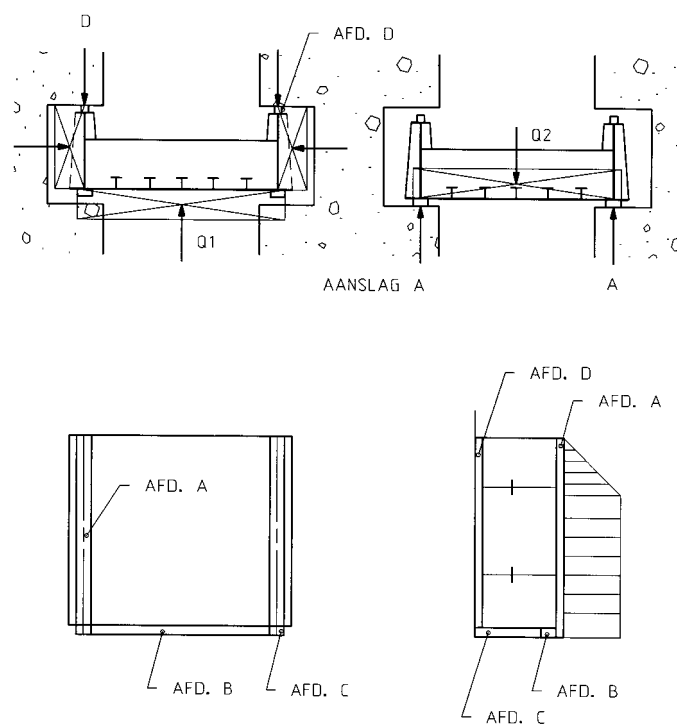
Figuur 7.37 Wegverkeer over een roldeur



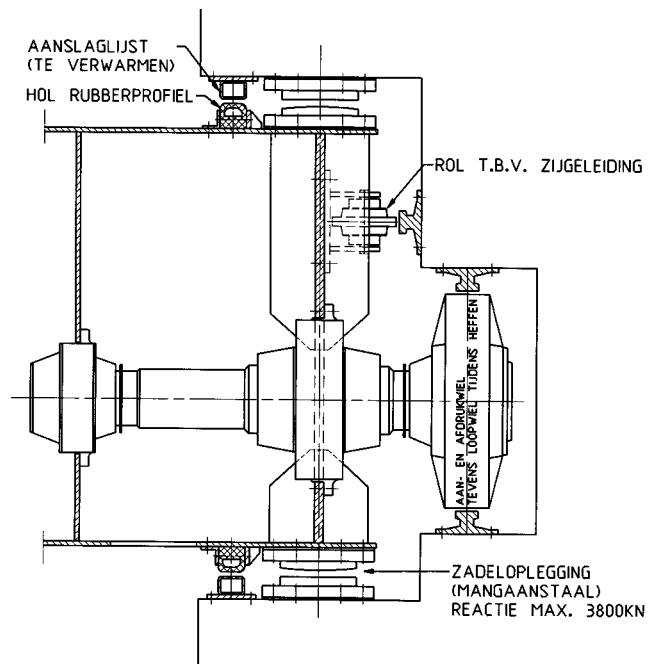
Figuur 7.38 Schema van hydro-installatie in een glijdeur



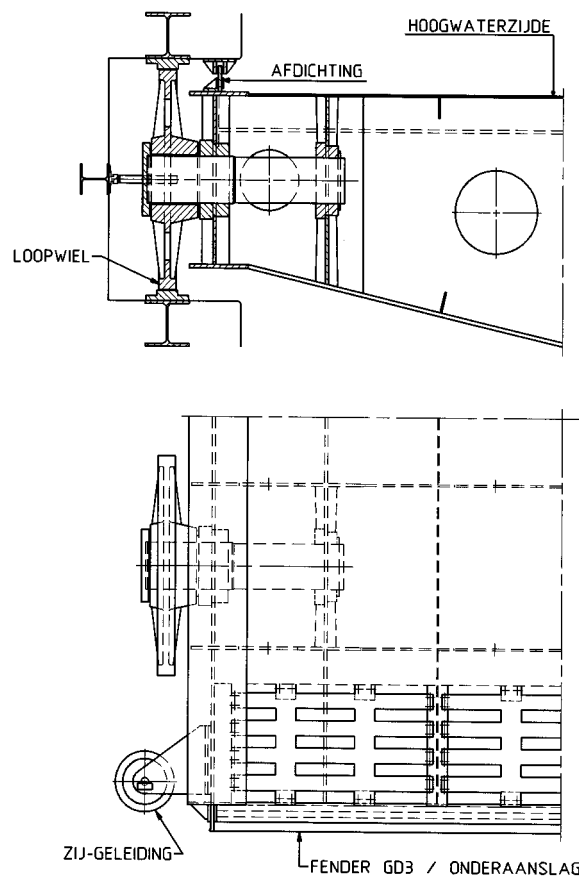
Figuur 7.39 Hydrostatisch lager van glijdeur



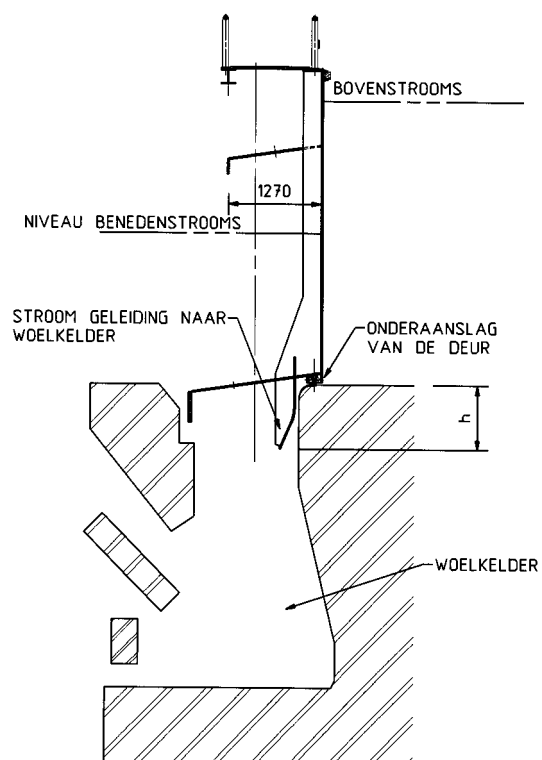
Figuur 7.40 Aanslagen c.q. afdichtingen op een tweezijdig kerende hefdeur



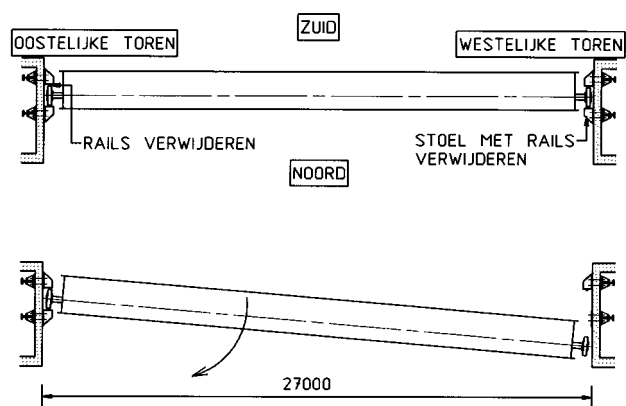
Figuur 7.41 Ondersteuning door middel van zadels en tweezijdig werkende afdrukinrichting voor een hefdeur



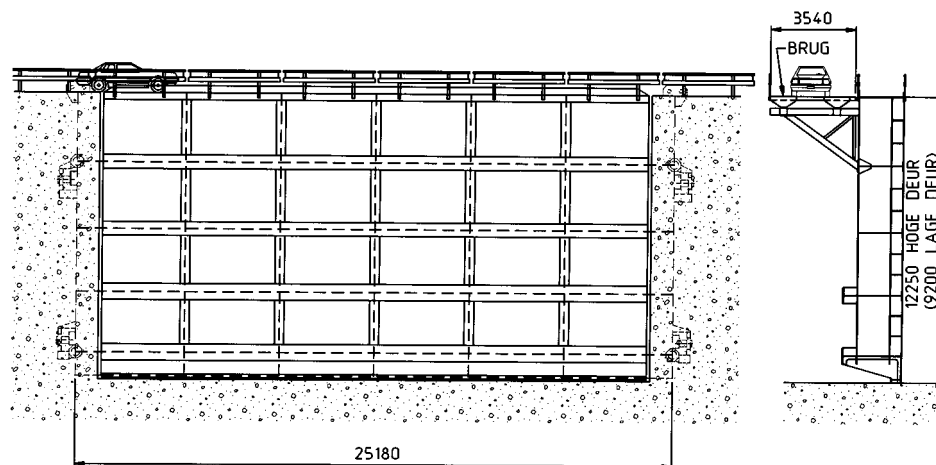
Figuur 7.42 Ondersteuning op de rollende geleiding van een hefdeur



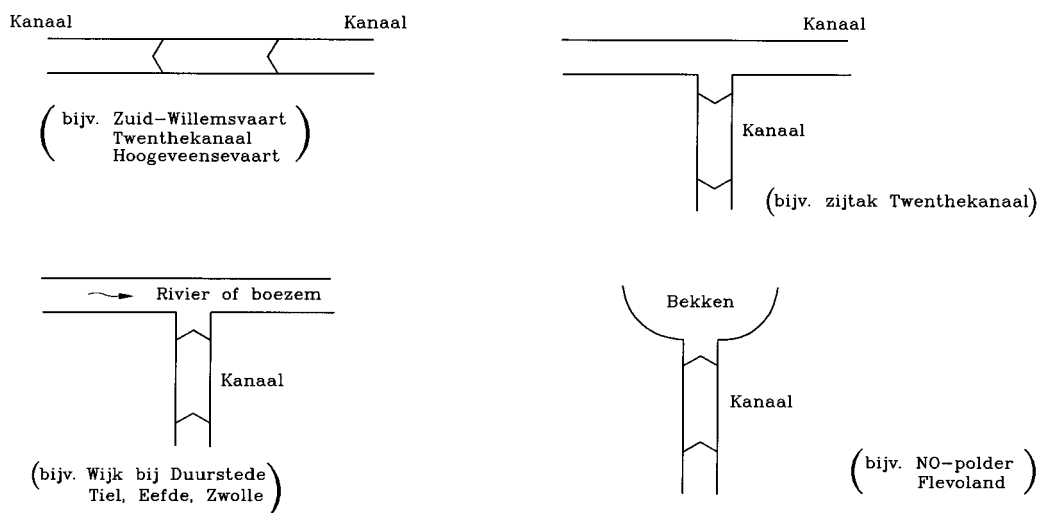
Figuur 7.43 Woelkelder voor hefdeur



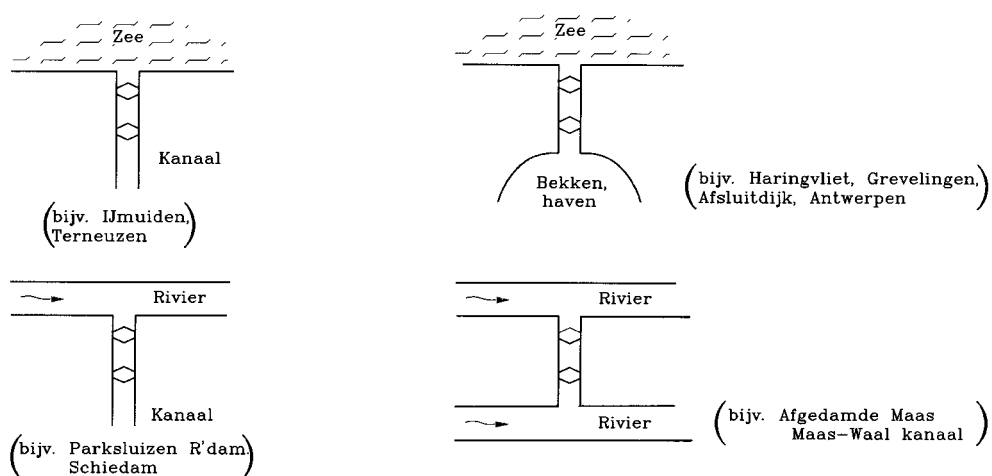
Figuur 7.44 Verwijderen van loopwielgeleiding van een hefdeur



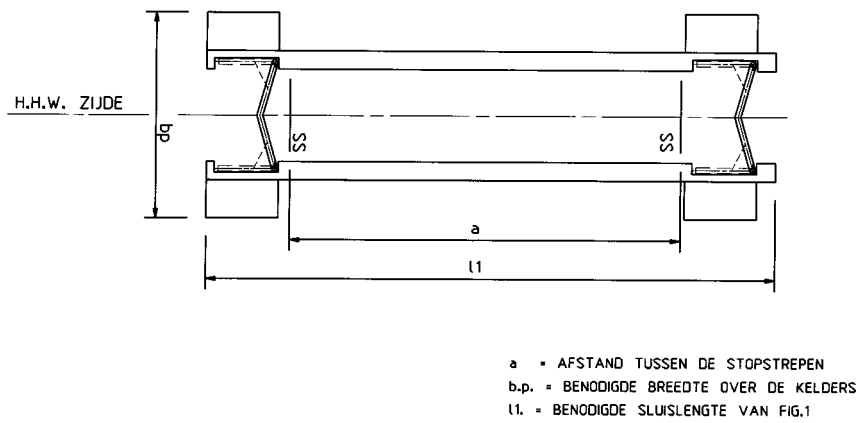
Figuur 7.45 Rijweg tegen een hefdeur



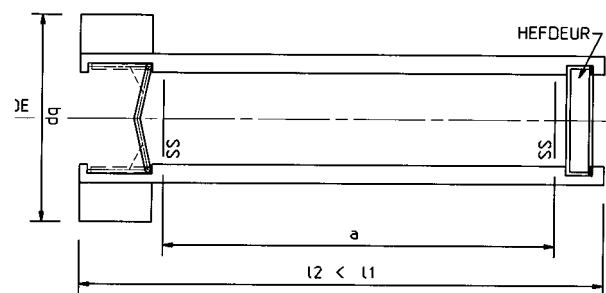
Figuur 7.46 Voorbeelden éénzijdig kerende schutsluizen



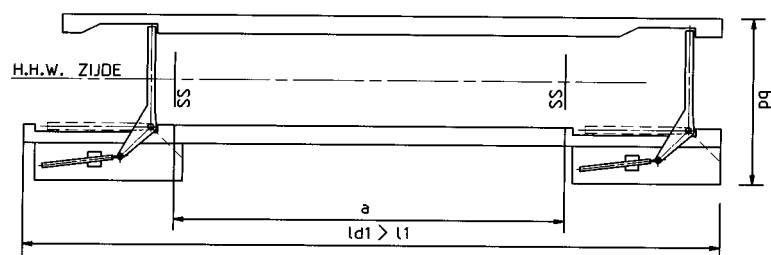
Figuur 7.47 Voorbeelden tweezijdig kerende schutsluizen



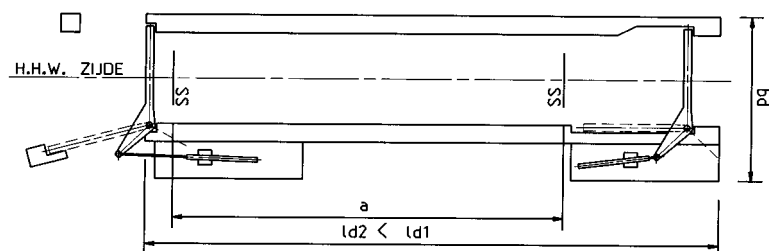
Figuur 7.48 Enkelzijdige kering van een sluis met puntdeuren



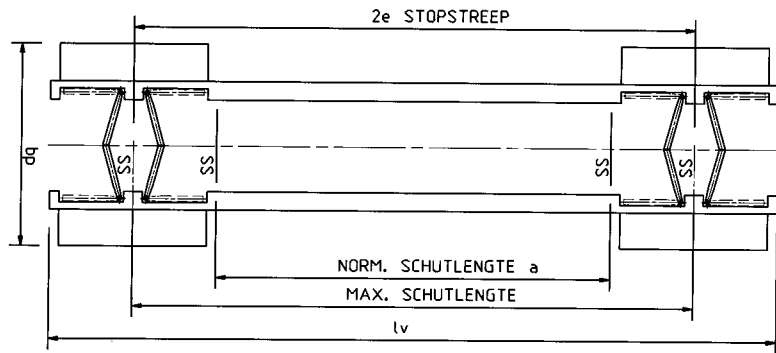
Figuur 7.49 Enkelzijdige kering met punt- en hefdeur



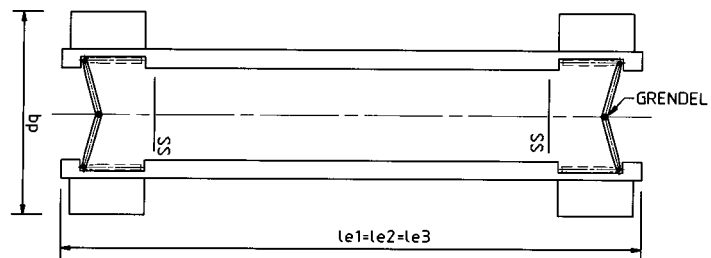
Figuur 7.50 Enkelzijdige kering met draaideuren, opstelling I



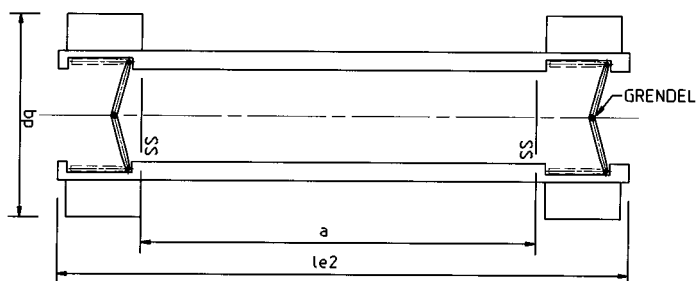
Figuur 7.51 Enkelzijdige kering met draaideuren, opstelling II



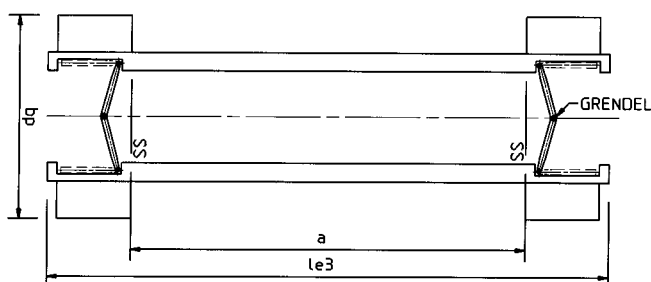
Figuur 7.52 Tweezijdige kering met dubbele puntdeurstellen



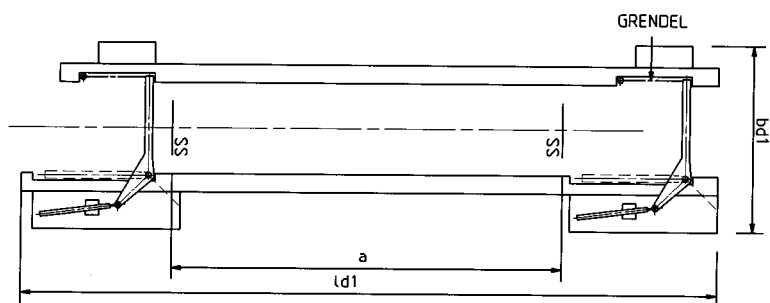
Figuur 7.53 Tweezijdige kering met vergrendelde puntdeuren, opstelling 1



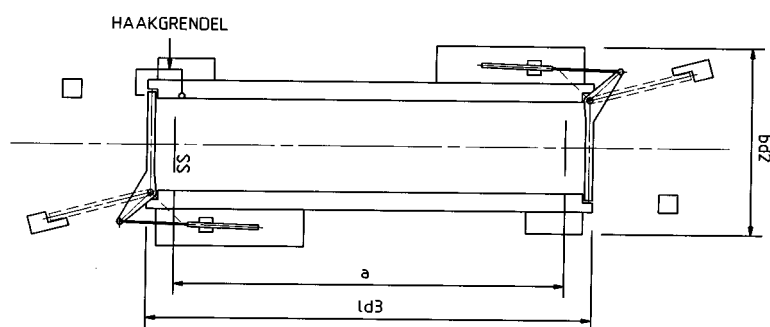
Figuur 7.54 Tweezijdige kering met vergrendelde puntdeuren, opstelling 2



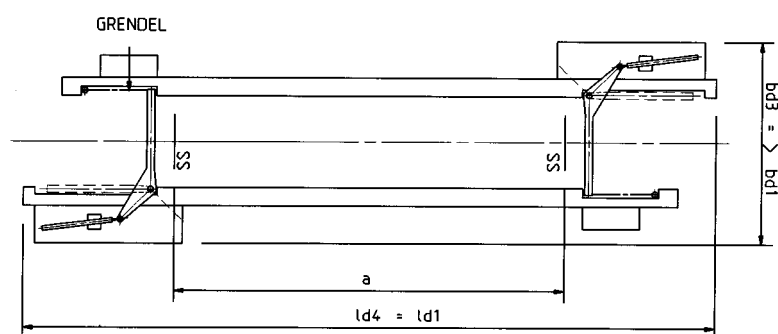
Figuur 7.55 Tweezijdige kering met vergrendelde puntdeuren, opstelling 3



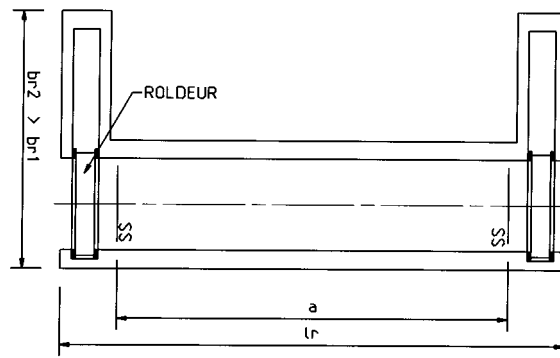
Figuur 7.56 Tweezijdige kering met draaideuren, opstelling 1



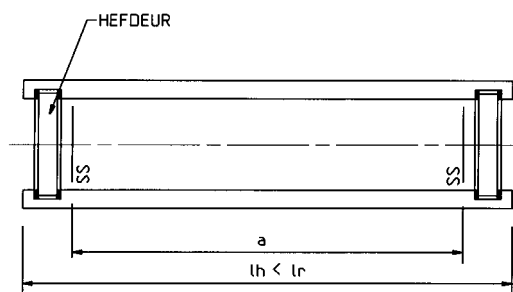
Figuur 7.57 Tweezijdige kering met draaideuren, opstelling 2



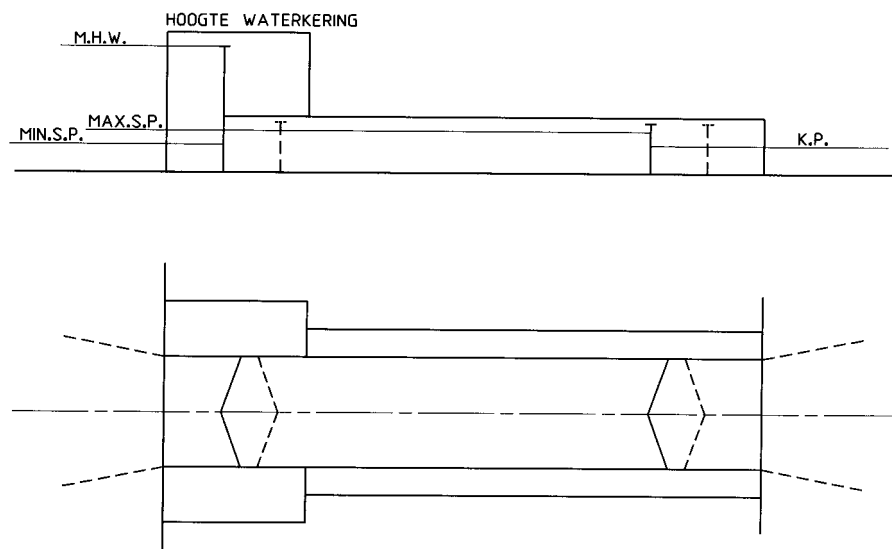
Figuur 7.58 Tweezijdige kering met draaideuren, opstelling 3



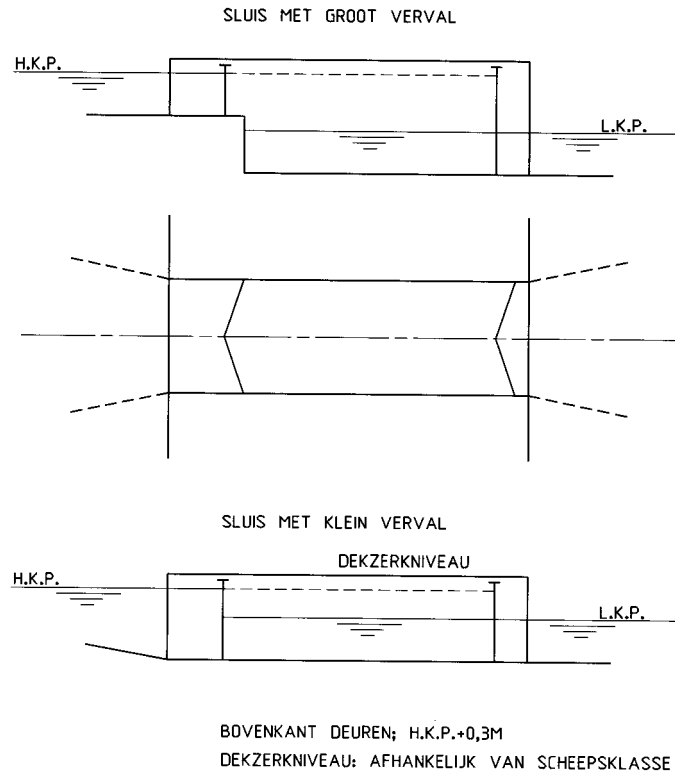
Figuur 7.59 Tweezijdige kering met roldeuren



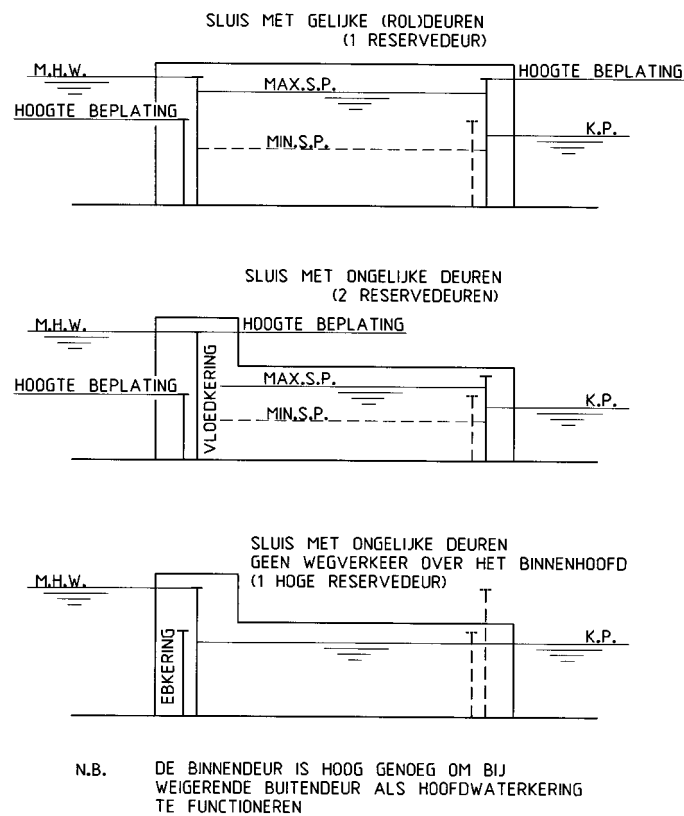
Figuur 7.60 Tweezijdige kering met hefdeuren



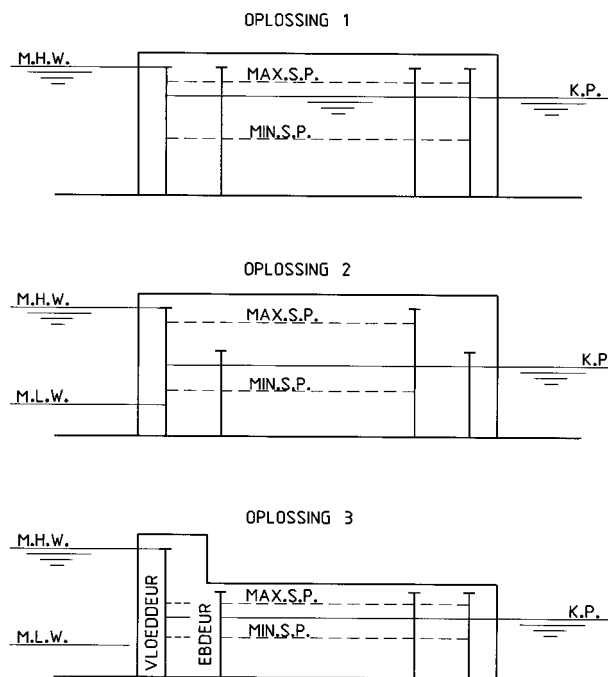
Figuur 7.61 Schema tweezijdig kerende sluis met dubbele puntdeurstellen en lage reservekering



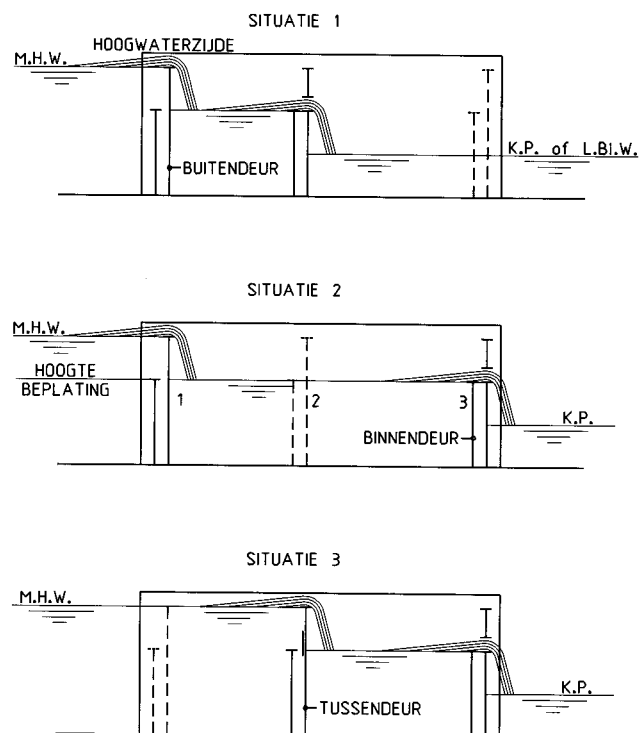
Figuur 7.62 Schema eenzijdig kerende sluis met gelijk beplatingsniveau boven- en benedendeuren



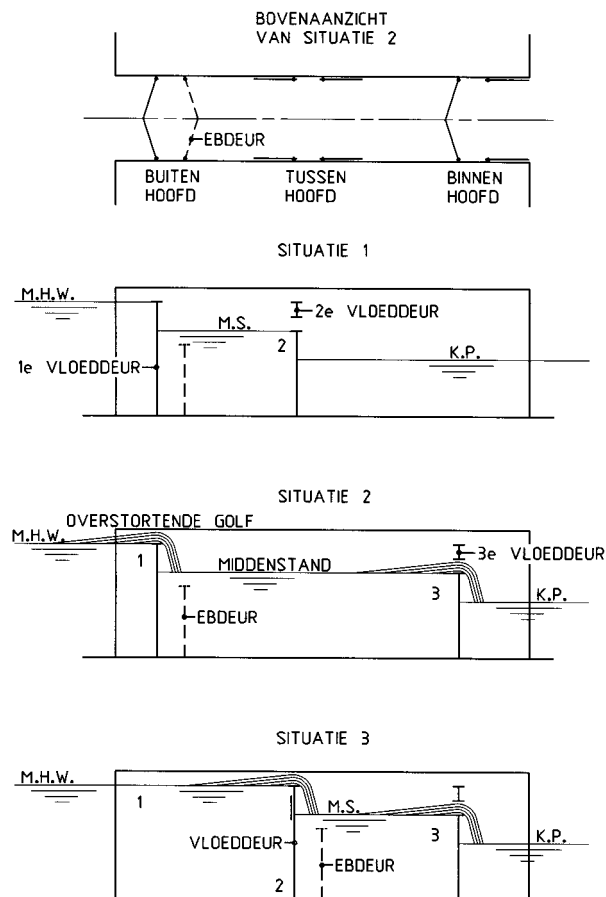
Figuur 7.63 Schema tweezijdig kerende sluis met roldeuren in getijdegebied



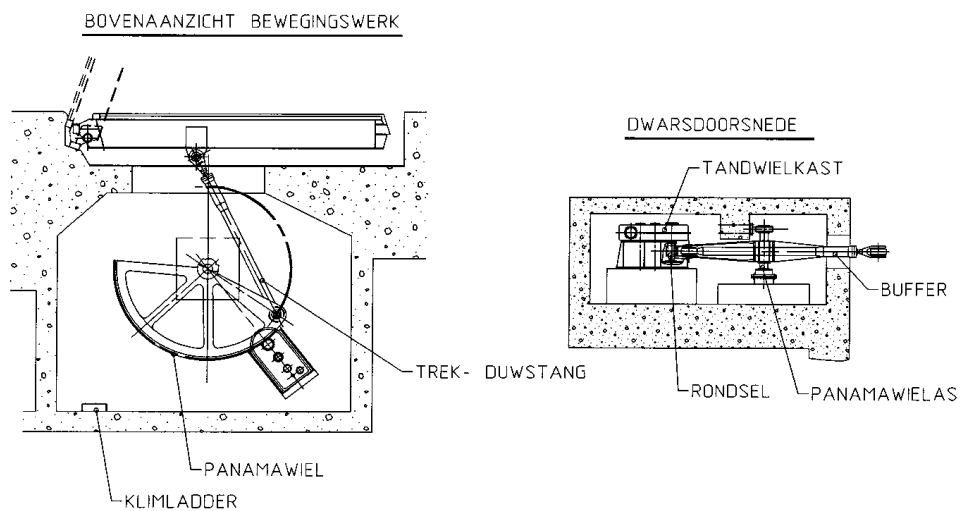
Figuur 7.64 Schema tweezijdig kerende sluis met dubbele puntdeurstellen in getijdegebied



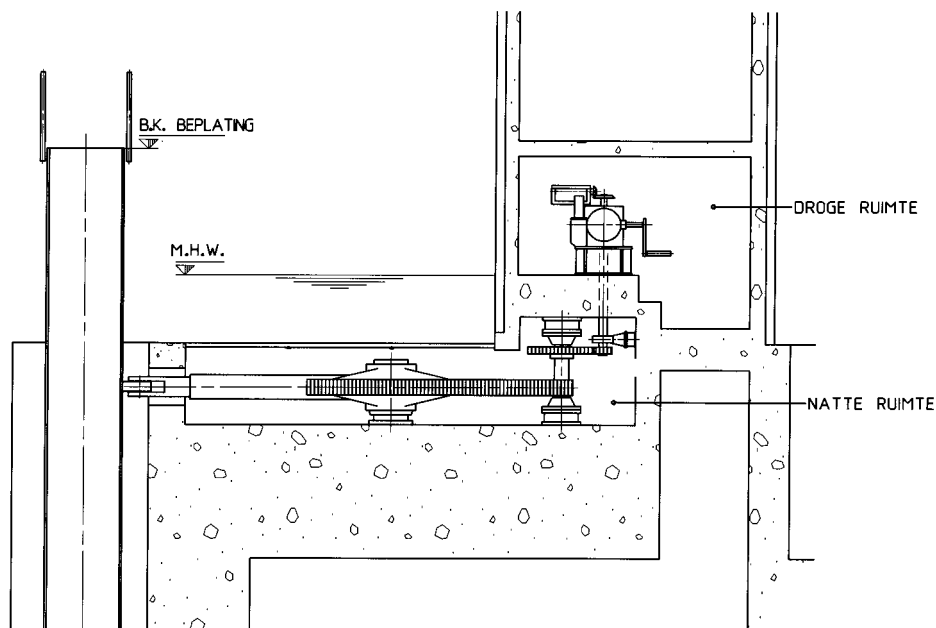
Figuur 7.65 Getrapt keren in sluis met roldeuren en tussenhoofd



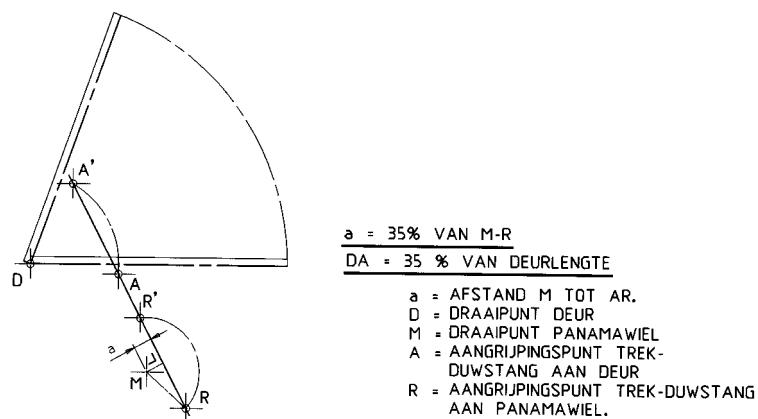
Figuur 7.66 Getrapt keren in sluis met puntdeuren en tussenhoofd



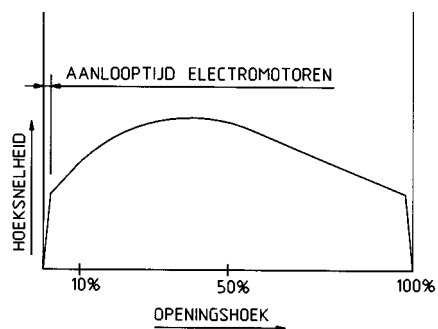
Figuur 7.67 Opstelling aandrijving met een Panamawiel voor een puntdeur



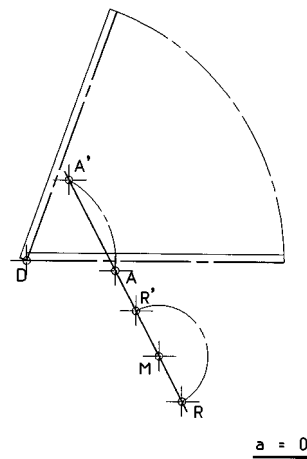
Figuur 7.68 Opstelling aandrijving van een Panamawiel voor een sluis in een rivier



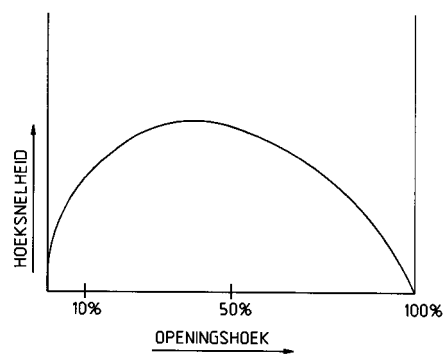
Figuur 7.69 Schema Panamawiel voor puntdeur (standaardoplossing)



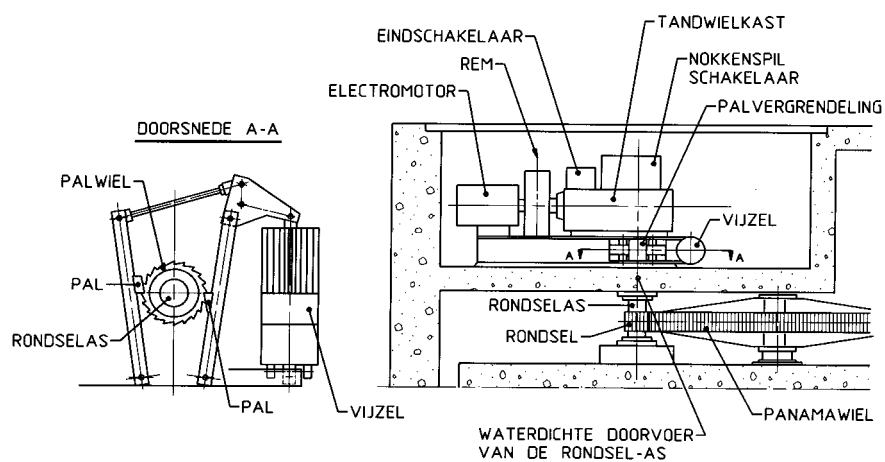
Figuur 7.70 Verloop hoeksnelheid van puntdeur bij gebruik van Panamawiel (opstelling figuur 7.69)



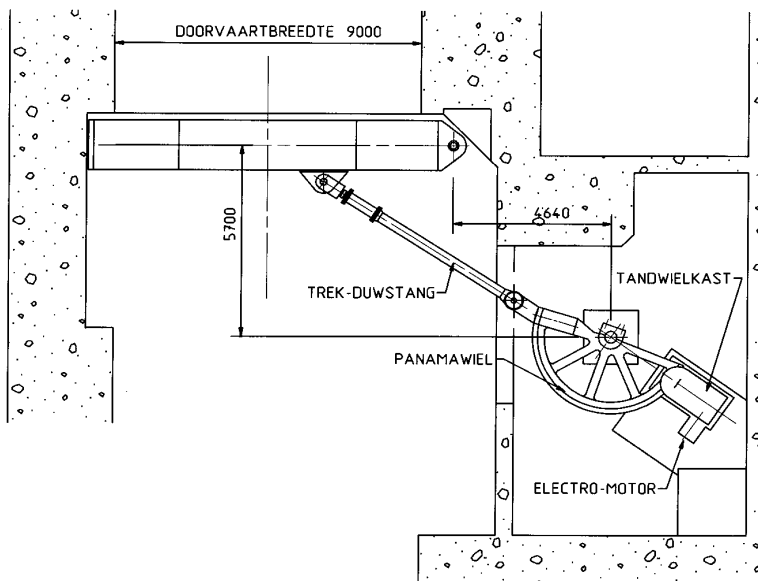
Figuur 7.71 Schema Panamawiel voor puntdeur (volledige Panamawerking)



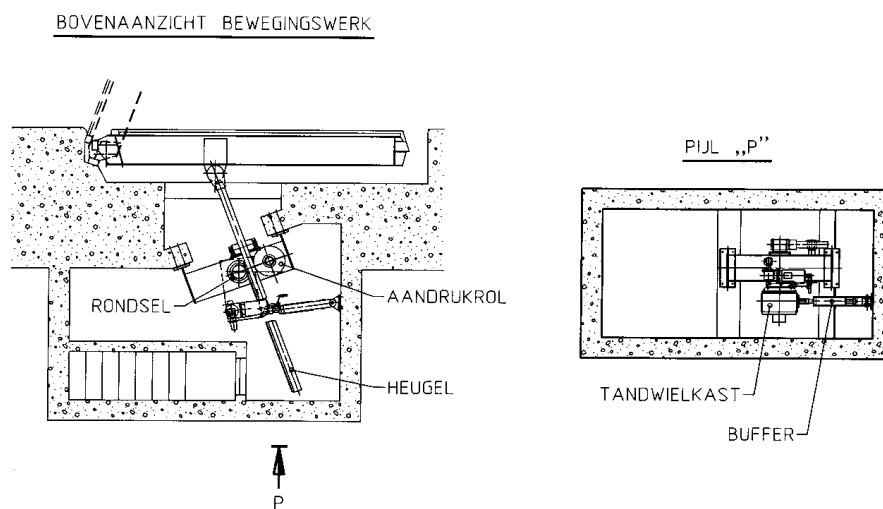
Figuur 7.72 Verloop hoeksnelheid van puntdeur bij gebruik van Panamawiel (opstelling figuur 7.71)



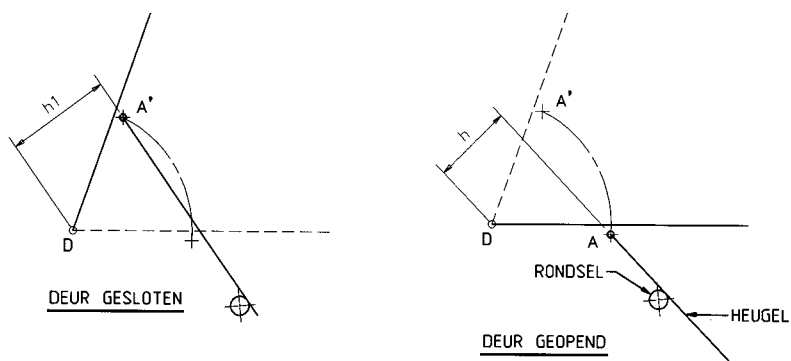
Figuur 7.73 Vergrendeling van aandrijving Panamawiel op rondselas



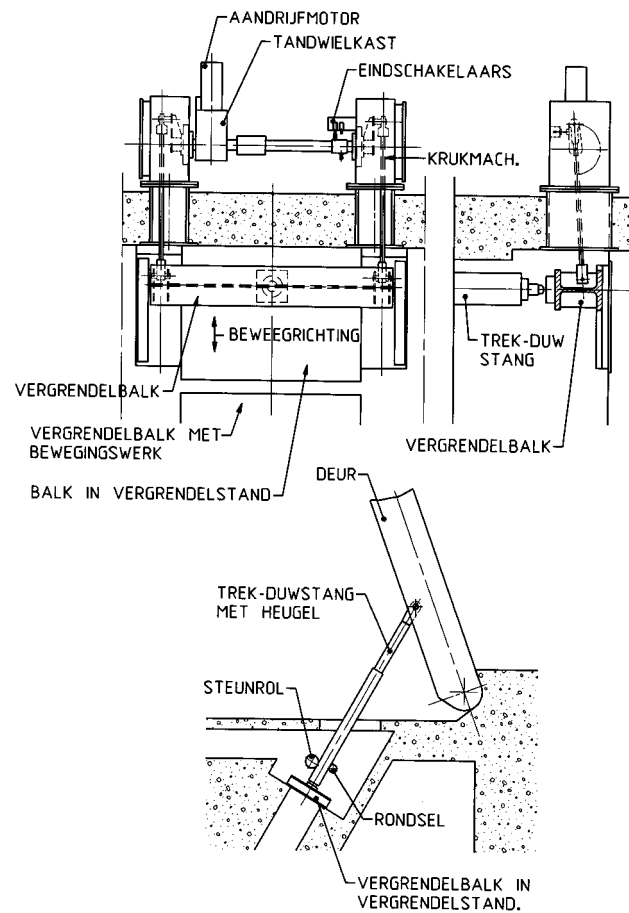
Figuur 7.74 Aandrijving draaideur door Panamawiel (jachtensluis Krammer)



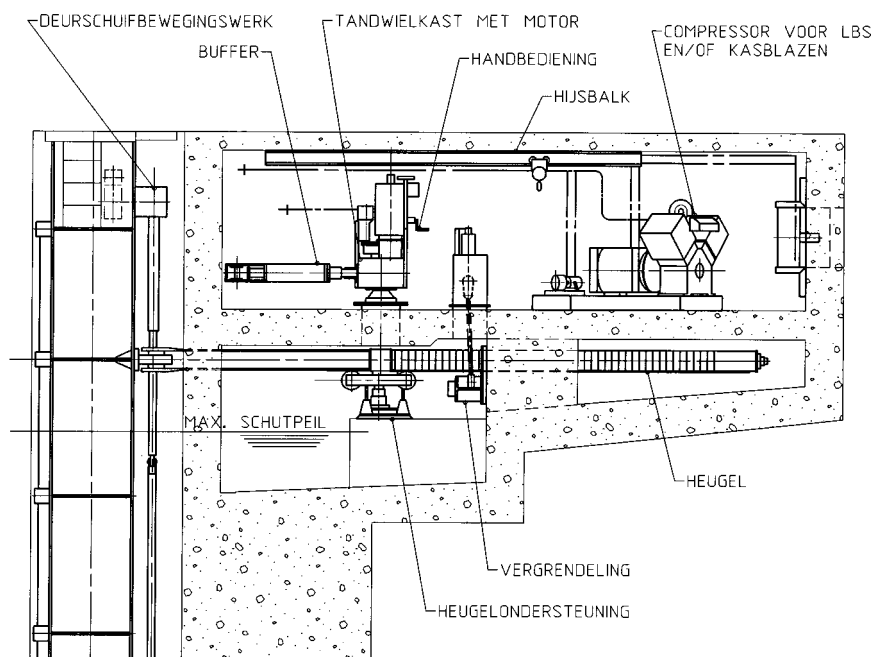
Figuur 7.75 Aandrijving puntdeur door rechte heugel (eenzijdig kerende sluis)



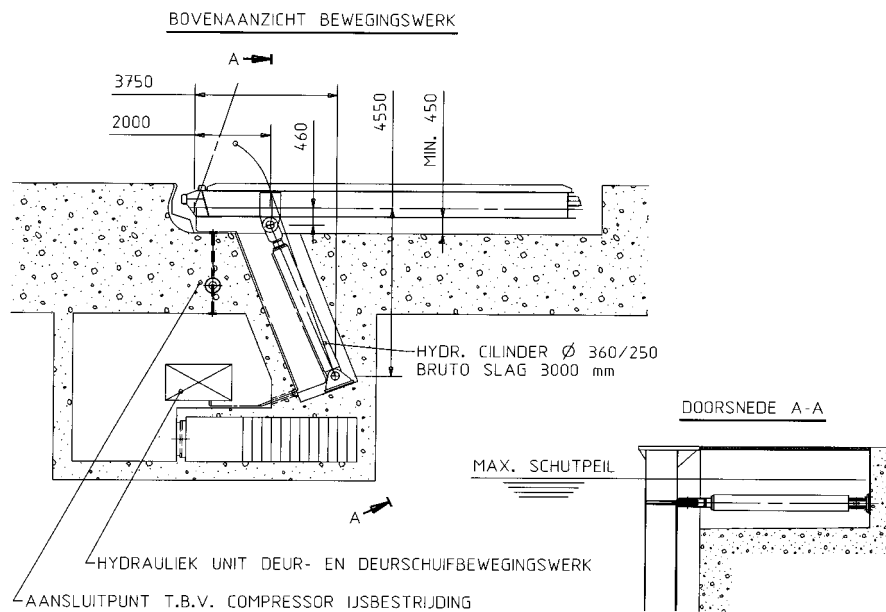
Figuur 7.76 Schema rechte heugel voor puntdeur



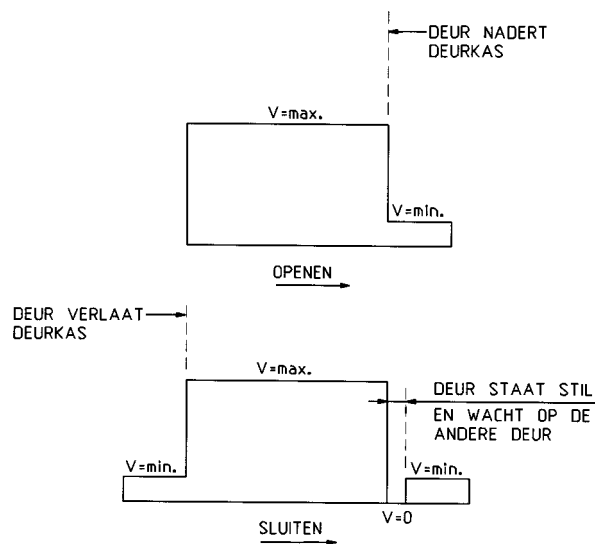
Figuur 7.77 Vergrendeling rechte heugel achter trek-/duwstang voor puntdeur



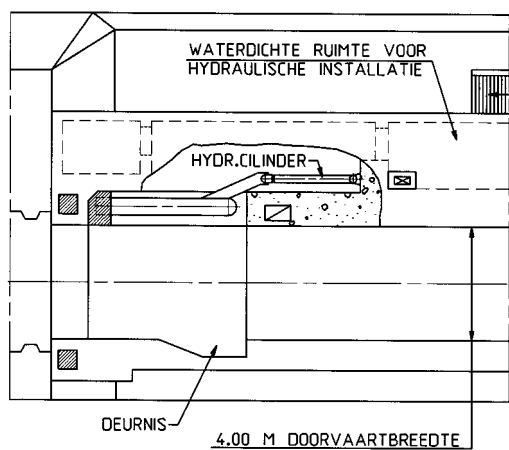
Figuur 7.78 Aandrijving puntdeur door rechte heugel (Koopvaardersschutsluis, zeezijde)



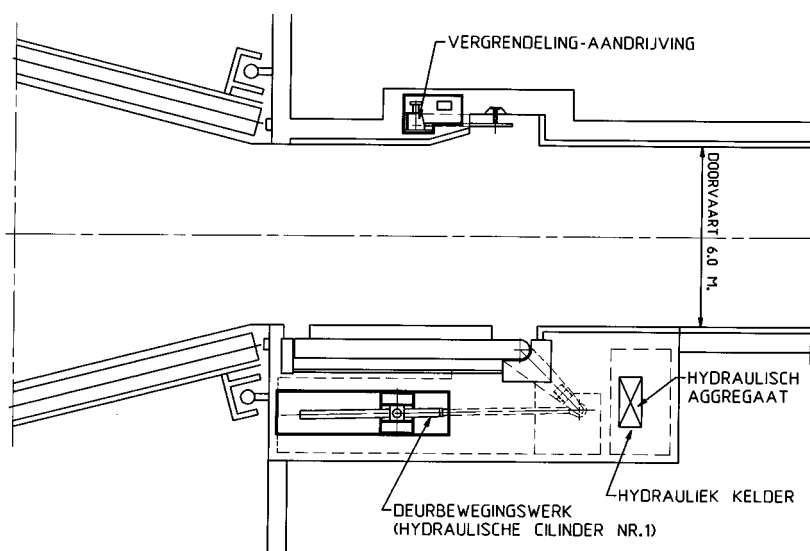
Figuur 7.79 Aandrijving puntdeur door hydraulische cilinder



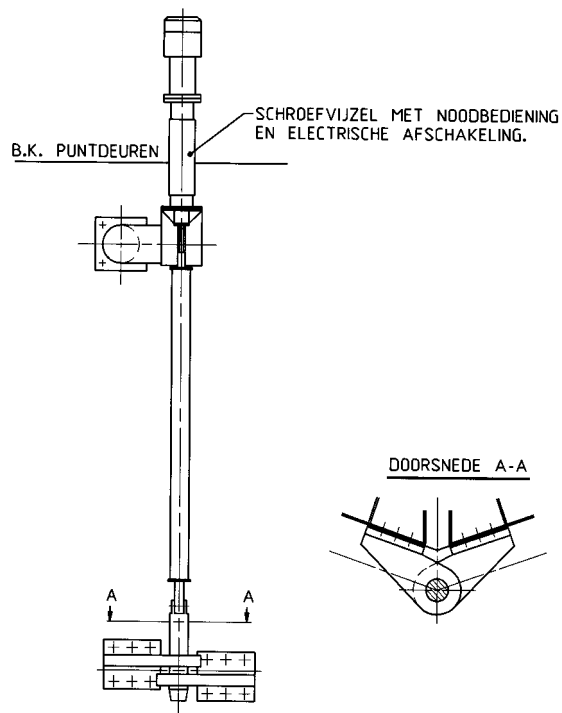
Figuur 7.80 Schema cilindersnelheden bij aandrijving van puntdeur door hydraulische cilinder



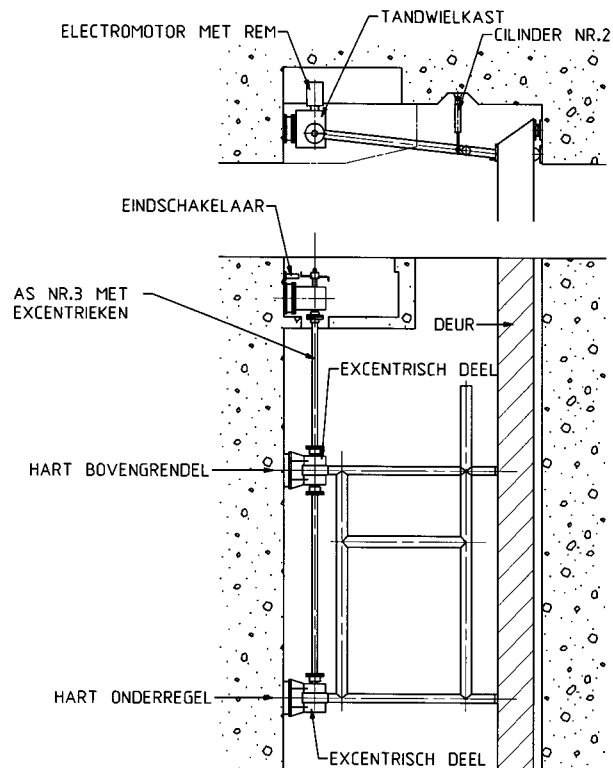
Figuur 7.81 Aandrijving draaideur door hydraulische cilinder (Schutsluis Almere-haven, bovenhoofd)



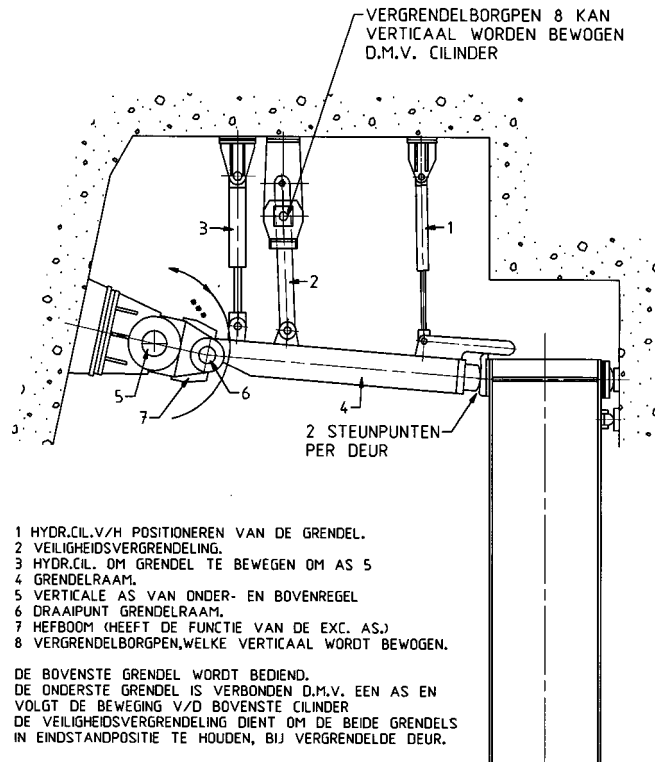
Figuur 7.82 Aandrijving draaideur door hydraulische cilinder (Schutsluis Bergsediep)



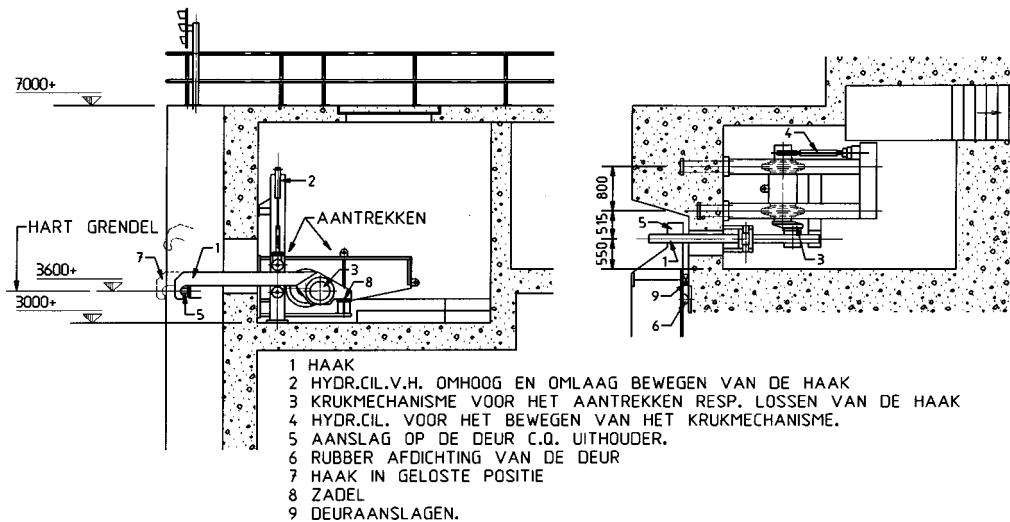
Figuur 7.83 Grendelpen op puntdeuren



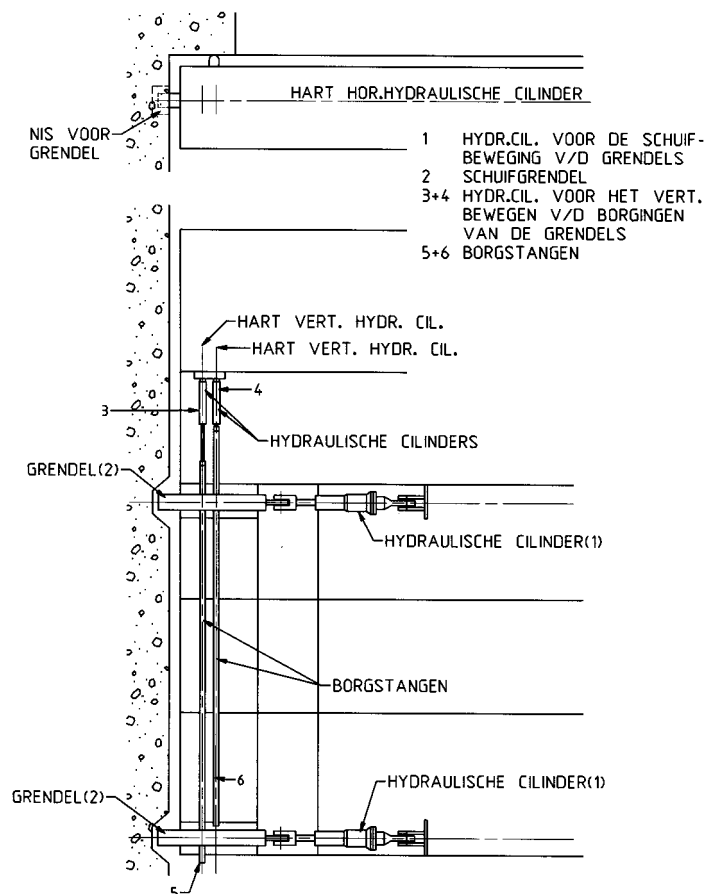
Figuur 7.84 Vergrendeling draaideur met raamgrendel (Schutsluis Bergsediep)



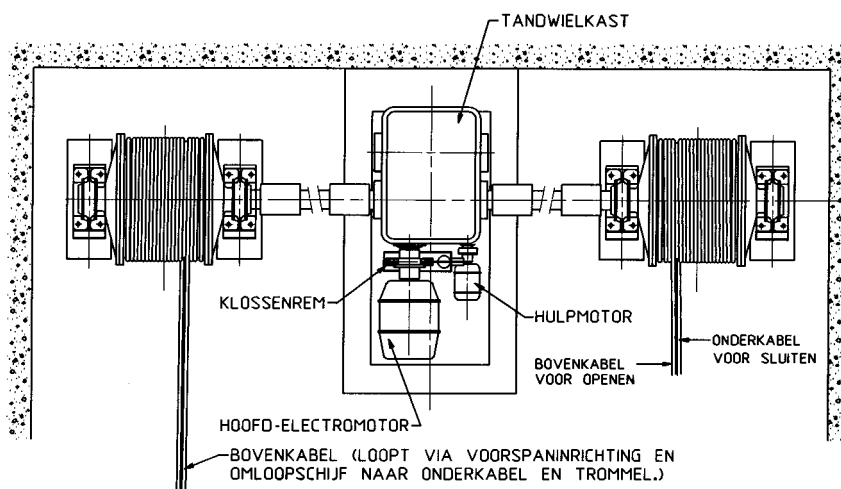
Figuur 7.85 Vergrendeling draaideur met raamgrendel (Schutsluis Nieuwe Statenzijl)



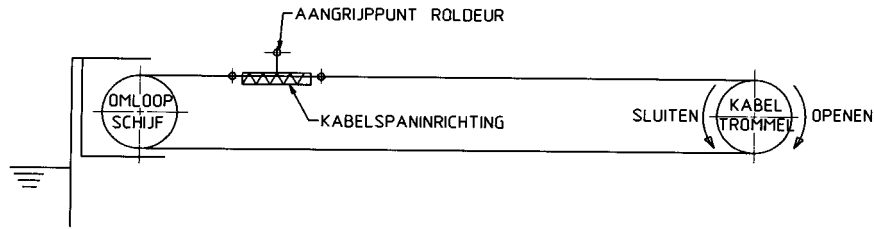
Figuur 7.86 Vergrendeling draaideur met haakgrendel (Schutsluis Gorinchem)



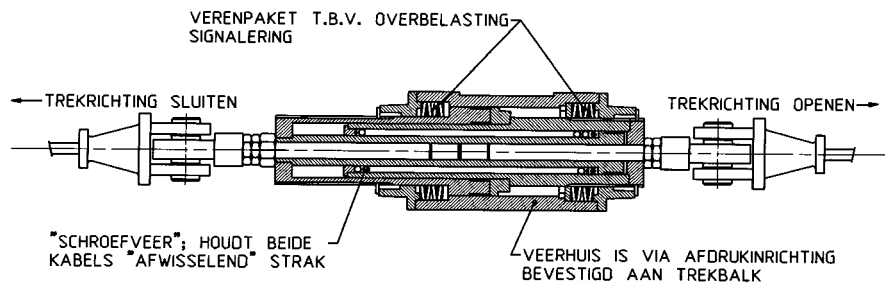
Figuur 7.87 Vergrendeling draaideur met schuifgrendel (Jachtensluis Krammer)



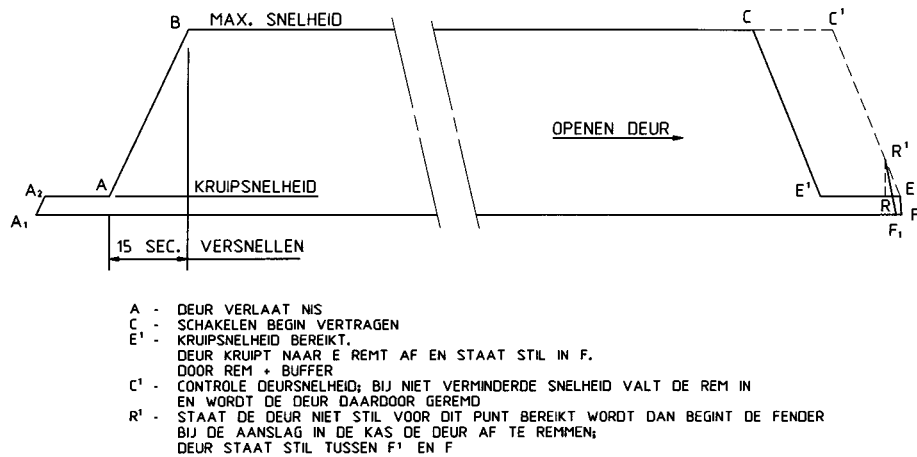
Figuur 7.88 Bewegingswerk roldeur met tweezijdige aandrijving met twee trommels (Zeesluis Terneuzen)



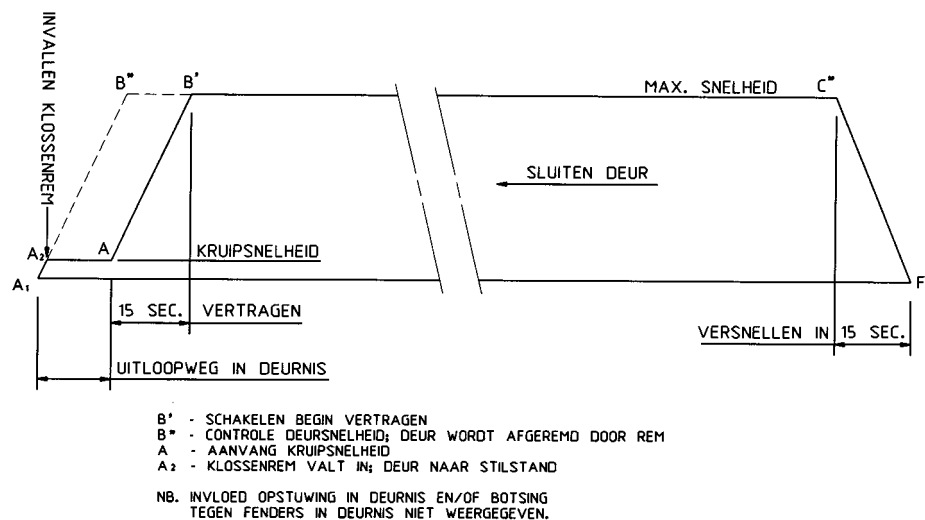
Figuur 7.89 Schema kabelaandrijving



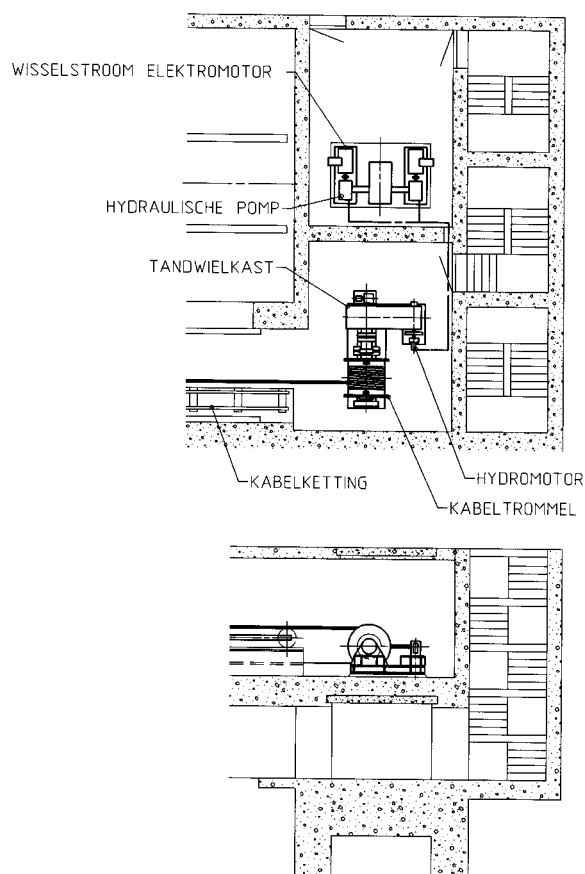
Figuur 7.90 Kabelspaninrichting (dubbelwerkend)



Figuur 7.91 Verloop snelheid roldeur tijdens openen

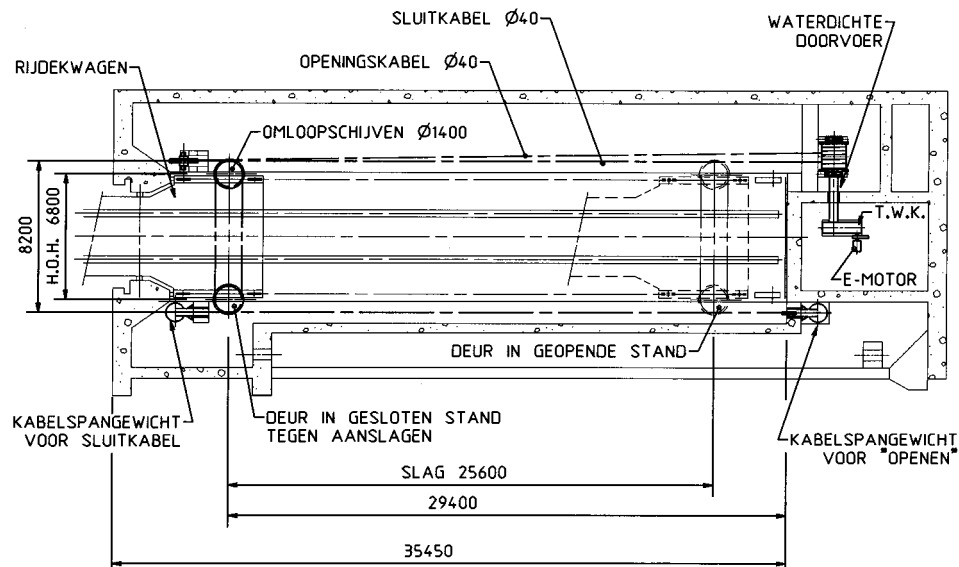


Figuur 7.92 Verloop snelheid roldeur tijdens sluiten

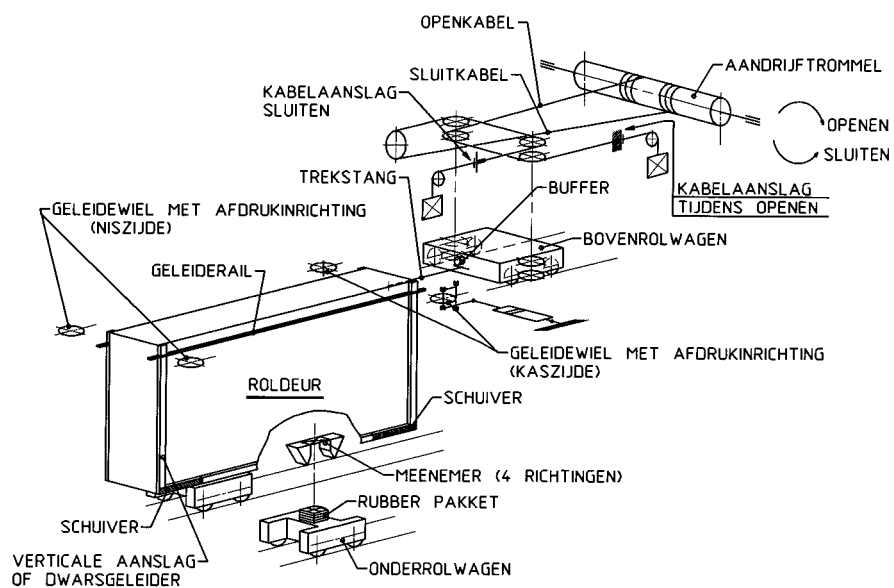


VOOR HET SCHEMA KABELLOOP ZIE FIG. 7.89

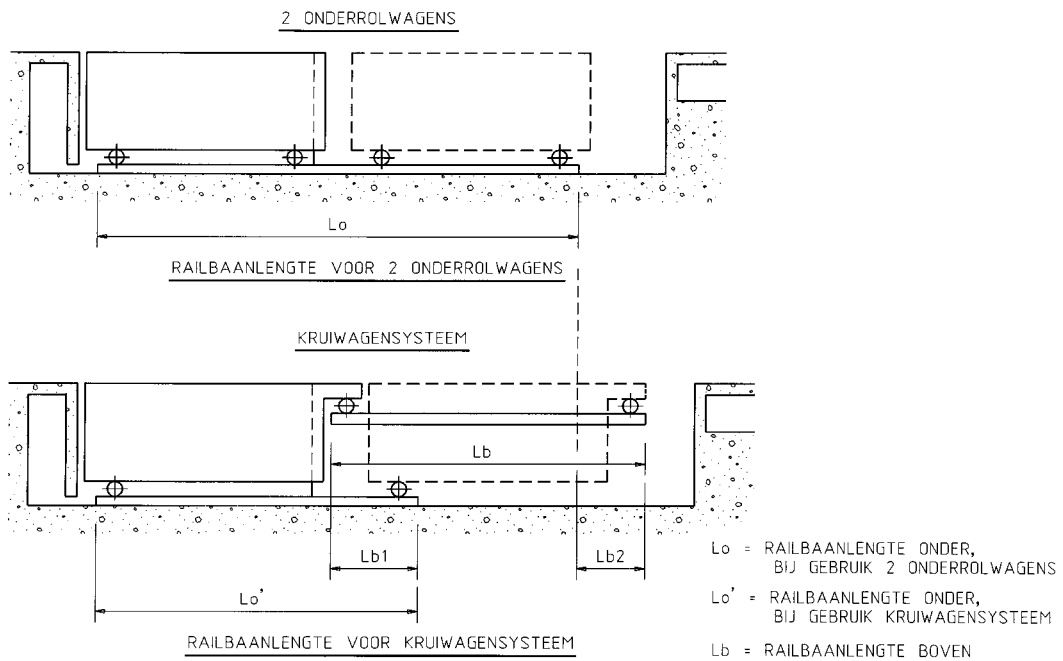
Figuur 7.93 Bewegingswerk roldeur met éézijdige aandrijving met één kabeltrommel (Middensluis Terneuzen)



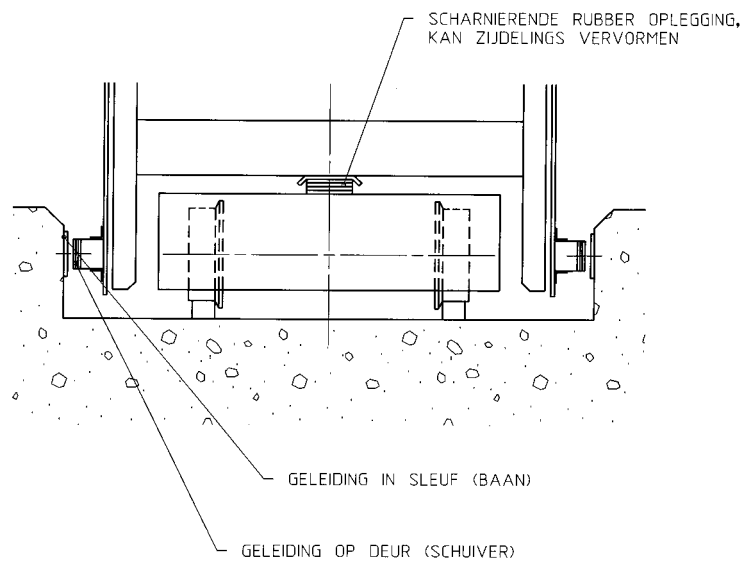
Figuur 7.94 Bewegingswerk roldeur met tweezijdige aandrijving met één kabeltrommel (Schutsluizen Hansweert)



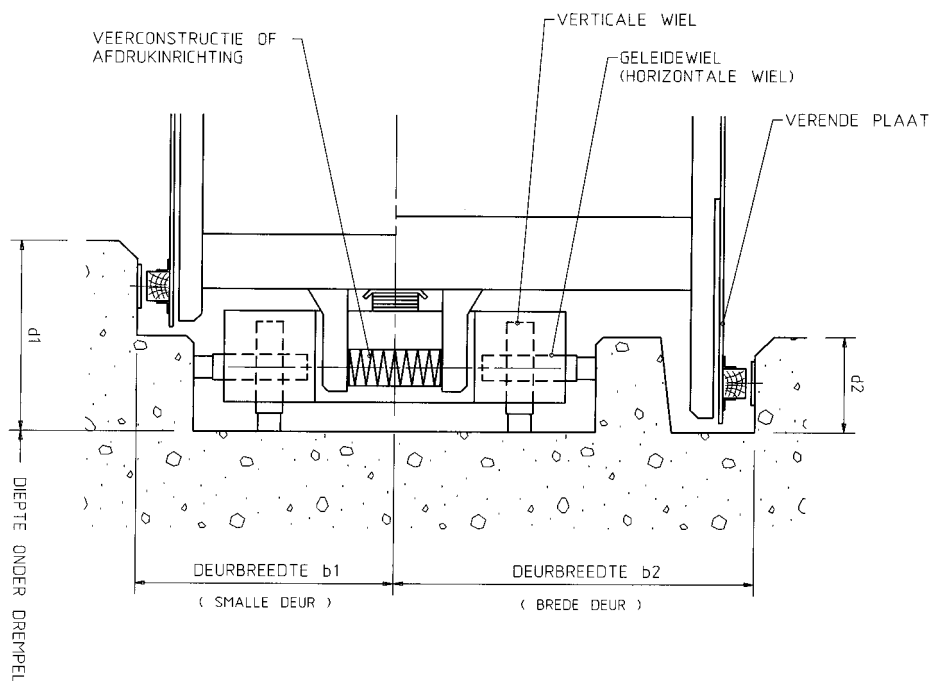
Figuur 7.95 Principe werking aandrijving roldeur (Schutsluizen Hansweert)



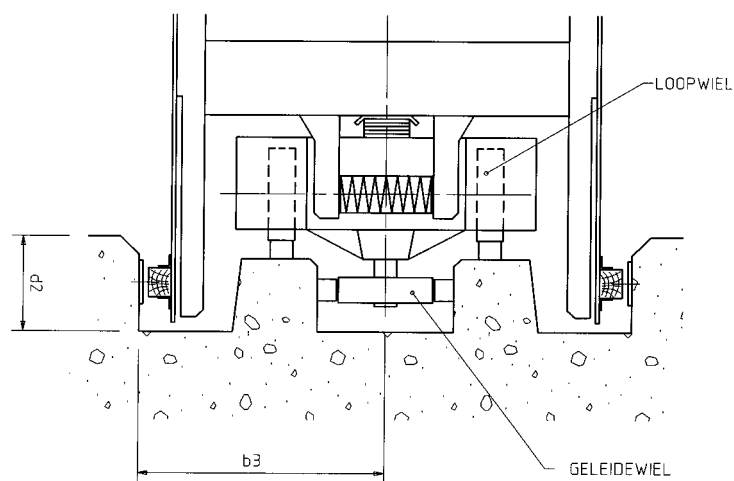
Figuur 7.96 Benodigde railengten bij een roldeur



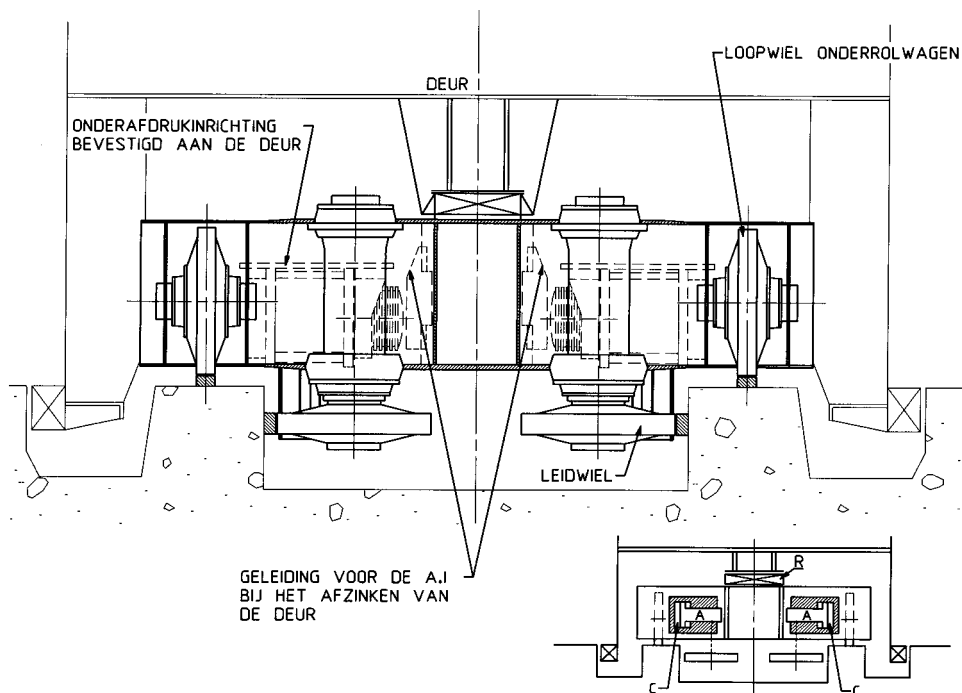
Figuur 7.97 Horizontale roldeurgeleiding langs de aanslagen



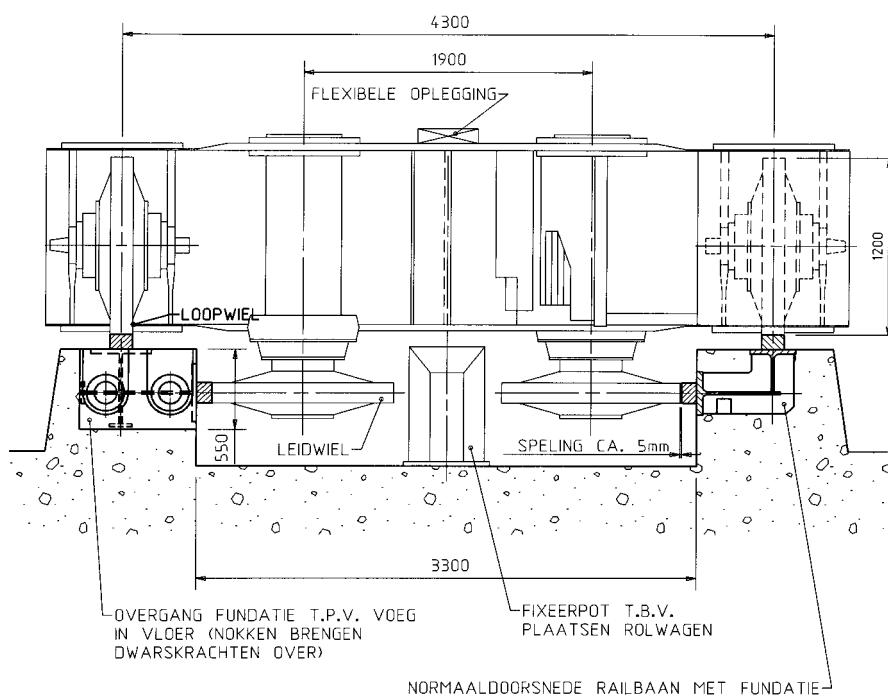
Figuur 7.98 Horizontale roldeurgeleiding via dubbele wielen aan de onderrolwagens



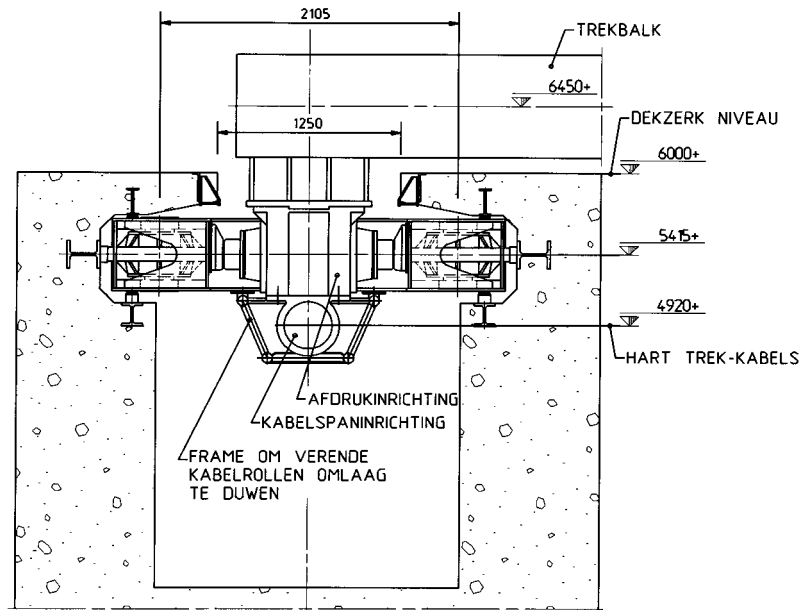
Figuur 7.99 Horizontale roldeurgeleiding via enkele wielen aan de onderrolwagens



Figuur 7.100 Horizontale roldeurgeleiding met afdrukinrichting (Zeesluis Terneuzen, onder)

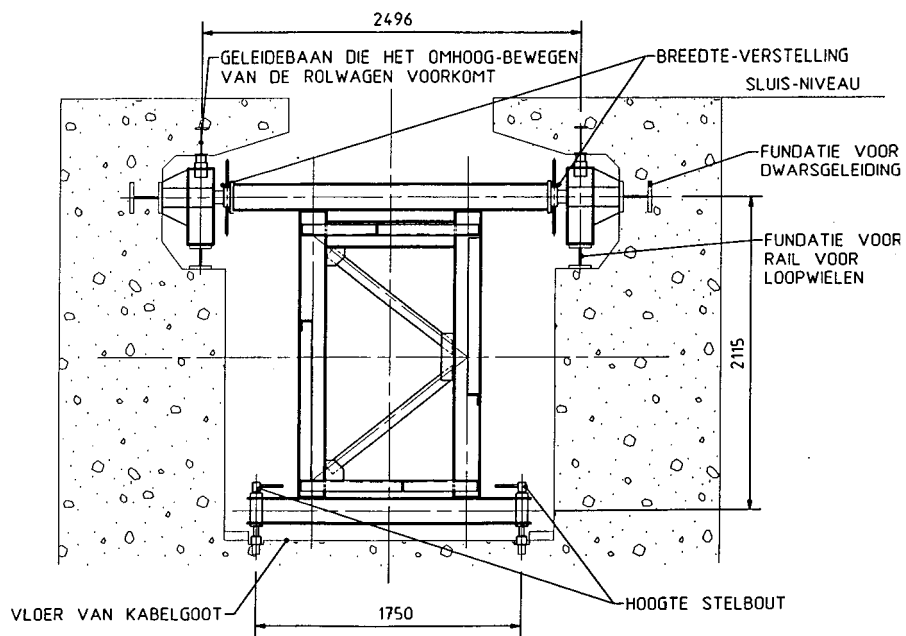


Figuur 7.101 Rails met fundaties voor onderrolwagens (Zeesluis Terneuzen)



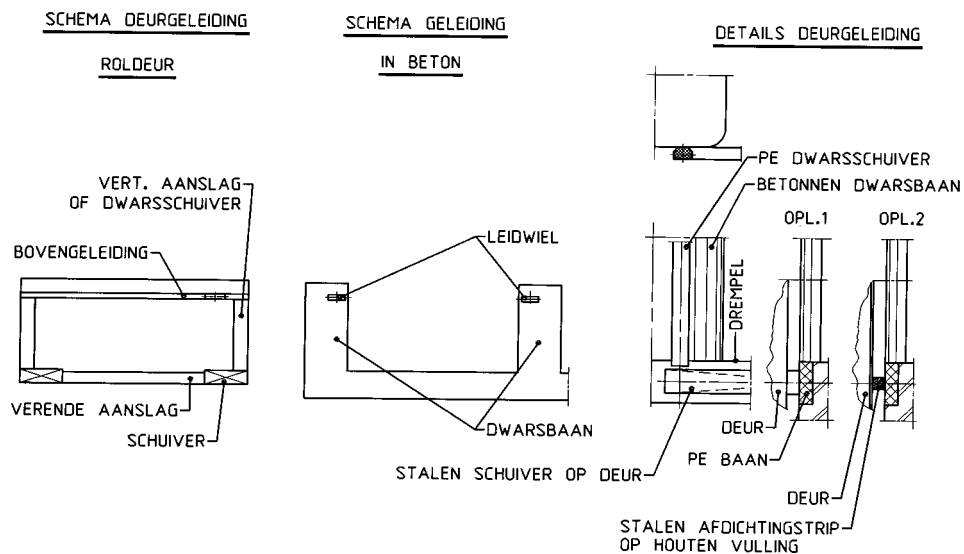
VOOR BOVENROLWAGEN ZIE FIG 7.102

Figuur 7.102 Horizontale roldeurgeleiding met afdrukinrichting (Zeesluis Terneuzen, boven)

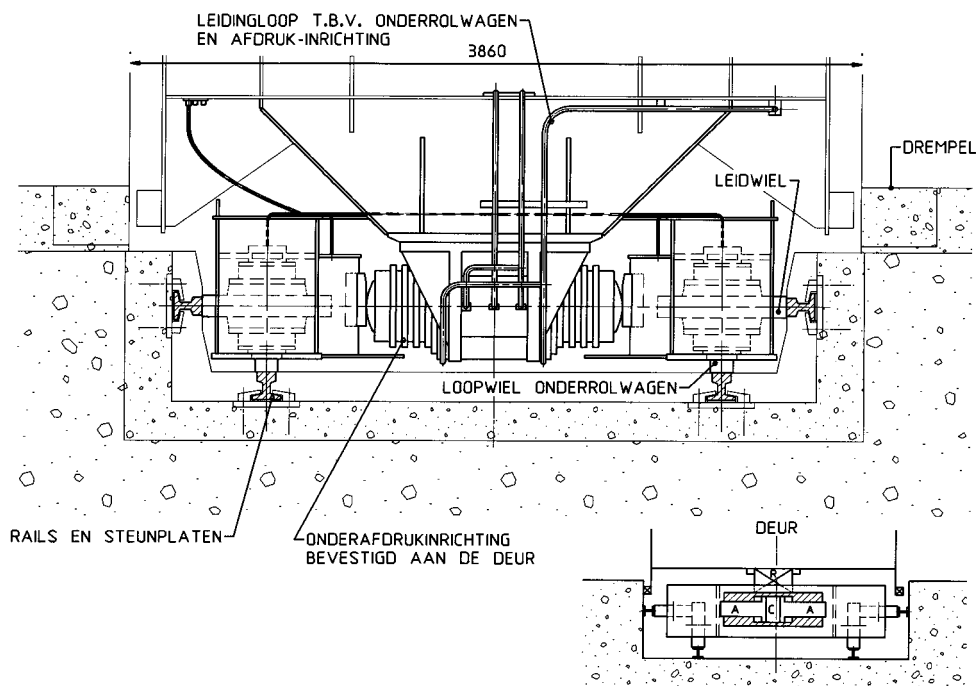


VOOR BOVENROLWAGEN ZIE FIG 7.102

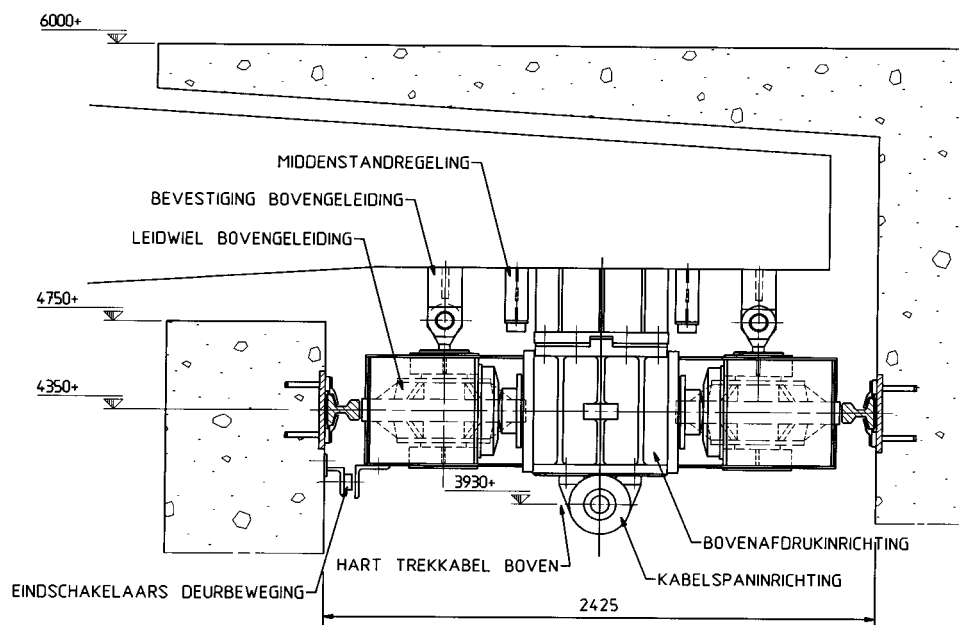
Figuur 7.103 Stelconstructie voor de bovengleiding (voor bovenrolwagen van figuur 7.102)



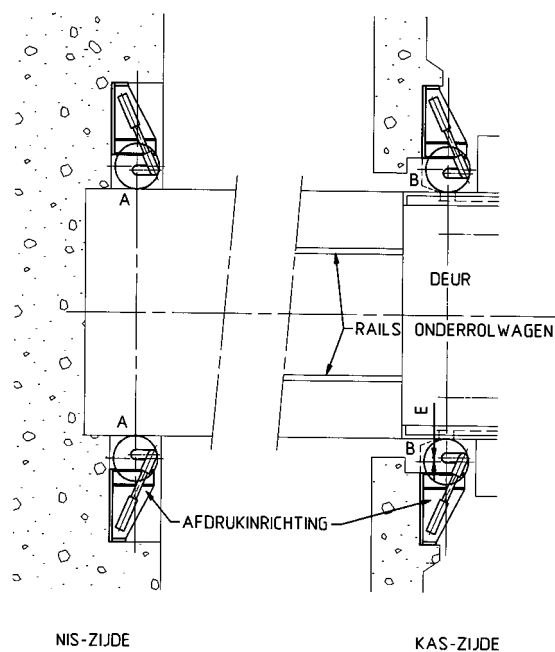
Figuur 7.104 Schema roldeurgeleiding (Schutsluizen Hansweert)



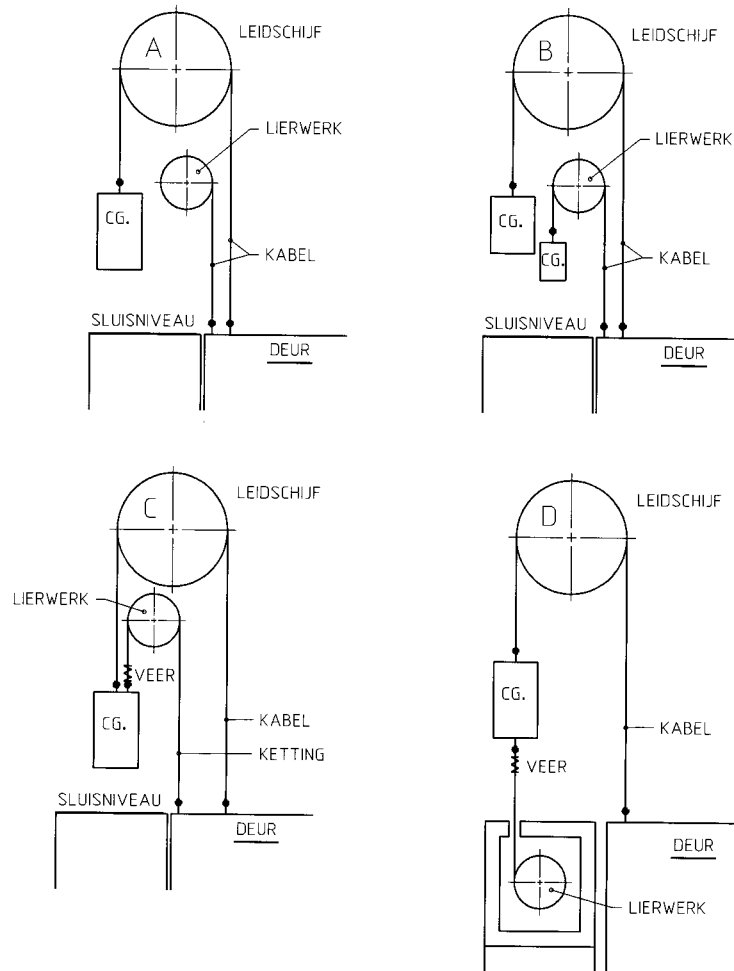
Figuur 7.105 Horizontale roldeurgeleiding met afdrukinrichting (Middensluis Terneuzen, onder)



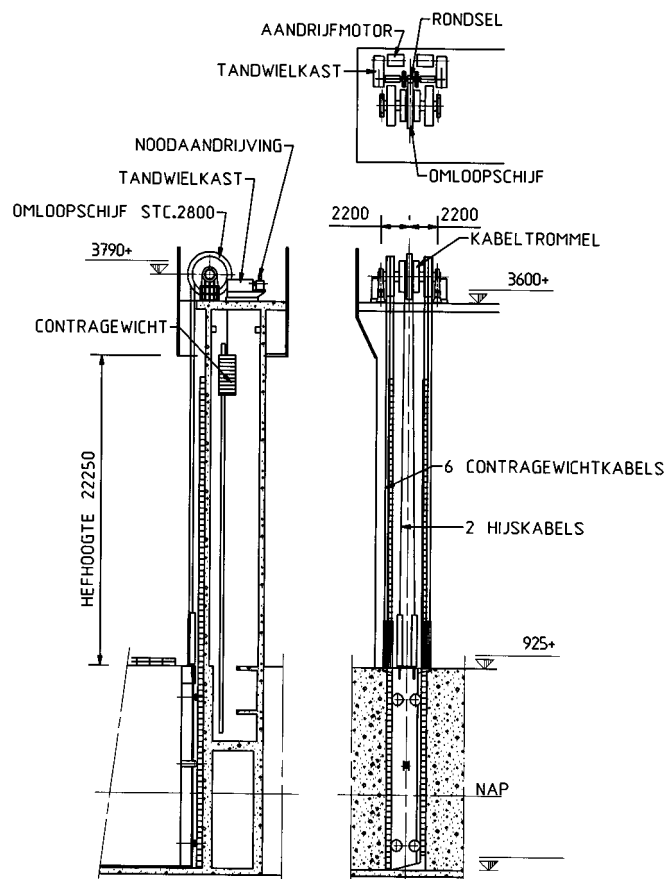
Figuur 7.106 Horizontale roldeurgeleiding met afdrukkinrichting (Middensluis Terneuzen, boven)



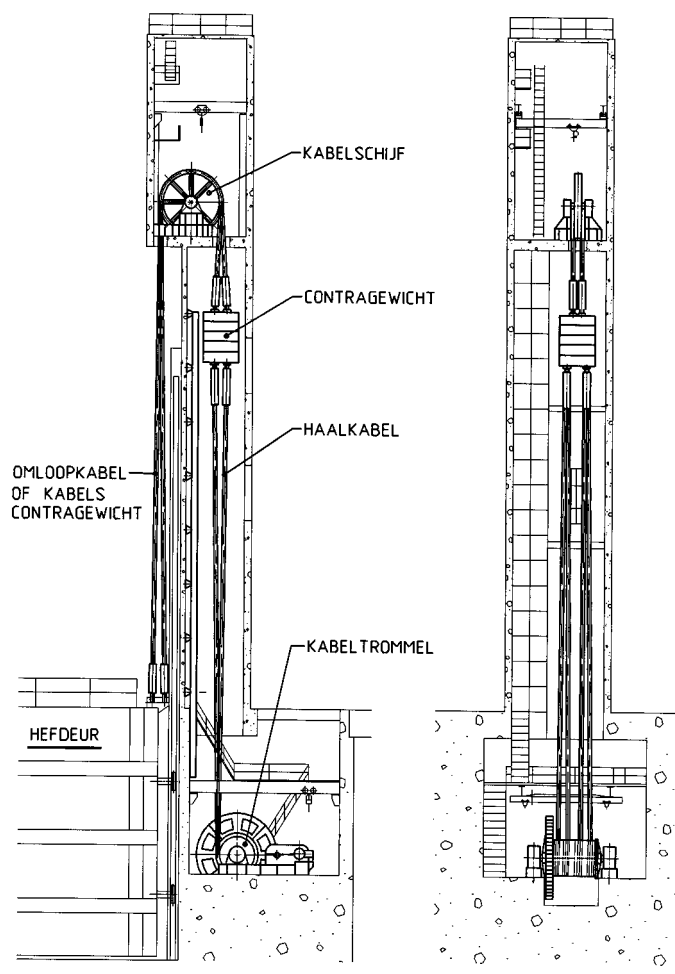
Figuur 7.107 Horizontale roldeurgeleiding met afdrukkinrichting (Schutsluizen Hansweert, boven)



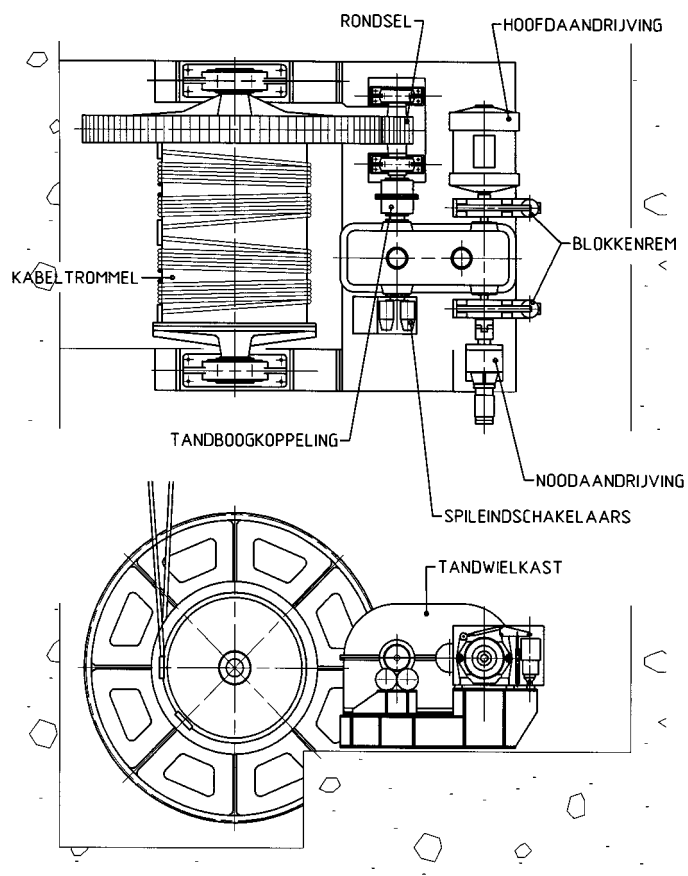
Figuur 7.108 Opstellingen van lieren en contragewichten voor bewegingswerk hefdeur



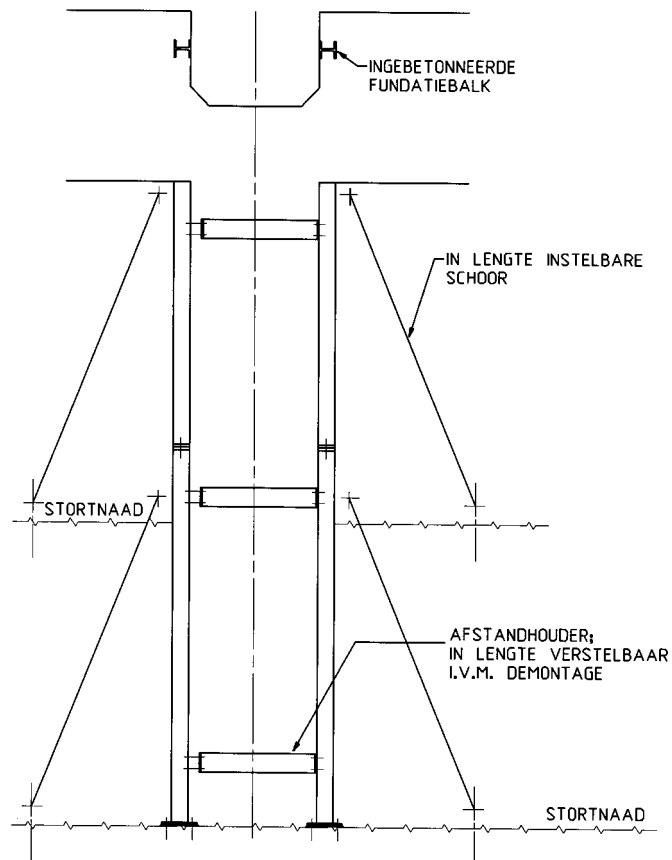
Figuur 7.109 Bewegingswerk hefdeur (Sluis Wijk bij Duurstede)



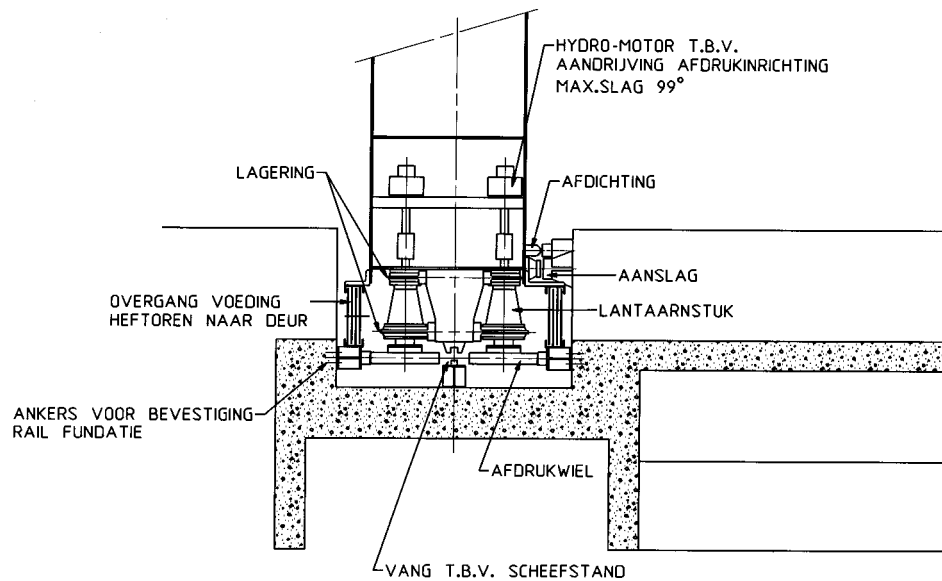
Figuur 7.110 Bewegingswerk hefdeur (Kreekraksluizen)



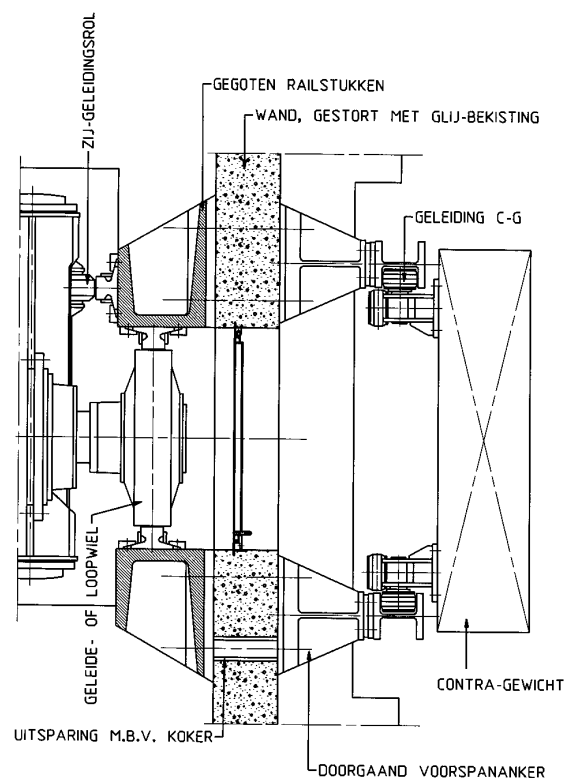
Figuur 7.111 Samenstelling lierwerk hefdeur (Kreekraksluizen)



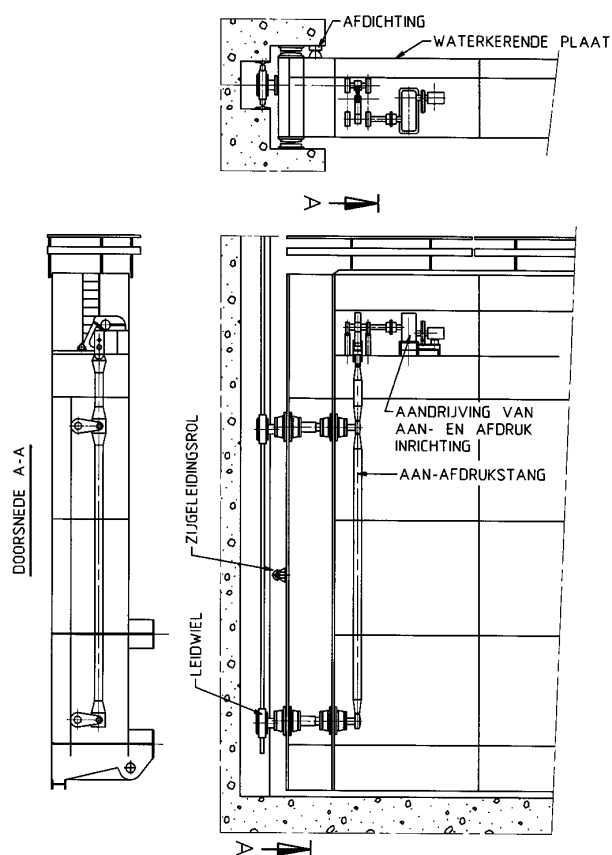
Figuur 7.112 Stellen en instorten van fundatiebalken



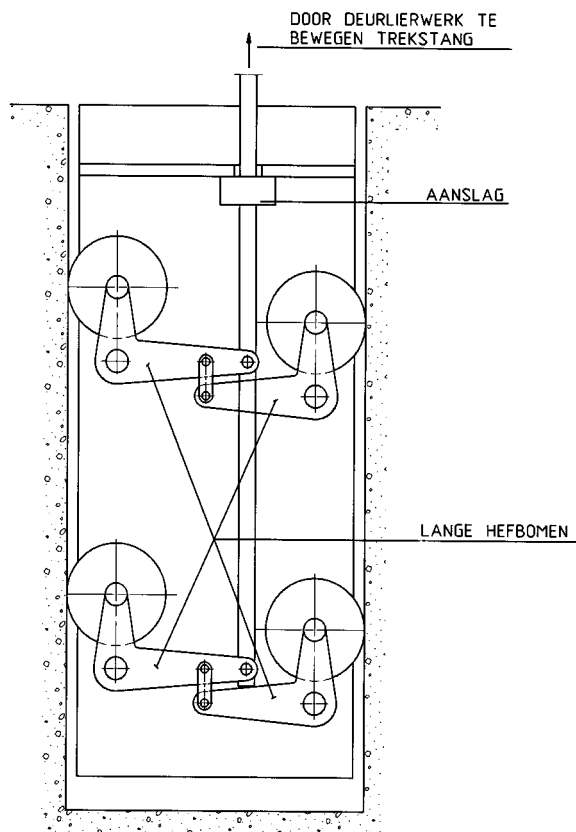
Figuur 7.113 Hefdeurgeleiding en afdichting met ankerbevestiging (Schutsluis Wijk bij Duurstede)



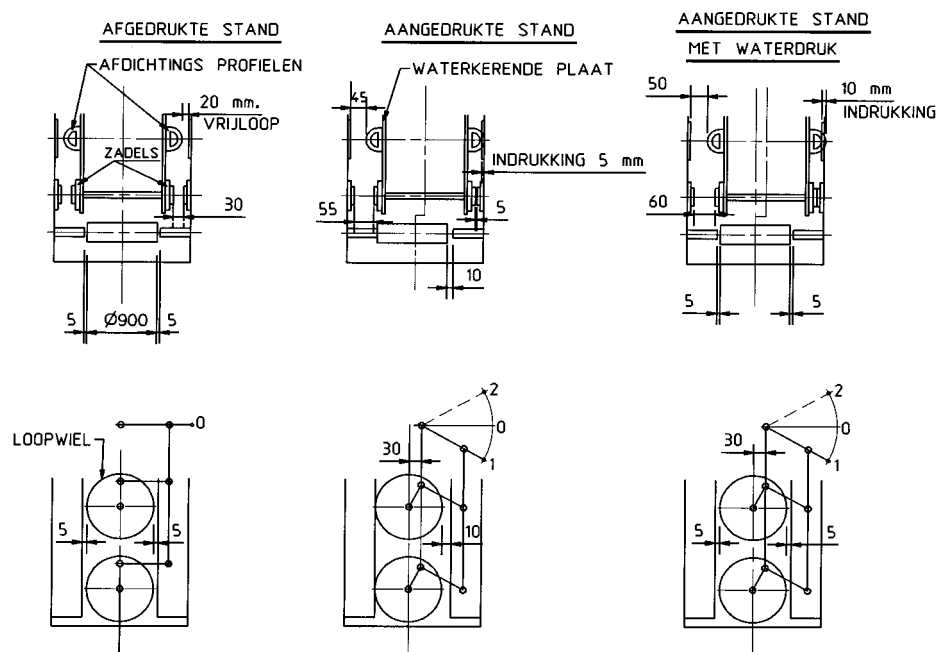
Figuur 7.114 Railconstructie met bevestiging door doorgaande ankers (Kreekraksluizen)



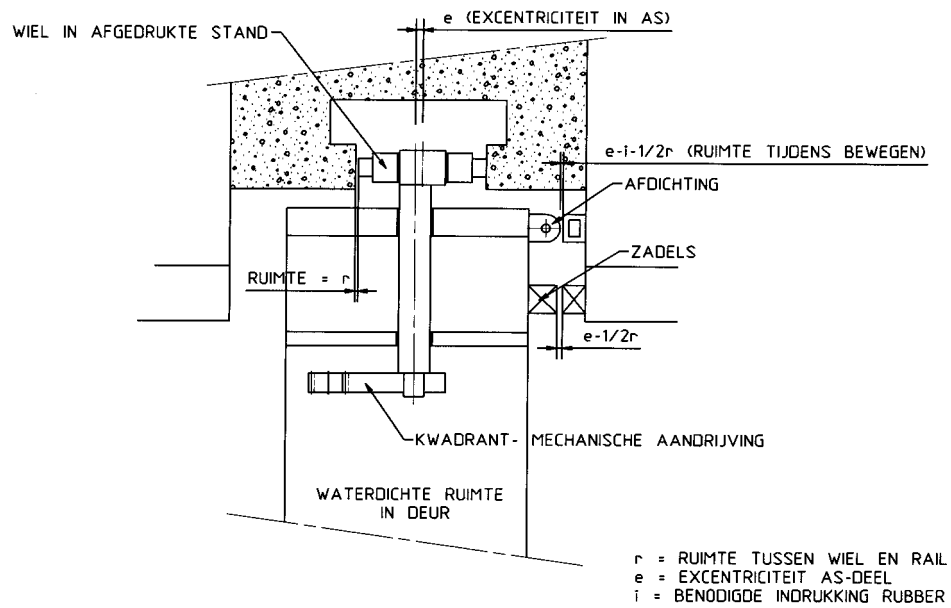
Figuur 7.115 Plaats leidwielen en zijrollen bij hefdeur



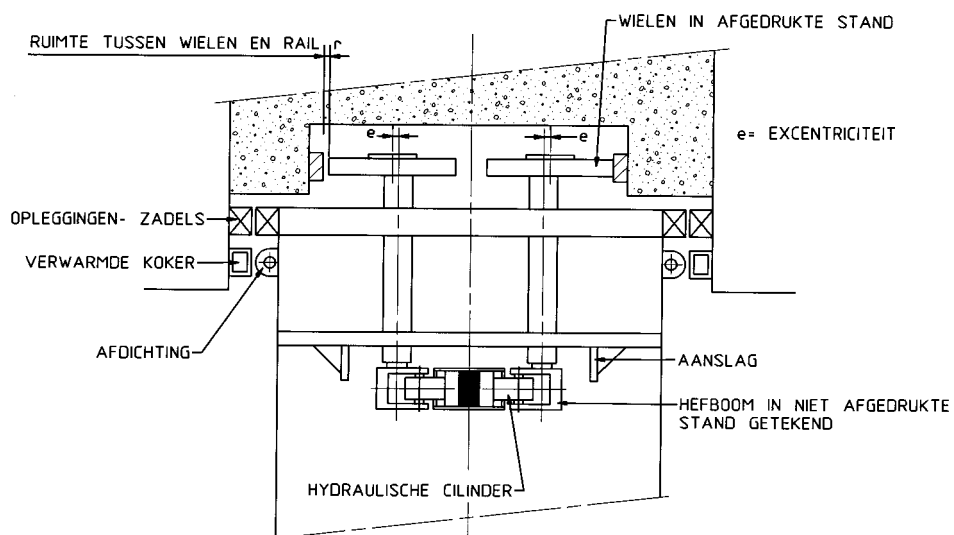
Figuur 7.116 Principe van een afdrukinrichting voor een tweezijdig kerende hefdeur



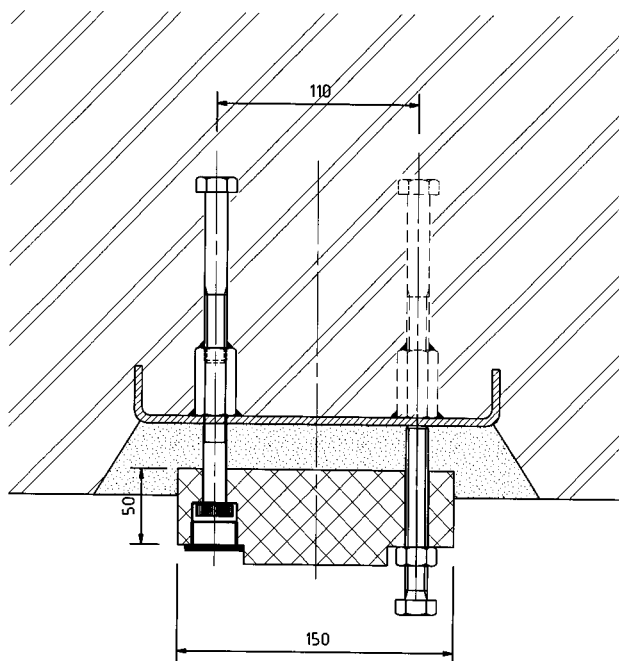
Figuur 7.117 Schema aan- en afdrukken van hefdeur (Kreekraksluizen)



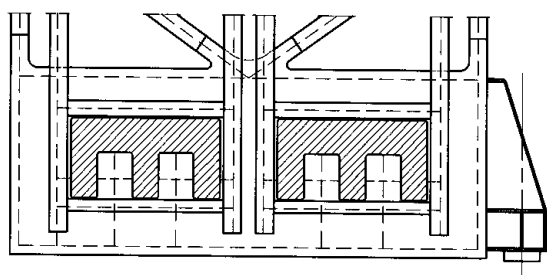
Figuur 7.118 Schema afdrukinrichting eenzijdig kerende hefdeur



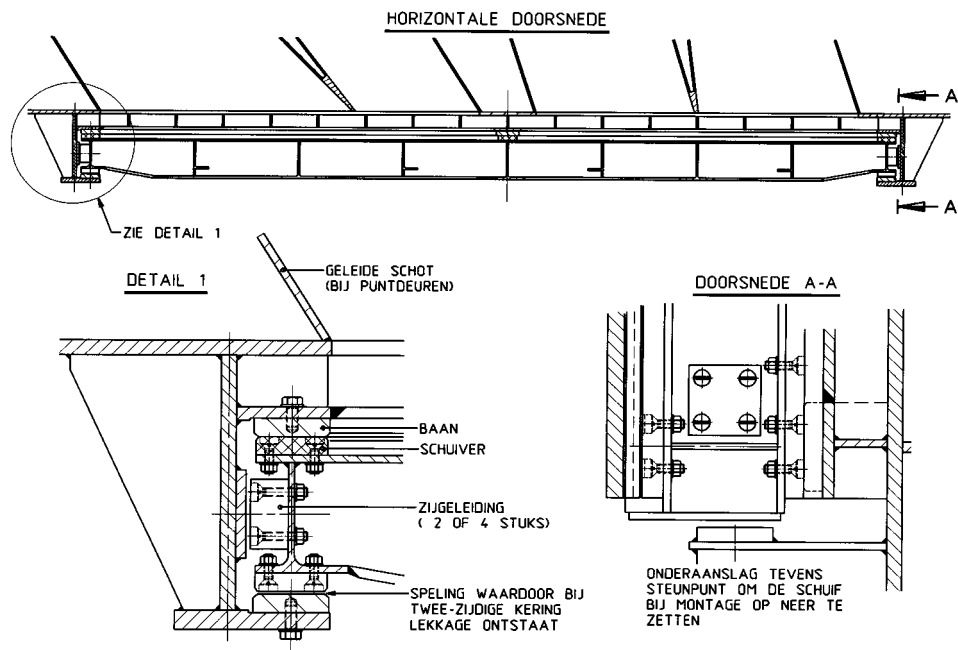
Figuur 7.119 Schema afdrukinrichting tweezijdig kerende hefdeur



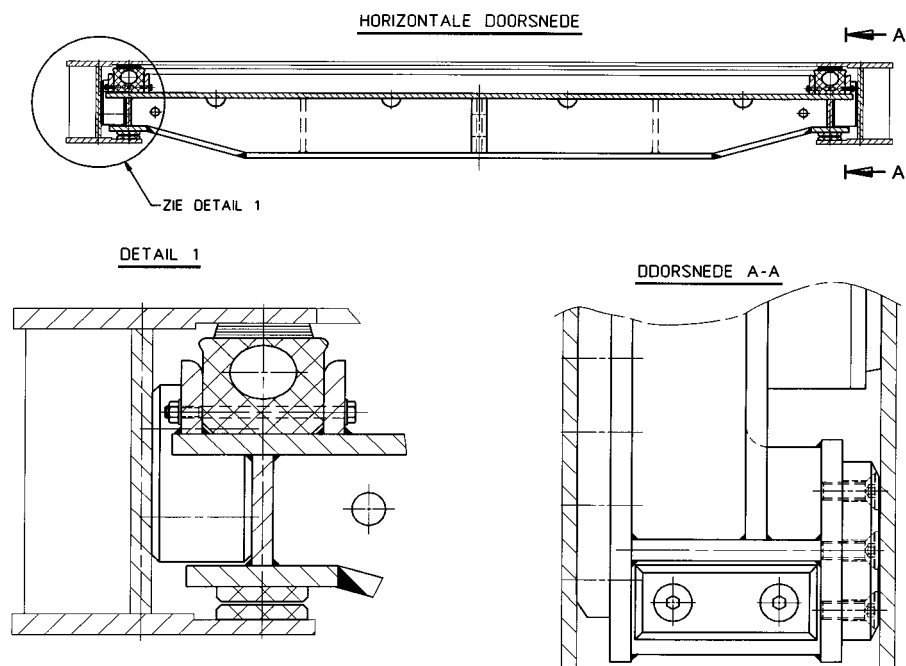
Figuur 7.120 Het stellen van een geleiding in een uitsparing



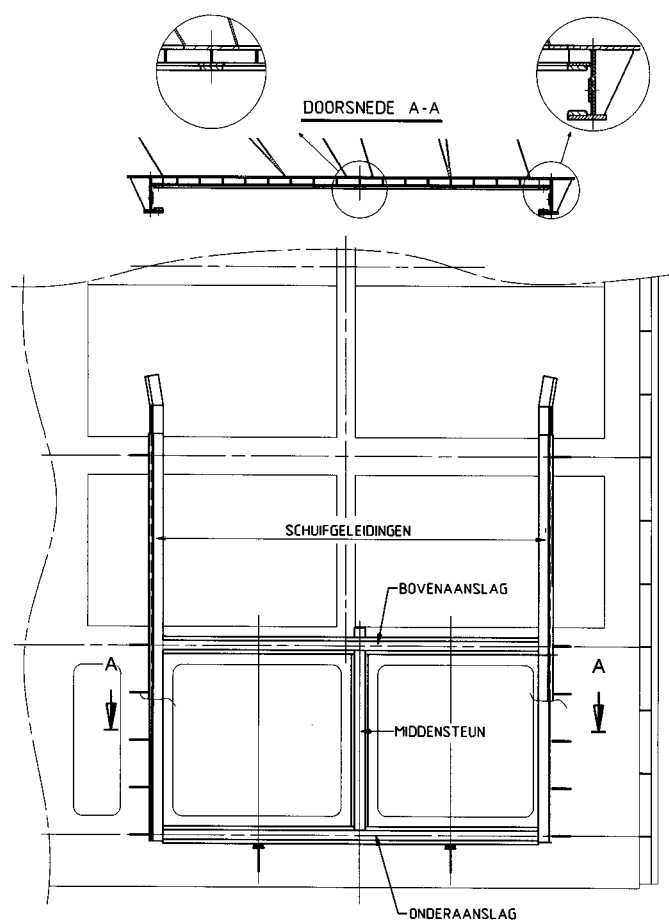
Figuur 7.121 Aangepaste nivelleeropeningen (schutsluis Nieuwe Statenzijl)



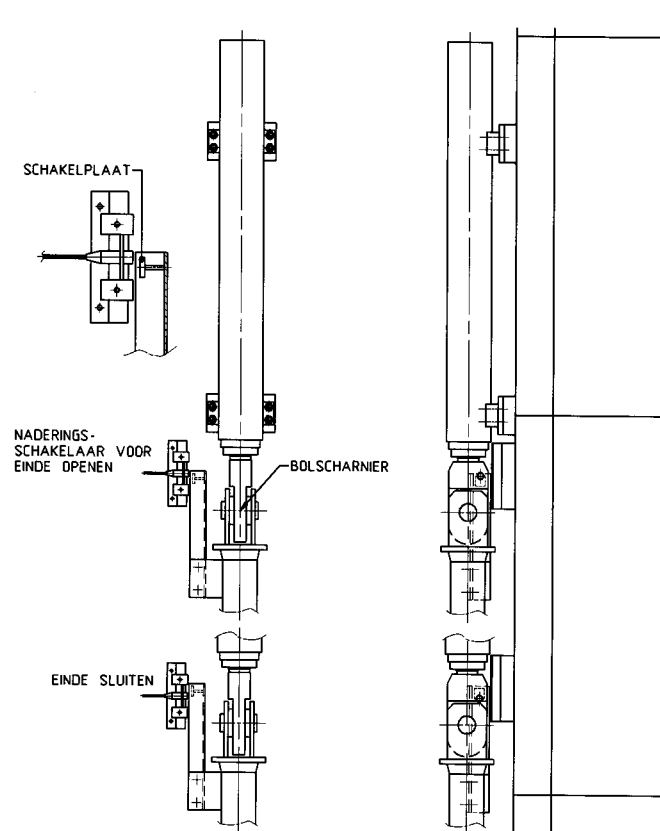
Figuur 7.122 Deurschuiven voor enkelzijdige kering en voor tweezijdige kering met getolereerde lekkage



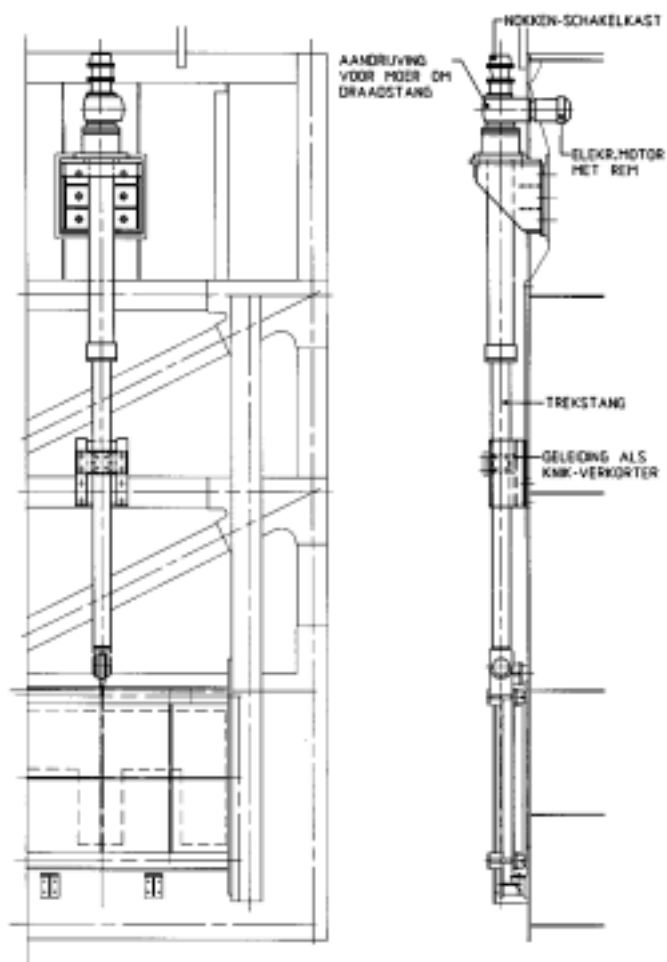
Figuur 7.123 Deurschuiven voor tweezijdige kering



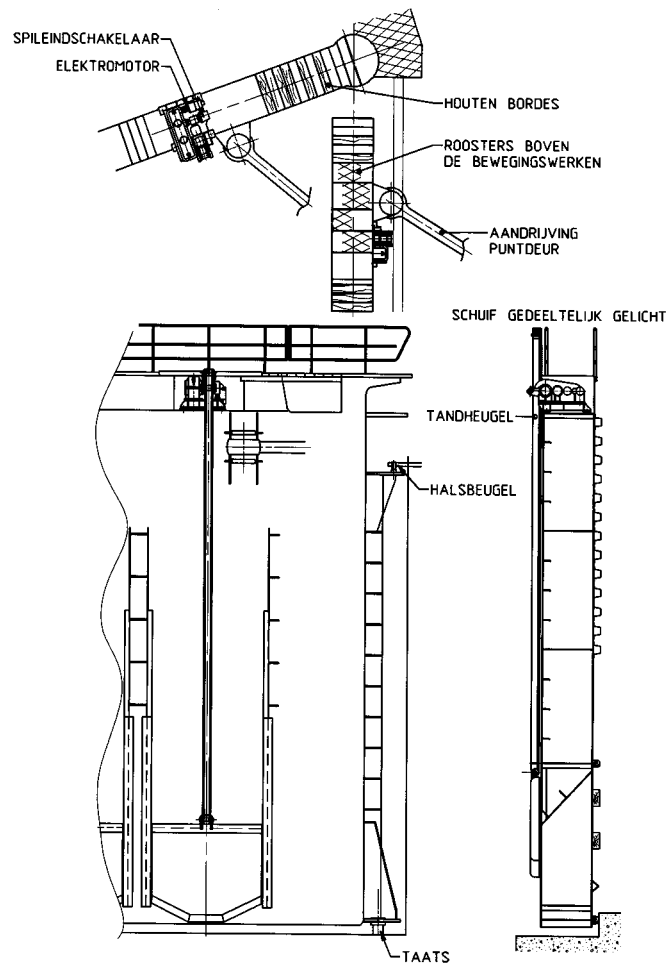
Figuur 7.124 Deurschuifgeleidingen (voor schuif van figuur 7.122)



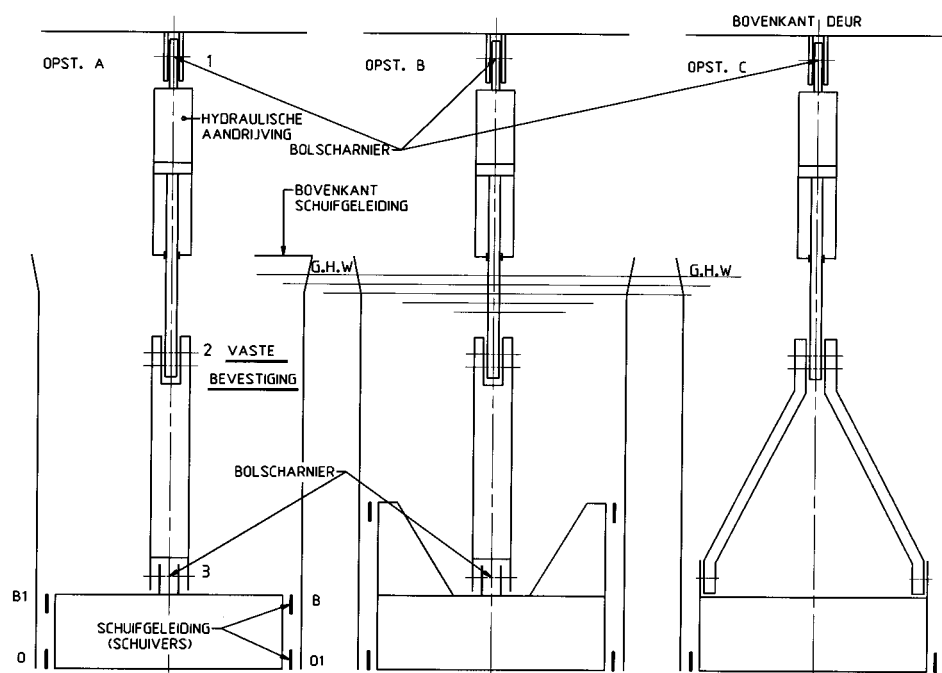
Figuur 7.125 Deurschuifbewegingswerk met hydraulische aandrijving



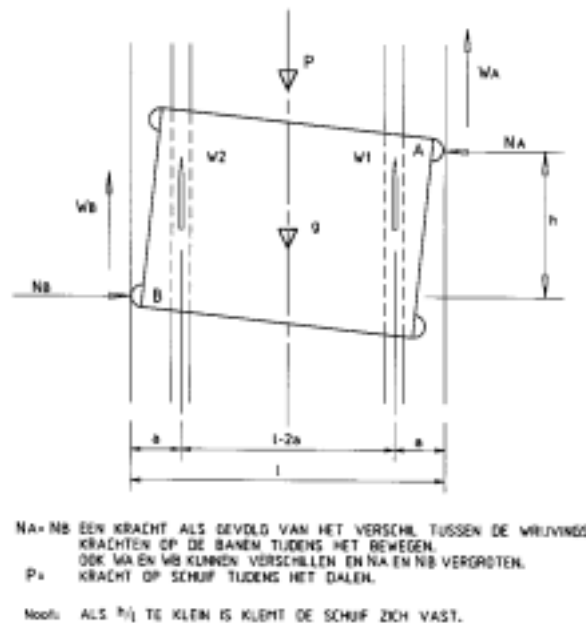
Figuur 7.126 Deurschuifbewegingswerk met spindelaandrijving



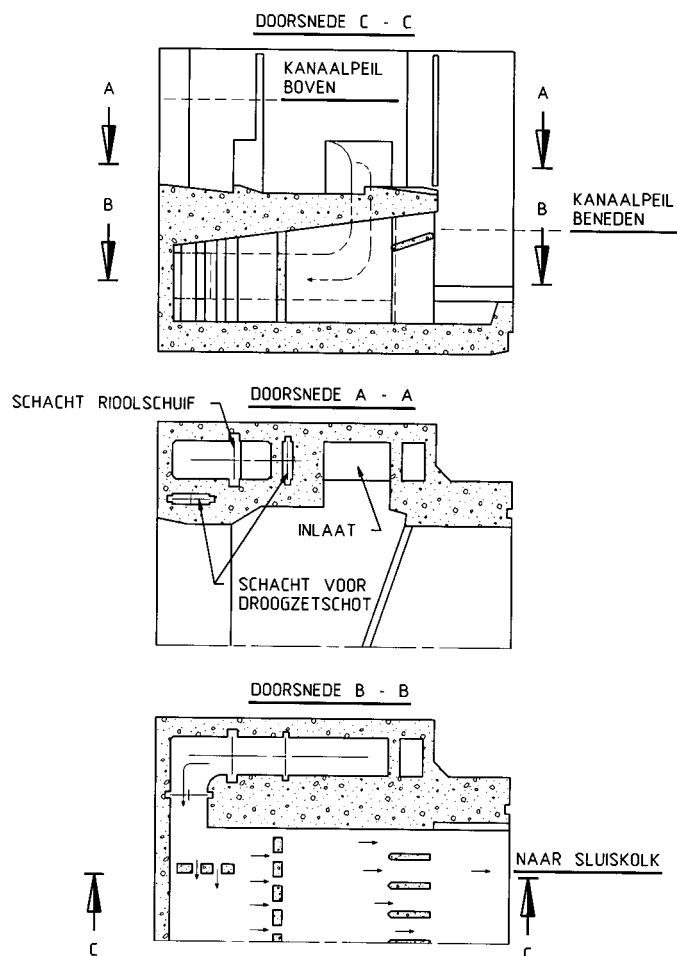
Figuur 7.127 Deurschuifbewegingswerk met heugelaandrijving



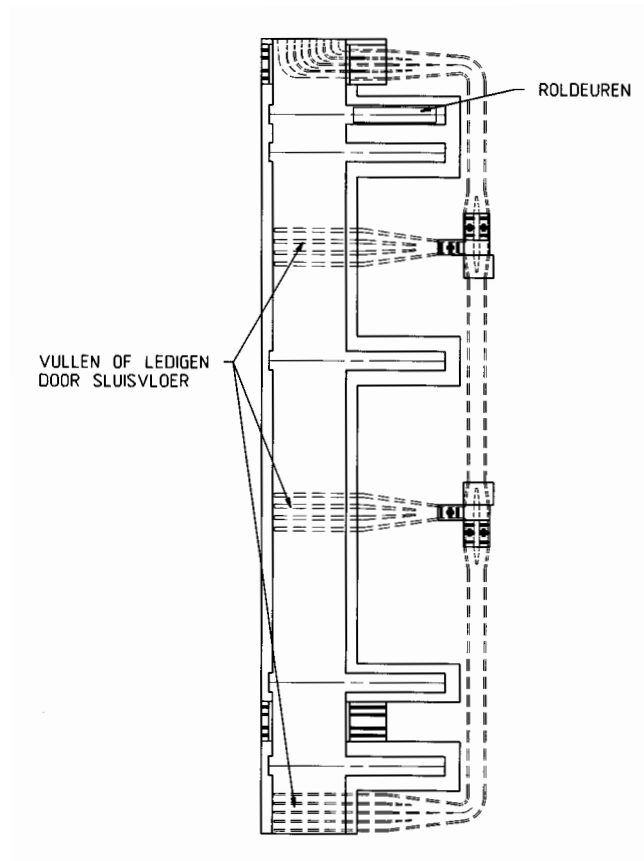
Figuur 7.128 Bevestiging bewegingswerk aan deurschuiven



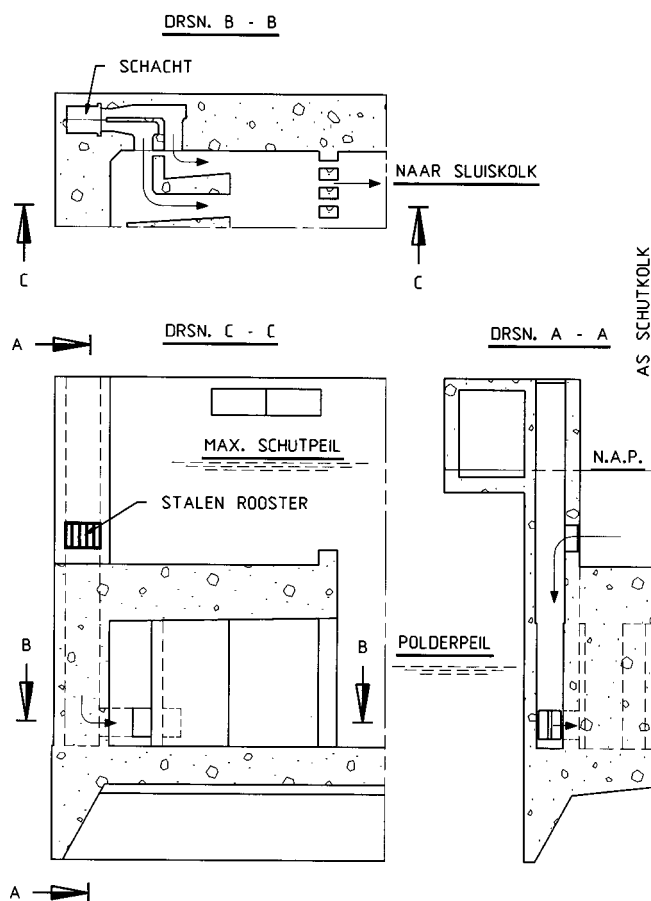
Figuur 7.129 Krachten door schranken schuif in zijn geleiding



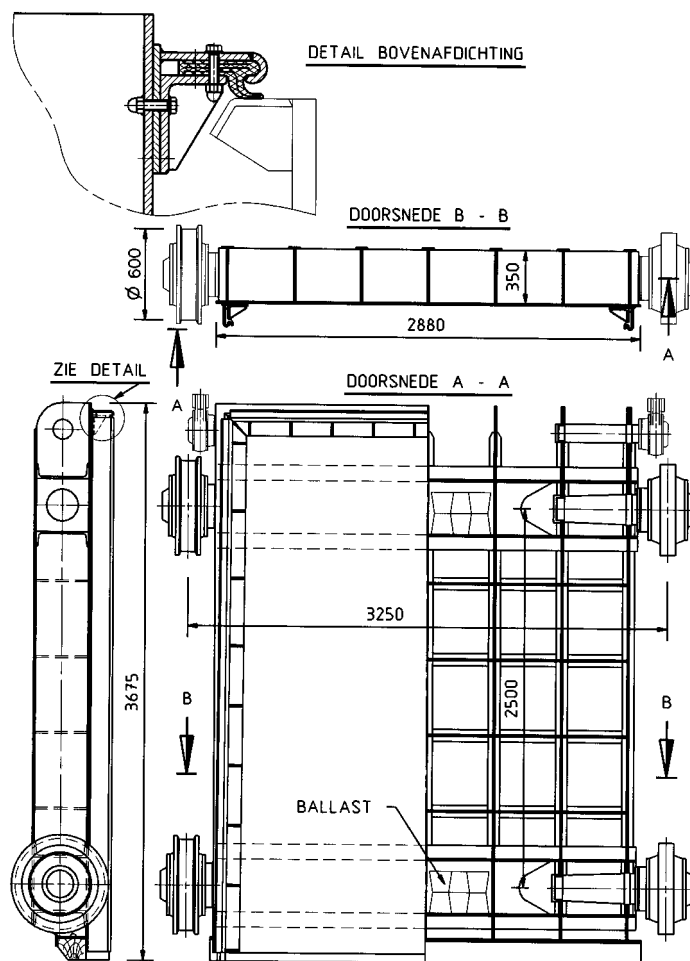
Figuur 7.130 Riolen in bovenhoofd (Schutsluizen Maasbracht)



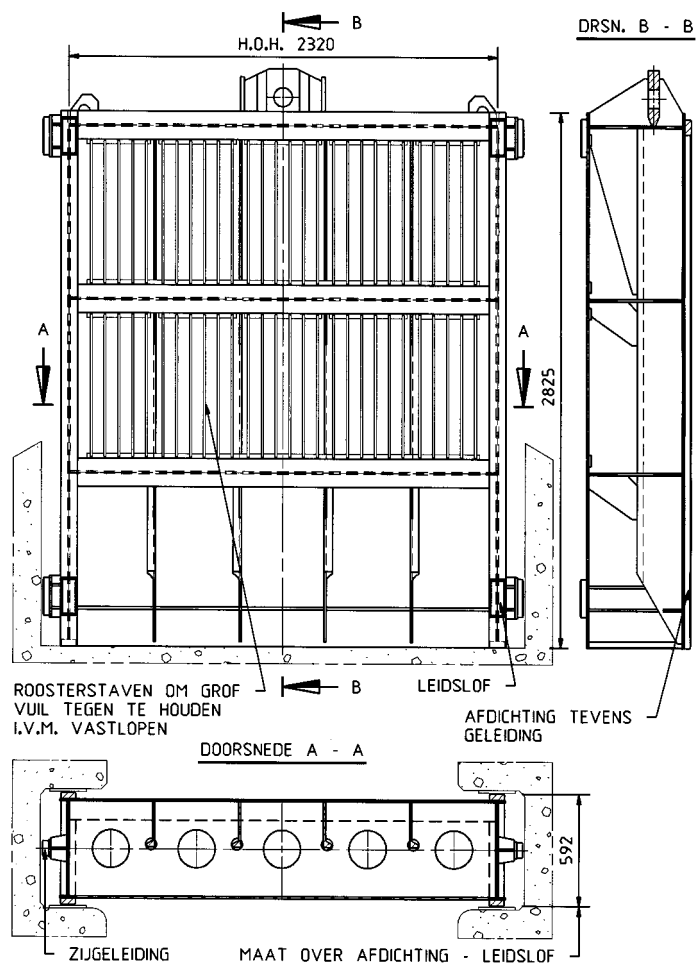
Figuur 7.131 Eenzijdige langsriolen met bodemroosters (Zeesluis Terneuzen)



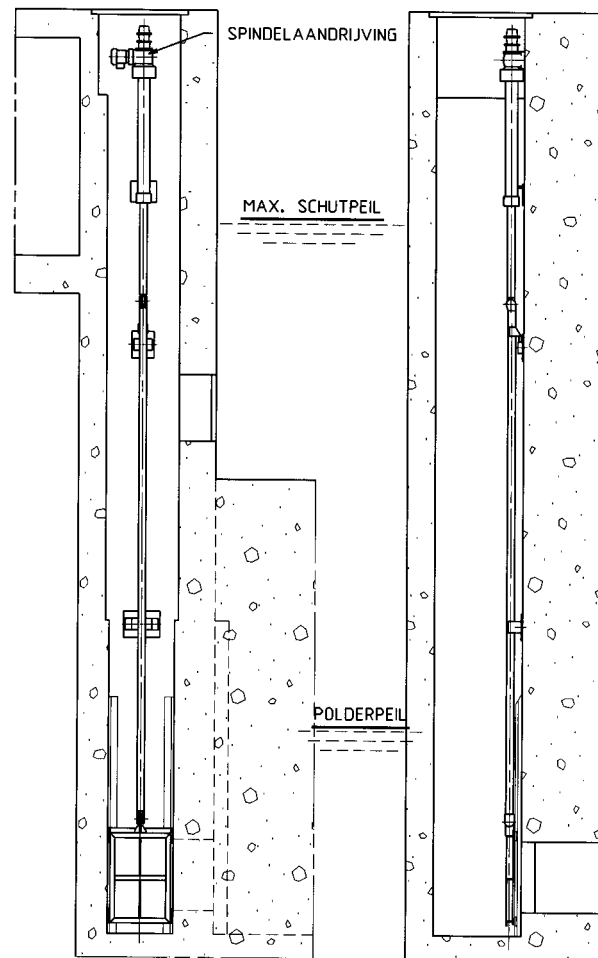
Figuur 7.132 Riolen in bovenhoofd (Schutsluis Almere-Haven)



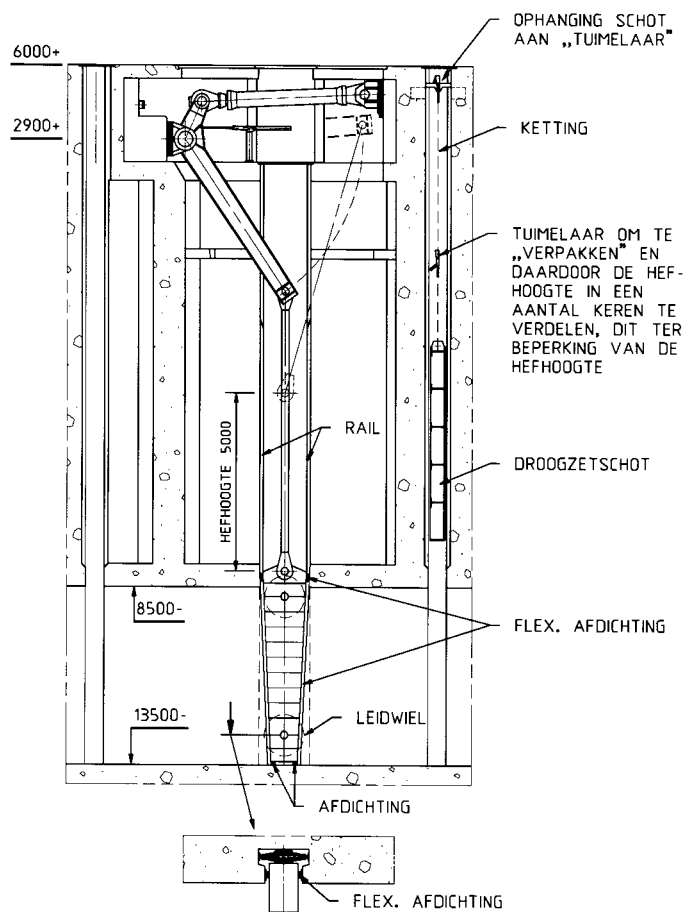
Figuur 7.133 Wielschuif (Schutsluizen Maasbracht)



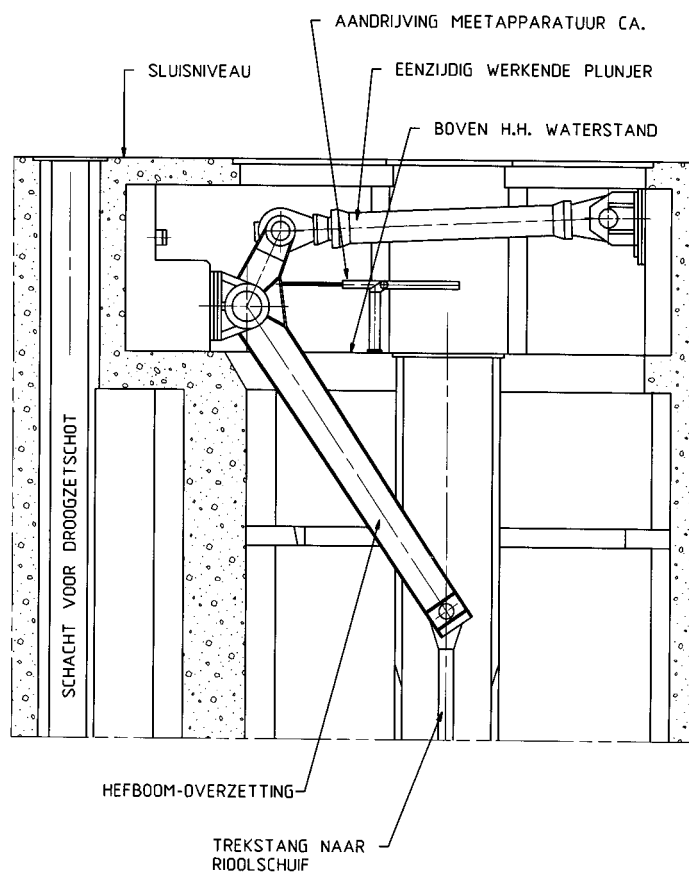
Figuur 7.134 Glijdschuif (Schutsluis Panheel)



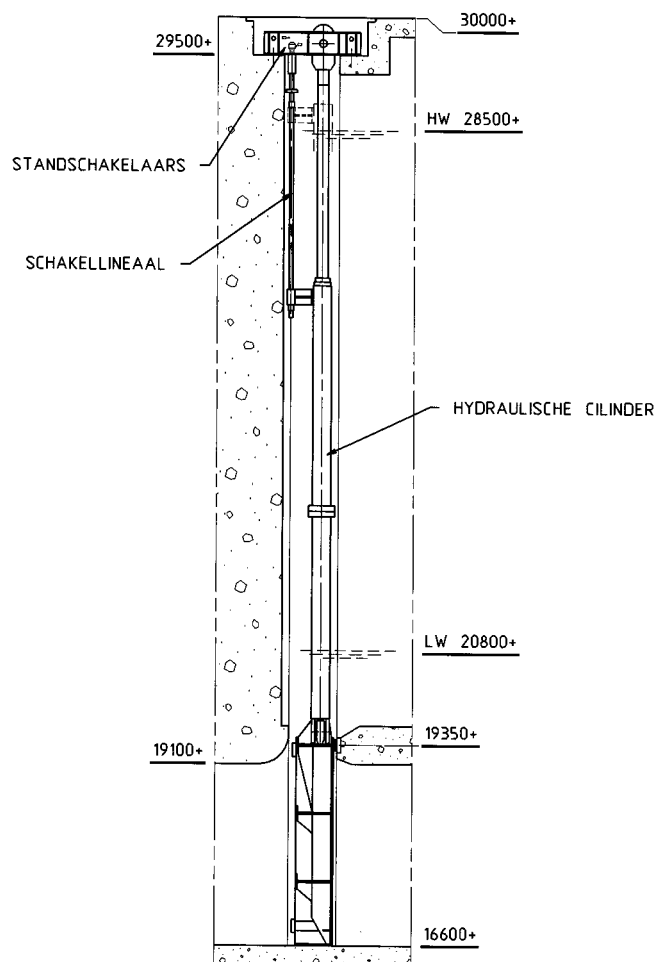
Figuur 7.135 Riolschuif voor enkelzijdige kering (Schutsluis Almere-Haven)



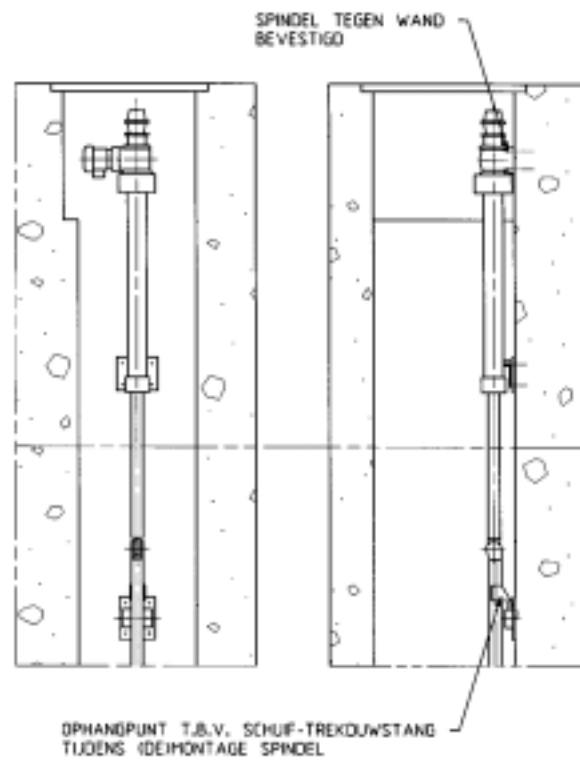
Figuur 7.136 Riolschuif voor tweezijdige kering



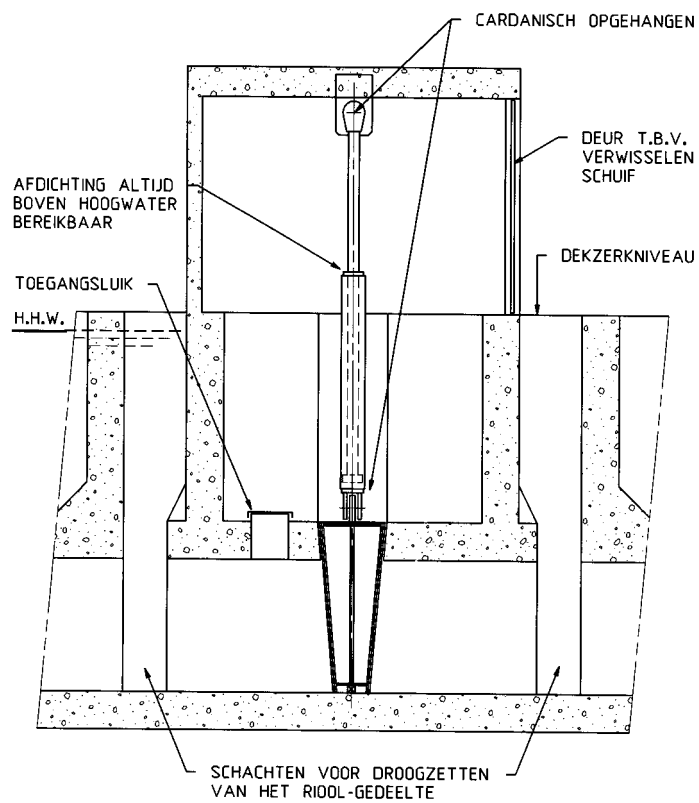
Figuur 7.137 Rioolschuifbewegingswerk met horizontaal opgestelde cilinder



Figuur 7.138 Riolschuifbewegingswerk met cilinder onder dekzerkniveau (Schutsluis Panheel)

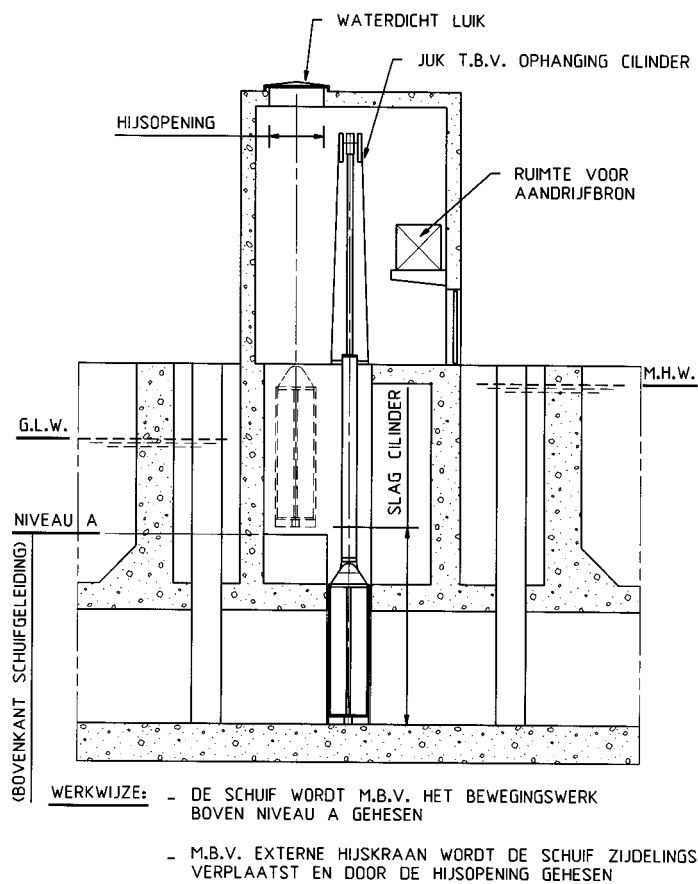


Figuur 7.139 Riolschuifbewegingswerk met spindel onder dekzerkniveau (Schutsluis Almere-Haven)

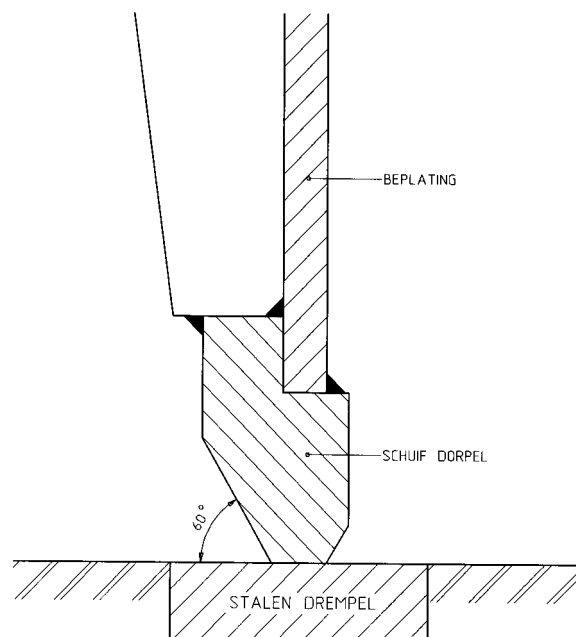


N.B. BIJ HET VERWISSELEN VAN DE SCHUIF MOET
HET BEWEGINGSWERK VERWIJDERD WORDEN

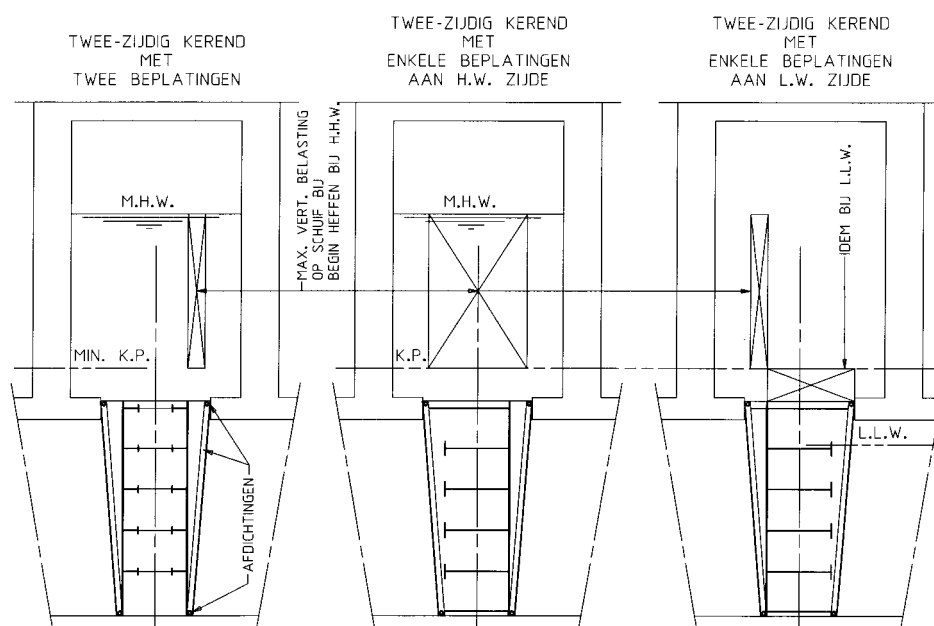
Figuur 7.140 Riolschuifbewegingswerk met cilinder boven dekzerkniveau



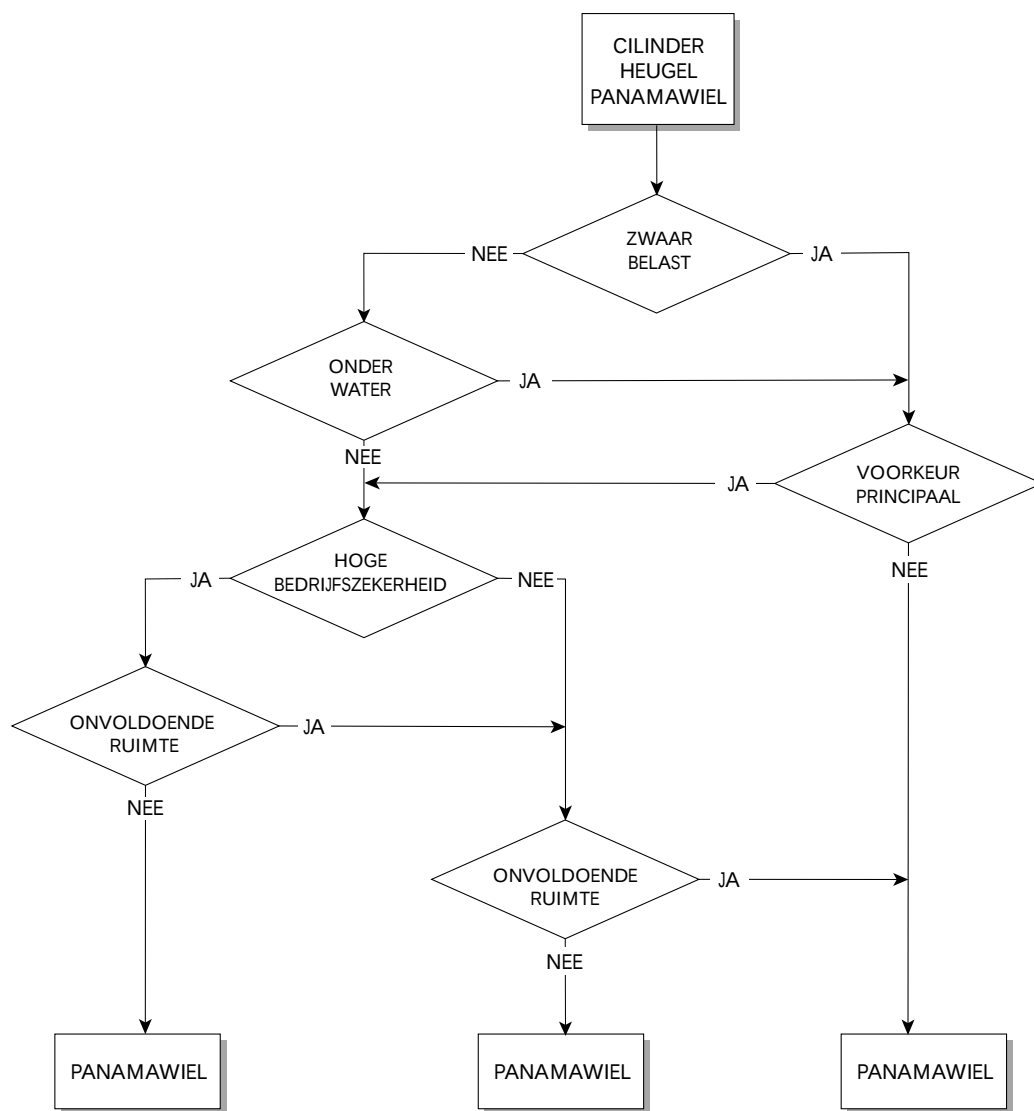
Figuur 7.141 Verwisselen van rioolschuif zonder verwijdering van bewegingswerk



Figuur 7.142 Vormgeving onderaanslag van een riolschuif



Figuur 7.143 Verticale belastingen op schuiven bij begin bewegen



Figuur 7.144 Beslisschema: keuze bewegingswerktype ten behoeve van punt-, draaideuren en deurvergrendelingen.

Type sluis	Sluisbreedte	Eenzijdig kerende puntdeuren	Dubbel stel puntdeuren	Tweezijdig kerende puntdeuren	Eenzijdig kerende draaideur	Tweezijdig kerende draaideur	Tweezijdig kerende roldeur	Eenzijdig kerende hefdeur	Tweezijdig kerende hefdeur
									
Tweezijdig kerende zeevaartsluis	Klein 6-10 m Middelgroot 10-16 m Groot 16-24 m Zeer groot > 24 m		X X X	X X X		X X	X X		
Tweezijdig kerende binnenvaartsluis	Zeer klein 4-6 m Klein 6-10 m Middelgroot 10-16 m Groot 16-24 m		X X X	X X X		X X X			X
Eenzijdig kerende binnenvaartsluis	Zeer klein 4-6 m Klein 6-10 m Middelgroot 10-16 m Groot 16-24 m	X X X			X X			X X	

Tabel 7.1 Deurtype als functie van type sluis en doorvaartbreedte

Aspect	Weegfactor	Eenzijdig kerende puntdeuren	Eenzijdig kerende draaideuren	Eenzijdig kerende hefdeuren
				
Bouwkosten	0.15	9	7	5
Onderhoud	0.20	7	8	5
Bedrijfszekerheid	0.25	7	8	9
Duurzaamheid	0.05	9	8	7
Schutcapaciteit	0.10	7	5	9
Milieu	0.05	7	8	5
Gebruiksgemak	0.15	9	7	8
Waterdichtheid	0.05	5	9	9
Totaalscore		7.6	7.45	7.15

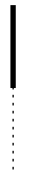
Tabel 7.2 Keuzematrix t.b.v. enkelkerende, middelgrote binnenvaartsluis, sluisbreedte 10-16 m met rapportcijfers

Aspect	Weegfactor	Eenzijdig kerende puntdeuren	Eenzijdig kerende draaideuren	Eenzijdig kerende hefdeuren
				
Bouwkosten	0.15	3	2	1
Onderhoud	0.20	2	3	1
Bedrijfszekerheid	0.25	1	2	3
Duurzaamheid	0.05	3	2	1
Schutcapaciteit	0.10	2	1	3
Milieu	0.05	2	3	1
Gebruiksgemak	0.15	3	1	2
Waterdichtheid	0.05	1	3	2
Totaalscore		2.05	2.05	1.9

Tabel 7.3 Keuzematrix t.b.v. enkelkerende, middelgrote binnenvaartsluis, sluisbreedte 10-16 m met puntentelling.

Aspect	Weegfactor	Tweezijdig kerende puntdeuren	Tweezijdig kerende draaideuren	Tweezijdig kerende roldeuren
				
Bouwkosten	0.15	9	7	4
Onderhoud	0.20	8	9	6
Bedrijfszekerheid	0.25	7	8	9
Duurzaamheid	0.05	9	8	7
Schutcapaciteit	0.10	7	5	8
Milieu	0.05	9	7	5
Gebruiksgemak	0.15	7	8	8
Waterdichtheid	0.05	5	9	9
Totaalscore		7.6	7.55	7.1

Tabel 7.4 Keuzematrix t.b.v dubbelkerende, middelgrote binnenvaartsluis, sluisbreedte 10-16 m met rapportcijfers

Aspect	Weegfactor	Tweezijdig kerende puntdeuren	Tweezijdig kerende draaideuren	Tweezijdig kerende roldeuren
				
Bouwkosten	0.15	3	2	1
Onderhoud	0.20	2	3	1
Bedrijfszekerheid	0.25	1	2	3
Duurzaamheid	0.05	3	2	1
Schutcapaciteit	0.10	2	1	3
Milieu	0.05	3	2	1
Gebruiksgemak	0.15	1	3	2
Waterdichtheid	0.05	1	2	3
Totaalscore		1.8	2.25	1.95

Tabel 7.5 Keuzematrix t.b.v dubbelkerende, middelgrote binnenvaartsluis, sluisbreedte 10-16 m met puntentelling

Aspect	Factor	Electromechanisch bewegingswerk	Electrohydraulisch bewegingswerk
Bewegingswerk onder water	0.05	3	7
Benodigde krachten	0.15	4	6
Benodigde ruimten	0.15	4	6
Problemen bij vorst	0.05	4	6
Duurzaamheid	0.15	5	3
Opbouw op het sluisplateau	nvt	-	-
Aanvaarrisico's	nvt	-	-
Bedieningstijd sluis	0.05	5	5
Bedrijfszekerheid	0.15	6	4
Onderhoudbaarheid	0.15	4	5
Kosten aspect	0.1	4	6
Totaalscore		4.5	5.0

Tabel 7.6 Keuzematrix t.b.v. deurbewegingswerk van Krabbersgatsluizen (binnenvaart-/recreatievaartsluis), sluisbreedte 12.5 m, dubbelkerend, max. pos. verval 3.20 m en max. neg. verval 1, met rapportcijfers.

Hoofdstuk 8 **Sluishoofden**

8.1 Inleiding

De vormgeving en inrichting van een sluishoofd zijn geheel afhankelijk van het toegepaste type deur met bijbehorend bewegingswerk. Daarom wordt, na behandeling in par. 8.2 van de functionele eisen van het sluishoofd, in par. 8.3 de vormgeving behandeld. Daarbij wordt een onderverdeling gemaakt in hoofden met respectievelijk punt-, draai-, rol(/glij)- en hefdeuren.

Voor al deze deuren moeten in de betonconstructie van de hoofden voorzieningen worden ingestort zoals aanslagen, draaipunten en geleidingen. Teneinde de deuren goed te laten functioneren, moeten deze voorzieningen met een grotere nauwkeurigheid worden aangebracht dan normaliter bij de betonconstructies verwacht mag worden. Om die reden is par. 8.4 gewijd aan de hiervoor te nemen maatregelen, zoals het maken van sparingen en het plaatsen van stelconstructies.

In par. 8.5 worden de constructies en bouwmethoden behandeld, die mogelijk zijn voor sluishoofden. In dwarsdoorsnede bestaat de constructie uit een gewapend-betonnen bak, die met het oog op de vormvastheid zonder scharnieren wordt uitgevoerd. Alleen bij brede en diepe zeesluizen uitgerust met roldeuren (Terneuzen), zijn wel eens scharnieren in de bodemplaat toegepast. Dan zijn bijzondere voorzieningen nodig voor de stalen fundaties en de bevestiging van de railbanen. Als bouwmethoden komen onder meer in aanmerking een uitvoering in de bemalen bouwput (mits bemaling is toegestaan), in een stalen damwandkuip met bodemafluiting of als pneumatisch afgezonken caisson.

Par. 8.6 geeft indicaties welke varianten in welke situaties mogelijk zijn. Bepaalde varianten lenen zich bijvoorbeeld vooral voor sluishoofden met grote afmetingen (breed en diep) en andere worden toegepast indien bemaling niet is toegestaan.

Aan het eind van dit hoofdstuk zijn de figuren en tabellen ondergebracht, waar zij worden gevolgd door een appendix.

8.2 Functionele eisen

Vormgeving en constructie van de hoofden moeten aan de volgende eisen voldoen.

1. De hoofden moeten de ruimte omsluiten waardoor de schepen op veilige en vlotte wijze de kolk kunnen binnenvaren en verlaten. De benodigde breedte-, diepte- en hoogtematen kunnen worden ontleend aan par. 4.2. en par. 4.4. De aan de kolk grenzende gedeelten van de hoofden worden binnen de stopstreden gebruikt voor het afmeren en afgemeerd houden van schepen tijdens het op- en afschutten (nivelleren).
2. De hoofden dienen plaats te bieden aan de deuren en hun bewegingswerken en wel zodanig dat de deuren zich in geopende stand buiten het vrije profiel voor de scheepvaart bevinden en zo min mogelijk kwetsbaar zijn voor aanvaring. In kerende stand moeten de deuren hun belastingen kunnen afdragen aan de hoofden, waarbij ingestorte aanslagen zorgen voor een goede waterafdichting tussen deuren en hoofden. Voor het openen en sluiten van de deuren worden behalve bewegingswerken ook draaipunten (bij punt- en draaideuren) en geleidevoorzieningen (bij rol-, glij- en hefdeuren) aangebracht. Bij draaideuren die ook averechts moeten keren, zijn vergrendelingen en uitsparingen in het hoofd daarvoor noodzakelijk. Behalve kelders voor de bewegingswerken zullen in de hoofden meestal ook ruimten voor elektrische installaties worden aangebracht. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van deurkassen, -nissen, -sponningen, heftorens en dergelijke, wordt verwezen naar par. 8.3.
3. De hoofden worden als regel uitgerust met voorzieningen voor het in den droge kunnen onderhouden van draaipunten, oplegstoelen, aanslagen, geleiderail en andere constructies voor de deuren die in en aan het beton zijn bevestigd. Het droogzetten kan geschieden met behulp van schotbalken of met lokale voorzieningen zoals taatskuipen. Voor schotbalken worden altijd sponningen in de betonconstructie aangebracht. Voor taatskuipen gebeurt dat ook vaak. Indien - bij schotbalken - het gehele hoofd wordt drooggezet, moet opdrijving worden voorkomen door het gewicht van het hoofd, trekpalen en eventueel het gewicht van de grond naast het hoofd, door de vloer buiten de wanden voort te zetten.
4. Bij vervallen groter dan 6 m geschiedt het vullen en ledigen van de kolk vaak via riolen. Behalve de riolen zullen dan ook schuifschachten en ruimten voor de bewegingswerken in de hoofden worden opgenomen met voorzieningen die het mogelijk maken de schuiven te plaatsen, te verwijderen of te onderhouden. In bepaalde gevallen (onder meer bij de sluiscomplexen Born en Maasbracht) zijn voor de vernietiging van de energie van het instromende water woelkelders in het bovenhoofd gebouwd onder de vloer van de invaartopening.
5. Waar zoet/zout-scheidingsproblemen spelen, kunnen eenvoudige voorzieningen, zoals sponningen voor luchtbellenschermen, dan wel ingrijpende aanpassingen van de gebruikelijke vormgeving van hoofden en kolk noodzakelijk zijn (zie hoofdstuk 21).
6. Het is niet ongebruikelijk beweegbare bruggen ter plaatse van de hoofden te projecteren. In verband met de grotere doorvaarthoogte verdient situering op het benedenhoofd de voorkeur. Bij sluizen in tijgebieden is dit niet zonder meer de beste oplossing, terwijl ook de lay-out van de infrastructuur een kruising ter plaatse van het bovenhoofd kan vragen. Afhankelijk van het type brug zullen in het hoofd ruimten worden opgenomen voor bewegingswerken en dergelijke. Eventueel voor een bascule, terwijl voorzieningen worden aangebracht voor de brugoplegging, draaipunten, hameistijlen (bij een ophaalbrug) en dergelijke.
7. De constructie van de sluis moet de belastingen kunnen opnemen die worden veroorzaakt door grond- en waterdrukken, bewegingswerken, scheepvaart en landverkeer. Tot de scheepvaartbelastingen behoren scheepsstoten en troskrachten. In de waterdrukken zijn begrepen de drukken die op de deuren werken en eventueel op de schotbalken.

De constructie moet in twee richtingen worden gecontroleerd op sterkte, stabiliteit en stijfheid: in dwarsrichting loodrecht op de sluisas en in langsrichting parallel met die as. In langsrichting gaat het vooral om de stabiliteit waarop nader wordt ingegaan in par. 13.6.2.2 en 13.6.2.4. Afhankelijk van de kwaliteit van de grondslag en de kosten, zal de fundering worden uitgevoerd als fundering op staal, op grondverbetering of op palen. In sommige gevallen functioneert de damwandkuip, die wordt gebruikt voor de bouw van het hoofd, later als definitieve fundering.

De sluishoofden moeten voldoende vormvast, dus stijf worden uitgevoerd voor het goed functioneren van de deuren en bewegingswerken (bewegen, krachtoverdracht en waterafdichting). Zie par. 8.4 voor een uitvoeriger behandeling.

8. De constructie van de hoofden moet grond- en waterdicht worden uitgevoerd. De waterdichtheids-eis geldt niet voor kelders waarin bewegingswerken zijn opgesteld die zich tijdelijk probleemloos onder water kunnen bevinden. De hydraulische aandrijving van punt- en draaideuren is daarvan een goed voorbeeld. Andere bewegingsinstallaties zoals kabels voor roldeuren, die gevoelig zijn voor zoutwater, worden waar mogelijk in droge kelders opgesteld. Voor kolkvloeren zijn varianten met een steenbestorting mogelijk. Vloeren van hoofden worden altijd uitgevoerd als een gesloten betonnen plaat. Daarbij staat niet de waterdichtheid voorop, maar de hiervoor bij 7. geformuleerde eis inzake de beperkte vervormingen van het hoofd, dus de maattoleranties van aanslagen en dergelijke. De waterdichtheid speelt wel een rol bij het eventueel kunnen droogzetten voor onderhoud (zie hiervoor punt 3.).
9. Oppervlakken die door langsvarende schepen kunnen worden geraakt en oppervlakken waarlangs schepen eventueel kunnen afmeren, dienen zo vlak mogelijk te worden uitgevoerd teneinde een minimum aan aangrijpingspunten op te leveren voor beschadiging van de constructie en/of de schepen. Uitspringende hoeken aan de dagzijden van deuren en nissen, worden zoveel mogelijk afgerond en voorzien van stalen hoekbeschermingsprofielen of andere voorzieningen. Bij dilatatievoegen (overgang hoofd naar kolk) kan worden volstaan met fors bemeten vellingkanten. De aansluiting van de wand van het hoofd op die van de kolk dient zo te worden uitgevoerd dat ongelijke vervormingen van deze wanden met verschillende stijfheden (en dus uitspringende, voor aanvaring gevaarlijke hoeken) geen risico's opleveren. Indien bijvoorbeeld de kolk eveneens als gewapend-betonnen bak is uitgevoerd, kan dit worden gerealiseerd door ter plaatse van de dilatatievoeg de wand van de kolk met een tand te "verhaken" achter een uitsparing in het kopse vlak van de muur van het hoofd. De slappere kolkmuur wordt dan tegengehouden door de stijvere wand van het hoofd. Ook bij de overgang naar de fuik zijn uitspringende hoeken niet op hun plaats. Tegen beschadiging door trossen en dergelijke worden aan de bovenzijde van de wanden stalen dekzerkprofielen aangebracht.
De wapening van de dagzijde van de hoofden krijgt een grotere betondekking dan de vbc voorschrijft. De extra dekking zorgt ervoor dat bij eventuele beschadiging door schepen (groeven, butsen) voldoende dekking overblijft tegen corrosieaantasting van de wapening. Aan de dagzijde van de wanden bedraagt de dekking 60 mm en aan de grondzijde 50 mm.
10. In par. 2.4.3.1 is beschreven hoe de afmeervoorzieningen (haalkommen en bolders) voor de scheepvaart moeten worden gesitueerd aan de kolkzijde van het hoofd. Ook aan de voorhavenzijden moeten in de hoofden naast de deuren en nissen afmeervoorzieningen worden aangebracht voor werkschepen tijdens het monteren, demonteren en onderhouden van deuren en dergelijke. Bij meerdere deuren in één hoofd worden bovendien haalkommen en bolders aangebracht in en op het penant tussen de deuren en nissen.
11. Het treffen van maatregelen voor het beperken van grondwaterstromingen en daarmee het voorkomen van piping, is geen specifieke eis voor de sluishoofden, maar geldt voor het sluislichaam in zijn totaliteit. Het wordt wél een specifieke eis indien de kolkbodem doorlatend wordt uitgevoerd (steenbestorting op een filter). Maar in beide gevallen worden onder- en achterloopsheidschermen ter plaatse van de hoofden aangebracht. Bij een eventueel tussenhoofd heeft dit alleen zin, indien de kolkbodem doorlatend is of wanneer bij een fundering op palen de vorming van doorgaande spleten onder de vloer voorkomen moet worden. De plaatsing van de schermen aan de voorhavenzijden van de hoofden is zinvol omdat daardoor de opwaartse grondwaterdrukken

onder het bovenhoofd beperkt worden (gunstig voor de langsstabiliteit, zie ook par. 13.6.2.4). Verder zal eventuele erosie of andere aantasting van de bodem van de voorhaven niet direct tot ontgronding onder en stabiliteitsverlies van de hoofden leiden. De plaatsing aan de voorhavenzijden biedt tevens de mogelijkheid de schermen te combineren met de vleugelwanden.

12. Aan beide uiteinden van het sluislichaam moeten overgangen worden gemaakt van de bakvormige doorvoering van de vaarweg door de sluis naar het als regel trapeziumvormige dwarsprofiel van de voorhavens. Dit kan als volgt:
 1. grondkerende vleugelwanden haaks op de sluisas aanbrengen aan de voorhavenzijde van de hoofden. In dat geval worden de fuiken begrensd door geleidewerken;
 2. fuiken en eventueel de aangrenzende opstelruimten etc. begrenzen door grondkerende wanden. Ter plaatse van de beëindigingen van deze wanden aan de kanaalzijde zullen vleugelwanden haaks op de kanaalas moeten worden gemaakt om het hoogteverschil tussen het terrein ter weerszijden van de fuik en het kanaaltalud te keren.

Welke oplossing wordt gekozen hangt af van de situatie en de kosten. Uit het oogpunt van scheepvaartgeleiding en krachten op de bewegende deur verdient oplossing 1. de voorkeur. Damwandfuiken (oplossing 2) worden tegenwoordig alleen bij kleinere sluizen toegepast.

13. Meer en meer wordt de eis gesteld dat tijdens de bouw de grondwaterstand niet of slechts in beperkte mate mag worden verlaagd. Op de consequenties van deze eis voor de bouwmethode wordt nader ingegaan in par. 8.5 en 8.6
14. De situatie en de beschikbare ruimte kunnen beperkingen opleggen aan de deurkeuze (ruimtebeslag van de deuren van roldeuren) maar ook aan de bouwmethode voor hoofden en kolk. Uit dien hoofde kan het noodzakelijk zijn niet te kiezen voor een bouwput met taluds, maar bijvoorbeeld voor een bouwkuip begrensd door damwanden. Een bouwkuip kan ook de aangegeven oplossing zijn bij uitvoering in open water (Nieuwe Oranjesluis). Indien gebouwd wordt naast een bestaande schutsluis is deze bestaande sluis een randvoorwaarde waaraan niet getornd kan worden. Voor een bepaalde nabijgelegen bebouwing of landbouwgebruik van de grond is het echter denkbaar de eventuele meerkosten van een smalle bouwkuip af te wegen tegen de kosten van onteigening, tenzij dit laatste om planologische redenen geen reële mogelijkheid is. Bij situering van een nieuwe sluis naast een bestaande is het overigens denkbaar een economisch optimum te vinden tussen een voor de definitieve situatie gewenste ligging met beide sluizen dicht naast elkaar en een voor de bouw van de tweede sluis aantrekkelijker oplossing met een wat grotere tussenafstand. Overigens is de stabiliteit van de bestaande sluis maatgevend voor de minimum afstand tussen beide kunstwerken.

8.3 Vormgeving hoofden

8.3.1 Hoofd met puntdeuren



Foto 8.2 Benedenhoofd met puntdeuren van Tweede Sluis te Lith

In fig. 8.1 is de algemene vormgeving van het sluishoofd aangegeven met de daarin opgenomen ruimten en voorzieningen voor de puntdeuren en bewegingswerken. Zoals vermeld in par. 7.4.2 zijn verschillende typen bewegingswerken mogelijk. In fig. 8.1 zijn de ruimten voor een hydraulische cilinder getekend.

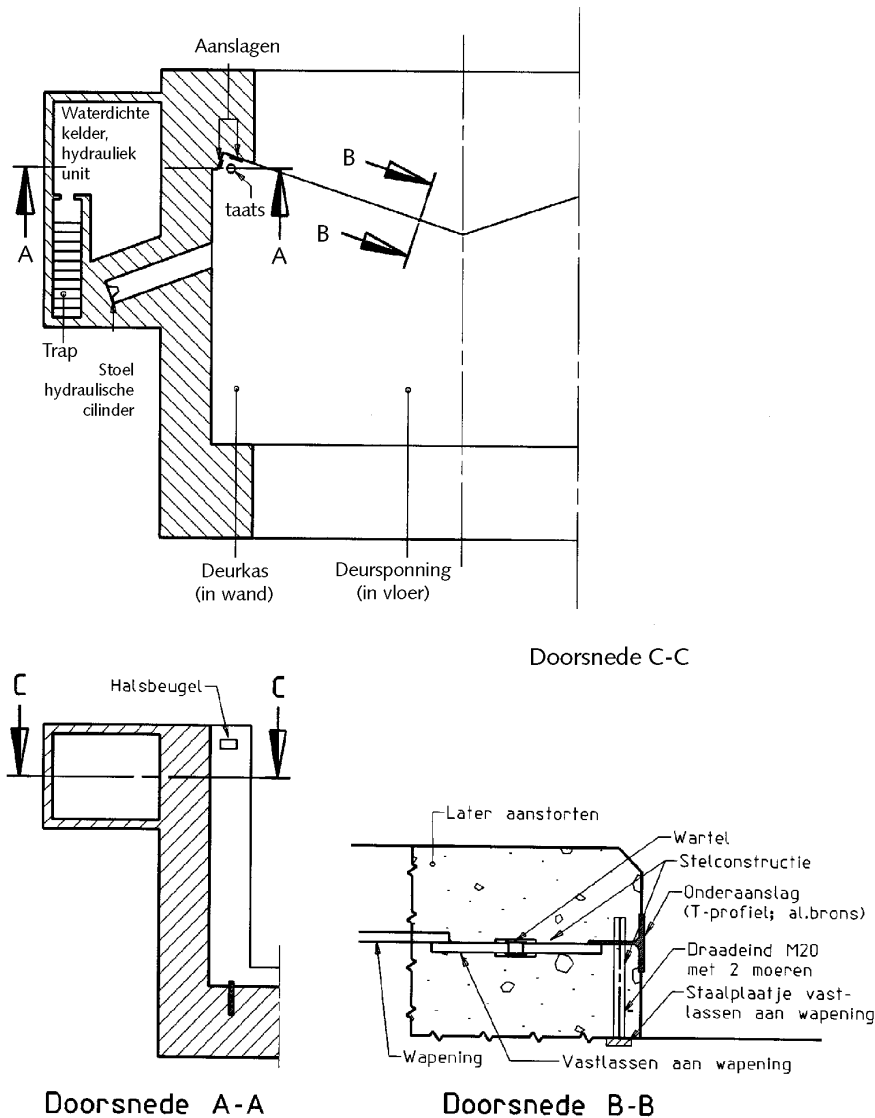
De deurkasten bevinden zich in de wanden. De deuren hebben een dikte van $1/16$ tot $1/20$ van de doorvaartbreedte van de sluis. Bij geopende deur strookt de voorzijde van de wrijfhouten op de deur met die van de kolkmuur en dus die van de penanten van het hoofd. In die stand is de ruimte tussen deur en deurkaswand gelijk aan ca. $0,4 \times$ de deurdikte; de ruimte tussen deurtip en deurkas in de lengterichting van de sluis is ongeveer $0,8 \times$ de deurdikte.

Ter plaatse van de kas zijn aan de betonconstructie de halsbeugel, of het vast uitgevoerde bovendraaipunt, de taats en de aanslagen bevestigd. De taats wordt ingestort in de vloer van de kas.

Bij een halsbeugel (een bovendraaipunt met speling) worden twee verticale aanslagen toegepast: één nagenoeg in het verlengde van de deuras voor krachtsoverbrenging en één haaks daarop voor krachtsoverbrenging en waterdichting. Bij grote stalen puntdeuren worden soms twee stalen oplegstoelen toegepast in plaats van een doorgaande aanslag. In par. 7.2.2.4 en de daarbij behorende fig. 7.21, is aangegeven hoe de plaats van het vrijdraaipunt voor een bovendraaipunt met speling wordt bepaald en daardoor die van de draaiings-as van de deur, de taats en de halsbeugel.

Bij een vast uitgevoerd bovendraaipunt kan worden volstaan met één aanslag, die uitsluitend de waterdichting verzorgt. De plaats van het draaipunt is afhankelijk van de mate van indrukking van de afdichting. De plaats van dit draaipunt wordt dus op constructieve gronden bepaald.

Aan de deurkaswand worden houten aanslagen bevestigd waartegen de deur in geopende stand wordt voorgespannen om klapperen door wind- en scheepsgolven te voorkomen. De aanslagen zijn ook bestemd voor het opnemen van stoten bij eventuele aanvaring.



Figuur 8.1 Voorbeeld vormgeving hoofd met puntdeuren

De lengte van het penant naast de deurkas (gemeten in de richting van de sluisas) moet zodanig zijn dat voldoende meewerkend oppervlak ontstaat voor het opnemen van de kracht vanuit de deur in combinatie met die veroorzaakt door de grond- en waterdrukken op de wand. De bepalende doorsnede ligt net boven de vloer waar de momenten (buiging en torsie) en de dwarskrachten het grootst zijn. Uiteraard speelt niet alleen de lengte maar ook de dikte van het penant (loodrecht op de sluisas) daarbij een rol. Soms wordt de lengte van het penant bepaald door de lengte die nodig is voor het in te storten trekanker van de halsbeugel. Bij sluishoofden die kunnen worden drooggezet, moet de lengte van de penanten voldoende zijn voor het aanbrengen van schotbalksponningen en het opnemen van de krachten vanuit de schotbalken als gevolg van de waterdrukken.

Voor het maken van de onderaanslag van de deuren in verband met de waterafdichting en voor het vrij kunnen bewegen, wordt in de vloer van het hoofd een verdiept gedeelte uitgespaard. Van deze deursponning (N.B. benaming volgens Jitta) is de vorm aangegeven in doorsnede C-C van fig. 8.1. De onderaanslag van de deur wordt ingebetonneerd in het verticale vlak, dat de sponning aan de laagwaterzijde begrenst (doorsnede B-B, fig. 8.1). Deze onderaanslag zorgt vrijwel alleen voor de afdichting van de deur en niet voor de krachtoverdracht.

De diepte van de sponning is de som van de afstand van de bovenzijde van de vloer tot het hart van de aanslag (a), de afstand van het hart van de aanslaglijst op de deur tot de onderzijde van de deur (b) en de speling onder de deur (c). Deze speling is nodig om de kans op vastlopen tegen eventuele obstakels

op de vloer van de sponning (zoals grindbiggels) te verkleinen en eventueel voor het doorhangen van de deur. Maat a wordt bepaald door de vereiste breedte van de aanslag (een T-profiel van aluminium-brons, tenzij sprake is van een vrijdraaipunt) en de krachtsoverdracht vanuit het profiel naar de betonconstructie (hoewel de hoofdfunctie van de aanslag waterafdichting is zullen hier ook krachten worden ingeleid). Bij veel bestaande sluizen is de totale sponningdiepte 0,70 m, met respectievelijk 0,20 m voor (a) en 0,20 à 0,25 m voor (c). Tegenwoordig bedraagt de sponningsdiepte meestal 0,50 m, met 0,20 m voor (a) en 0,15 m voor (c).

In fig. 8.1 zijn de kelders voor de hydraulische aandrijving getekend: één voor de hydraulische cilinder en één voor de tank, pompen en andere hydraulische appendages. De eerstgenoemde kelder kan bij hoge waterstanden onderlopen, de tweede is waterdicht afgesloten.

Bij mechanische aandrijvingen is de vormgeving van de kelders afhankelijk van de te verwachten hoogste waterstand. Als die waterstand, zoals bij sluizen in kanalen, dezelfde is als die, waarbij de deuren nog bewogen moeten worden, wordt het complete bewegingswerk in één kelder boven die waterstand ondergebracht. Alle "gevoelige" delen blijven dan droog. Voorbeelden van dergelijke kelders zijn gegeven in de fig. 7.67 en 7.75 van par. 7.4.2. Bij sluizen met een hoogwaterstand hoger dan die van het maximum schutpeil worden de aandrijfbron en de elektrische apparatuur in een waterdichte ruimte opgesteld (zie bijvoorbeeld fig. 7.78 van par. 7.4.2). De heugel of het Panamawiel komen bij hoge waterstanden wel onder water, maar behoeven dan niet te bewegen. Is dat laatste wèl het geval, dan wordt meestal een hydraulische aandrijving toegepast.

In situaties, waarin geen bemaling is toegestaan, kan het aantrekkelijk zijn, de onderzijde van de keldervloeren boven het grondwaterniveau te ontwerpen, althans indien de dekzerhoogte en de benodigde verticale kelderafmetingen dit toestaan. Het beneden de keldervloer gelegen gedeelte van het hoofd wordt dan uitgevoerd in een stalen damwandkuip met een bodemafluiting, bijvoorbeeld een onderwaterbetonvloer verankerd aan trekpalen.

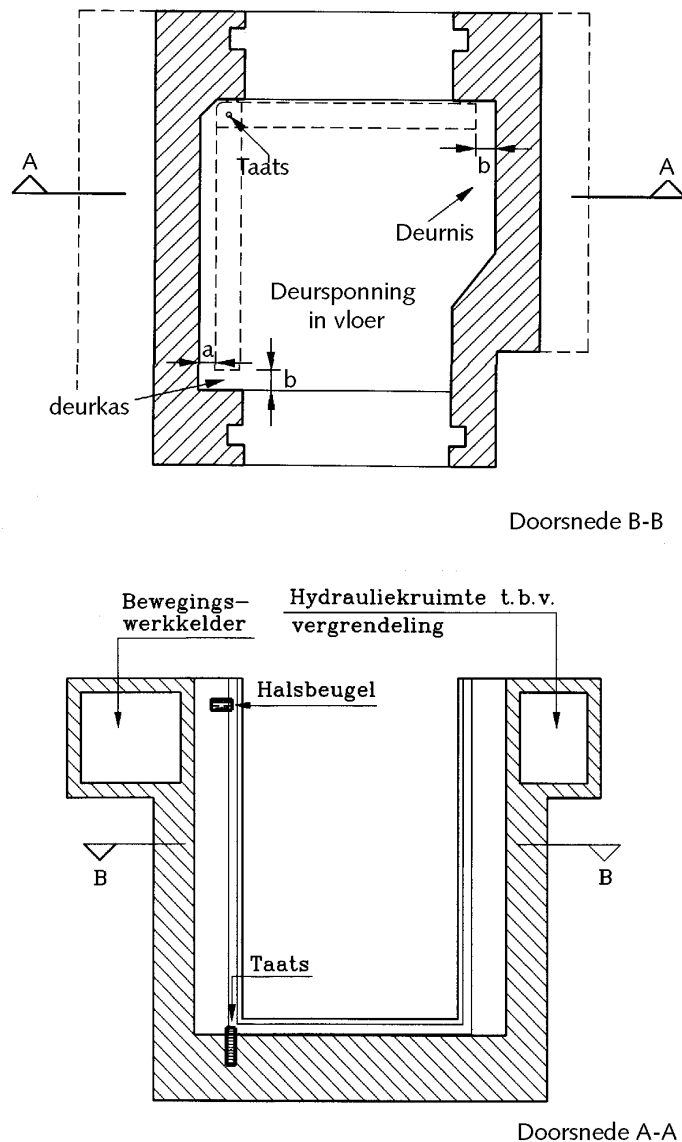
In het voorgaande wordt de indruk gewekt, dat het complete bewegingswerk altijd in kelders onder dekzerkniveau moet worden ondergebracht. Worden echter geen eisen gesteld aan het vrije zicht boven en de ongehinderde begaanbaarheid van het dekzerkniveau, dan is het mogelijk (een deel van) het bewegingswerk boven dat niveau te plaatsen. Deze oplossing vindt echter weinig toepassing, en zeker niet indien de kerende hoogte zich ver boven het maximum schutpeil bevindt.

8.3.2 Hoofd met een enkele draaideur



Foto 8.3 Buitenhoofd met enkele draaideuren van schutsluis te Nieuwe Statenzijl

In fig. 8.2 is de algemene vormgeving van het hoofd aangegeven. De enkele draaideur bevindt zich in geopende stand in de deurkas. In gesloten stand staat de deur onder een hoek van 90° met de sluisas waarbij de tip van de deur zich in de deurnis bevindt. Als de enkele draaideur buiten de kolk draait, kan ervoor gekozen worden de deurkas gedeeltelijk te laten vervallen, terwijl de deurnis intact gelaten wordt voor het onderbrengen van een vergrendeling bij negatief keren. Zelfs is het mogelijk bij een naar buiten draaiende deur de deurkas en de deurnis geheel te laten vervallen en de vergrendeling als haakgrensdel uit te voeren (par. 7.4.3.2).



Figuur 8.2 Voorbeeld vormgeving hoofd met enkele draaideur

Voor eenzijdig kerende sluisen wordt de enkele draaideur toegepast bij doorvaartbreedtes tot 6 m. De deur is dan meestal van hout. Bij tweezijdige kering wordt de enkele draaideur toegepast voor doorvaartbreedtes tot 10 m en wordt dan in staal uitgevoerd. De deur heeft een dikte van $1/6$ tot $1/8$ van de doorvaartbreedte van de sluis, dit is ca. 2 x de dikte van de puntdeuren bij overeenkomstige doorvaartbreedte. In geopende stand strookt de voorzijde van de wrijfhouten van de deur met die van de kolkmuur.

De ruimte tussen deur en deurkaswand in geopende deurstand (a) bedraagt ca. 0,4 keer de deurdikte.

Door de grote deurdikte is deze maat aanzienlijk en bedoeld om te grote drukverschillen van het water over de deur tijdens het bewegen uit en in de kas te voorkomen.

De ruimte tussen de deurtip en de wand (b) is ca. 0,8 x de deurdikte. Dit geldt zowel voor gesloten deurstand (bij de deurnis) als geopende deurstand (bij de deurkas).

De lengte van de deurnis is ca. de helft van die van de deurkas.

Onder de deur is in de vloer van het hoofd een deursponning aangebracht met een diepte van 0,45 tot 0,60 m waarbij de deur in gesloten stand tegen de drempel afdicht en hier ook gedeeltelijk tegen steunt vanwege de grote vervorming van de deur.

De lengte van het penant naast de deurkas (gemeten in de richting van de sluisas) moet dusdanig zijn dat voldoende meewerkend oppervlak ontstaat voor het opnemen van de kracht vanuit de deur.

In de deurkas zijn aan de betonconstructie het onderdraaipunt - de taats - aangebracht en een bovendraaipunt (vast draaipunt met enige ruimte in de bus) aangebracht. De vervalbelasting wordt via het boven- en benedendraaipunt overgedragen naar de deurkas.

De deur dicht af tegen verticale aanslagen in de deurkas en de deurnis en tegen de drempel aan de vloer van het hoofd. Bij grote belastingen wordt de reactiekracht van de deurtip tegen twee zadels afgedragen naar het beton van de deurnis.

Ook bij de enkele draaideur worden aan de deurkaswand houten aanslagen bevestigd waartegen de deur in geopende stand wordt voorgespannen om klapperen door wind- en scheepsgolven te voorkomen. De aanslagen dienen ook voor het opnemen van stoten bij eventuele aanvaring.

Het bewegingswerk van een draaideur is meestal een hydraulische cilinder die buiten het profiel van doorvaart wordt opgesteld. De deur is daartoe voorzien van een uithouder aan de bovenzijde van de deur (par. 7.4.3.1). Voor dit bewegingswerk wordt tegen de deurkas aan een bewegingswerkkelder geplaatst net onder dekzerkniveau.

Wanneer er bij een tweezijdig kerende draaideur sprake is van een aparte vergrendeling (raamgrendel, haakgrendel, schuifgrendel, zie par. 7.4.3.2) dan zijn hiervoor in de deurnis bevestigingen aangebracht. Tegen de deurnis aan is dan net onder dekzerkniveau een hydrauliek-kelder geplaatst.

8.3.3 Hoofd met een rol- of glijdeur



Foto 8.4 Deurkas van roldeur van zeesluis te Terneuzen

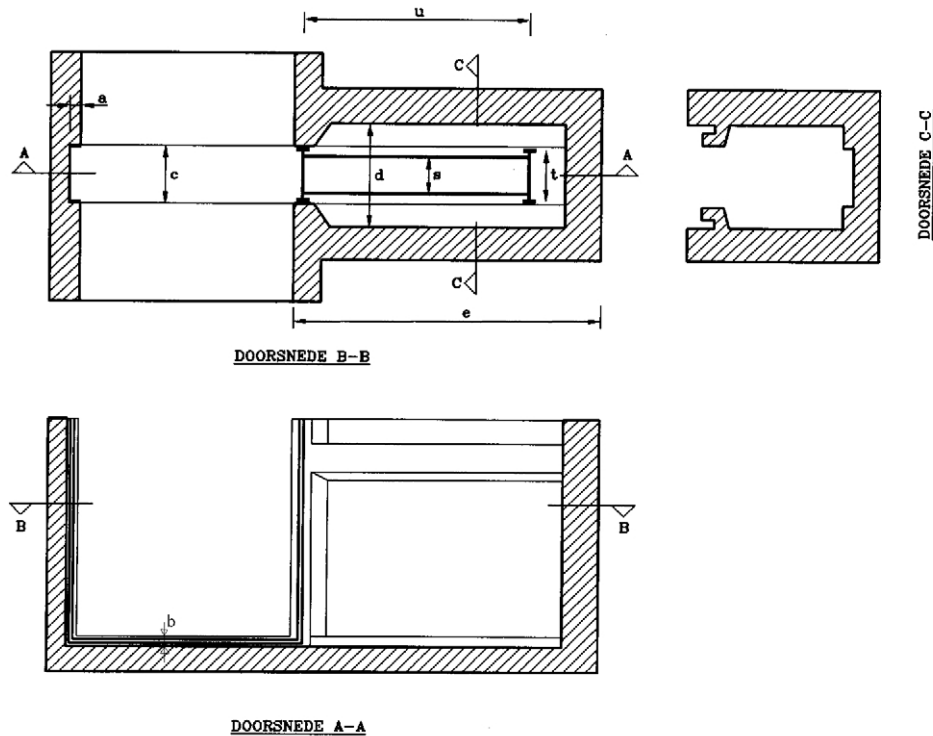


Foto 8.5 Deurkas van roldeur van duwvaartsluizen te Hansweert



Foto 8.6 Deurkas van glijdeur van Nieuwe Oranjesluis te Amsterdam

Bij een hoofd met een rol- of glijdeur wordt een deurkas aangebracht waar de deur zich in geopende positie bevindt. In de sluiswand tegenover de deurkas is een deurnis aangebracht. In gesloten stand brengt de deur zijn vervalkracht over op de wanden. De afdichting door de deur geschiedt tegen de sluiswanden bij de deurnis en de deurkas. Verder dicht de deur af tegen de sleuf in de bodem van het sluishoofd waarin de deur beweegt.



Figuur 8.3 Voorbeeld vormgeving hoofd met roldeur

Roldeuren worden toegepast in sluizen met een doorvaartbreedte vanaf 16 m. De lengte van het hoofd, dat wil zeggen in de richting van de sluisas, moet zodanig zijn dat de stabiliteit van het hoofd gegarandeerd is bij het grootste kerende verval over de deur; hierbij wordt geen rekening gehouden met mogelijke steun van de kolkwanden. De lengte van het sluishoofd is ten opzichte van punt- en draaideuren vrij kort.

Het sluishoofd mag nauwelijks zettingsverschillen vertonen met de deurkas aangezien de railbaan van sluishoofd tot in de deurkas doorloopt. Dit stelt hoge eisen aan de fundering van sluishoofd en deurkas en aan de fundatie van de rails. Het sluishoofd vormt met de deurkas één geheel waartussen geen voeg wordt aangebracht. Is de doorvaartbreedte groter dan 24 m, dan moet een voeg worden aangebracht die dwarskrachten op kan nemen, zoals met een vertanding.

De deurkas moet apart drooggezet kunnen worden als de deur in de kas onderhouden moet kunnen worden; het onderhoud van de kas en de deurgeleidingen kan daarbij in den droge plaatsvinden. Hiervoor worden schotbalkspanningen of dergelijke in de deurkasopening aangebracht.

Als het sluishoofd of de sluis zelf drooggezet moet kunnen worden, moeten schotbalkspanningen in het hoofd aangebracht worden, tot 24 m is dat gebruikelijk. Bij grotere sluizen wordt het sluishoofd niet drooggezet maar worden aparte stalen kuipen gebruikt voor onderhoud aan de railbaan.

Zijn de roldeuren dubbel uitgevoerd (buitenhoofd Noordersluis te IJmuiden en buiten- en binnenhoofd Westsluis te Terneuzen) dan worden beide deurkassen met het sluishoofd tot één geheel gecombineerd. Bij twee dicht naast elkaar gelegen sluizen met roldeuren kunnen de betreffende hoofden met deurkassen ook tot één geheel worden gecombineerd (geschakelde deurkassen schutsluizen Hansweert).

Voor een zeer grote zeevaartsluis zoals de Noordersluis te IJmuiden, zijn in de sluiswand om de deurnis en in de deurkaswanden omloopriolen met in- en uitstroomopeningen opgenomen. Bij de zeevaartsluis Terneuzen zijn speciale rioolmonden in de bodem van de hoofden aangebracht.

In fig. 8.3 is de algemene vorm van het hoofd van een roldeur aangegeven met daarin opgenomen de deurkas en de deurnis. De waterbeweging rondom de bewegende deur en de deurafmetingen bepalen de vormgeving van de deurkas en deurnis. Verder moet bij een drijvend aangevoerde roldeur voldoende ruimte in de deurkas aanwezig zijn om de deur vanuit de voorhaven of de kolk in de deurkas te manoeuvreren (fig. 7.31 van par. 7.2.4.3).

Om de stromingen van het water rondom de deur door het bewegen van de deur zo veel mogelijk te beperken, worden drie maatregelen genomen. Ten eerste wordt de deur zelf in langsrichting zo open mogelijk gemaakt om het water zo ongehinderd mogelijk door de deur te laten stromen tijdens het bewegen. Ten tweede zijn de afdichtende aanslagen op de deur niet tegen de beplating aangebracht maar bevinden zich op aanzienlijke afstand hiervan; dit om reeds bij een kleine verplaatsing van de deur een grote spleet tussen afdichting en deur te creëren zodat het water hier vrijelijk doorheen stroomt. En ten derde heeft de deur in de deurkas extra ruimte om zich heen om de golfhoogte in de deurkas tijdens de deurbeweging te beperken. De extra ruimte is ook bedoeld om het onderhoud aan de deur te vergemakkelijken.

De dikte van de deur hangt af van zowel de afmetingen van de onderrolwagens als de benodigde sterkte en stijfheid van de deur (zie par. 7.2.5 en fig. 8.3). De deur bestaat uit twee gekoppelde verticale plaatvlakken (de beplatingen) met langs de beneden- en zijranden afdichtingen op de onderligger en de eindharren. De afstand tussen de beplatingen (s) bedraagt veelal ca. $1/6$ tot $1/7$ van de doorvaartbreedte van de sluis. De afstand tussen de buitenkant van de afdichtingen (t) is ten minste 1 m meer dan de afstand tussen de beplatingen van de deur. De deurlengte (u) gemeten loodrecht op de sluisas, is ca. $1,1 \times$ de doorvaartbreedte. De deur is in langsrichting zo open mogelijk gemaakt waarbij de blokkering van het dwarsprofiel van de deur het gevolg is van de dwarsafmetingen van de spanten, de drijfkist en de verticale cilinders in de deur.

Bij de afmetingen van de deurkas en -nis wordt steeds het grensvlak tussen beton en water beschouwd (zie fig. 8.3). In par. 7.2.4.7 worden de overwegingen hierbij gegeven.

De diepte van de deurnis (a , dus loodrecht op sluisas), is ca. 1 m (bij een 24 m sluis) tot 2 m (bij een grote zeesluis) en wordt bepaald door de grootte van de vervalkracht die de deur overbrengt naar de sluiswand. Verder wordt de diepte van de deurnis bepaald door de noodzaak om de deur tijdens het sluiten of openen in of uit de nis te leiden, alsmede van de benodigde flexibele aanslagen om de deur in langsrichting af te remmen.

De diepte van de sleuf in de bodem van hoofd en deurkas (b) hangt af van het type onderrolwagens, maar bedraagt meestal 1 tot 1,5 m (diepte ten opzichte van bovenkant drempel).

In de richting van de sluisas gezien bedraagt de afmeting van de deurnis, bodemsleuf en deurkas bij de sluiswand (c) iets meer dan de afstand tussen de afdichtingen van de deur.

De afstand tussen de deurkaswanden (d , in de richting van de sluisas) is ca. $1,3$ tot 2 maal de afstand tussen de afdichtingen en hangt mede af van de gekozen lengte van de deurkas.

De lengte van de deurkas (e) loodrecht op de sluisas, bedraagt ca. $1,2$ tot $1,3$ maal de doorvaartbreedte. Deze lengte wordt bij roldeuren die drijvend aangevoerd worden (dus die niet uit het water getakeld worden), bepaald door de lengte van de deur en de onderrolwagen; tijdens onderhoud van de roldeur in de deurkas moeten achter de drooggezette deur de onderrolwagens weggetakeld kunnen worden.

In de sleuf in de bodem worden railbanen opgenomen voor de onderrolwagens. Bij een glijdeur wordt een vlakke, betonnen strook gemaakt waarop een zeer gladde kunststoflaag wordt aangebracht. Aan de nauwkeurigheid van het oppervlak wordt zeer hoge eisen gesteld om te voorkomen dat de waterstraal waarop de deur rust, ondoelmatig wordt weggeperst en het rendement van de pompinstallatie nadelig wordt beïnvloed.

Verticale aanslagstroken voor de krachtoverbrenging en afdichting worden aangebracht langs de deurnis en de deurkas nabij de sluiswanden. Aanslagstroken voor de afdichting worden in de sleuf in de bodem van het sluishoofd aangebracht.

Het bewegingswerk trekt aan de deur om die te openen en te sluiten. De trekpunten bevinden zich zoveel als mogelijk boven het hoogste schutpeil, waardoor roestvorming van de stalen trekkabels wordt voorkomen. Het bewegingswerk bestaat uit een kabellierwerk en meestal een bovenrolwagen die met de deur verbonden is. Voor deze bovenrolwagen worden op doorgaande consoles railbanen in een of

beide deurkaswanden aangebracht. De aandrijving is aangebracht in een aparte waterdichte ruimte achter de deurkas.

In de deurkas moeten voorzieningen worden aangebracht voor het plaatsen van de roldeur op de rails. Is de roldeur zeer groot dan moeten bovendien voorzieningen worden gemaakt voor:

- het indrijven van de deur;
- het drijvend houden achter de schotbalken;
- het afzinken op de rolwagens in de kas;
- idem in de doorvaart;
- het ondersteunen van de deur op de bodem;
- het ophangen van de deur aan de bovenzijde;
- het plaatsen van de schotbalken;
- het plaatsen en weghalen van de rolwagens;
- het plegen van onderhoud en reparaties;
- de toegankelijkheid van de kas en de deur;
- de plaats voor de pompinstallatie voor het snel leegpompen van de kas;
- het weer vollopen van de kas;
- de (flexibele) aanslagen van de deur in langsrichting;
- het verwisselen van de stalen kabels.

8.3.4 Hoofd met een hefdeur

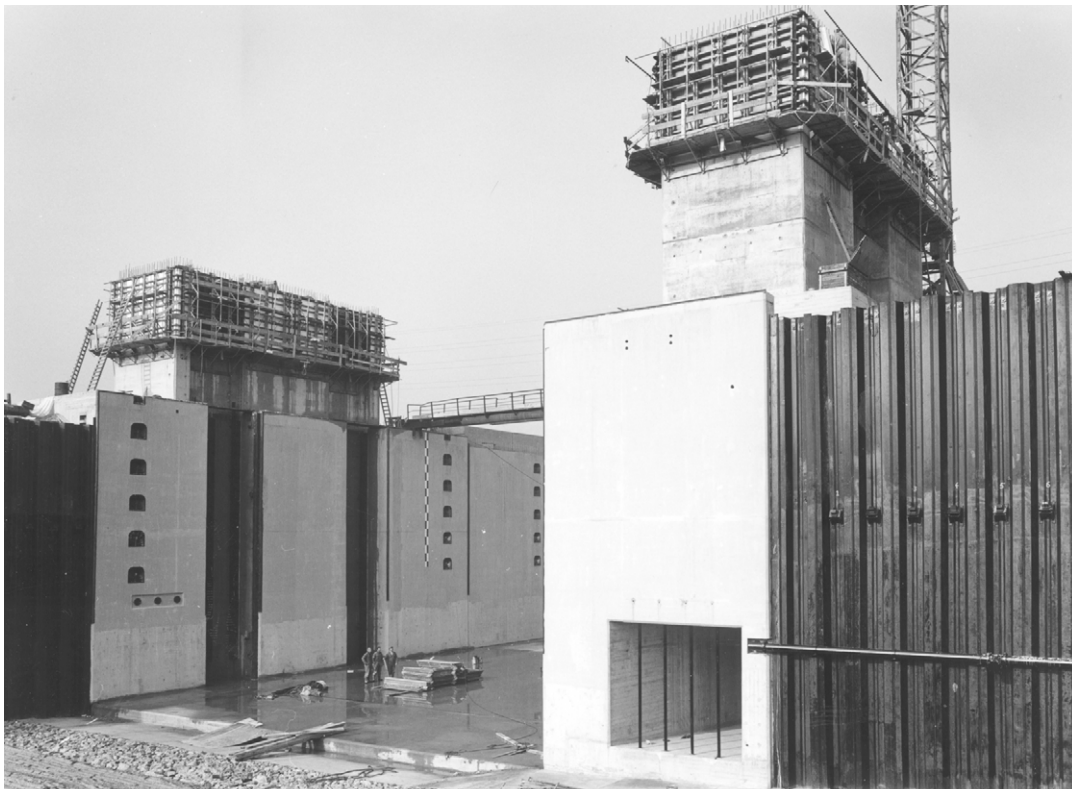


Foto 8.7 Sluishoofd van hefdeur van Prins Bernardsluis te Tiel



Foto 8.8 Sluishoofd van hefdeur van nieuwe sluis te Weurt

Een hoofd met een hefdeur is eenvoudig van vorm en bestaat uit een U-vormige bak en twee heftorens of een hefportaal (fig. 8.4). Het hoofd kan vrij kort zijn; de lengte ervan wordt bepaald door de benodigde stabiliteit van het hoofd tijdens keren met gesloten deur of tijdens harde wind met geheven deur.

In de sluiswanden zijn deurnissen aangebracht die voor de geleiding van de hefdeur, de afdracht van de vervalkracht over de deur naar het hoofd en de afdichting van de deur zorgen. Hiertoe zijn verticale aanslagen in de nissen aangebracht aan alle drie zijden. Bij gebruik van rollen als geleiding in plaats van schuivers op de deur zijn ook nog rails in de nissen geplaatst. De deur is voorzien van een rubberen afdichtingsstrip aan de onderrand en rust in gesloten stand op een in de vloer ingestorte aanslagstrip; de sluisbodem is hierbij vlak. In de sluiswanden zijn schotbalksponningen aangebracht.

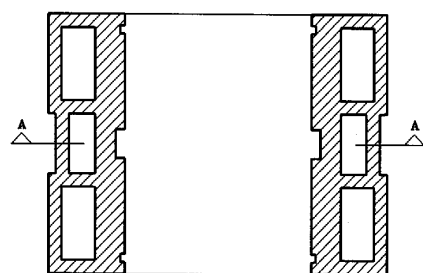
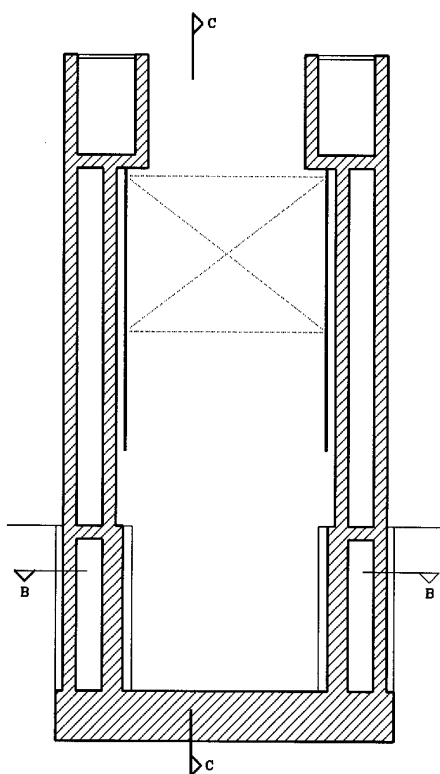
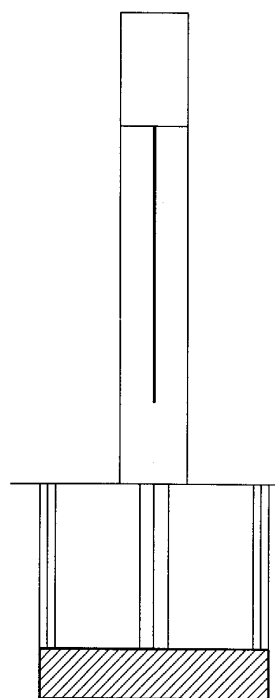
In het verleden zijn in een aantal eenzijdig kerende sluisen met grotere vervallen, hefdeuren toegepast waar zich in het bovenhoofd ook een woelkelder bevindt; de sluis wordt daar gevuld door het langzaam heffen van de deur (fig. 6.3). De hefdeur dicht dan af op de bovenkant van de woelkelder.

De heftorens of het hefportaal zijn in het verlengde van de nissen voorzien van geleidingen voor de deur in de vorm van verticale aanslagvlakken (voor schuivers) of rails (voor rollen). De heftorens worden vaak op enige afstand van de dag van de sluiswand geplaatst om een looppad tussen sluisrand en torens te hebben en om aanraking met scheef invarende schepen met een hoge opbouw te voorkomen; de geleidingen in de torens worden dan op afstand gehouden door uithouders aan de torens.

Aan de esthetica van de torens moet ruime aandacht besteed worden.

In de heftorens of het hefportaal bevinden zich de kabellierwerken en de contragewichten. De lieren zelf kunnen bovenin de toren of net onder dekzerkniveau in kelders naast de sluiswand opgesteld worden. Zie de paragrafen 7.4.5 en 12.3.6.

Gezien de mogelijk verschillende vervormingen van het U-vormige bakprofiel van het sluishoofd en een hefportaal, wordt dit portaal soms apart van de U-bak gefundeerd of de torens worden slap gemaakt.

**DOORSNEDE B-B****DOORSNEDE A-A****DOORSNEDE C-C***Figuur 8.4 Voorbeeld vormgeving hoofd met hefdeur*

8.4 Stellen van in te storten voorzieningen

In de voorgaande paragrafen is ingegaan op de vormgeving van de hoofden bij verschillende soorten deuren. Een belangrijk constructief aspect is dat bij elk type de nodige voorzieningen moeten worden ingestort.

Voorbeelden zijn: aanslagen (krachtoverbrenging en waterdichting), draaipunten (taats- en halsbeugel voor punt- en draaideuren), geleidingen (rol- en hefdeuren), zout/zoetschuiven etc. Daarnaast zullen ingestorte voorzieningen voor de bewegingswerken nodig zijn.

Teneinde het goed functioneren van de deuren te waarborgen, moet de nauwkeurigheid in maatvoering van deze onderdelen een orde kleiner zijn ($1/10$ à $1/100$) dan die welke voor de betonconstructie van de hoofden wordt nagestreefd. Men moet daarbij denken aan mm's in plaats van cm's.

Het gaat niet alleen om de te bereiken nauwkeurigheid per in te storten onderdeel, maar ook vaak om de positie van die onderdelen ten opzichte van elkaar. Die onderlinge positie is overigens niet alleen afhankelijk van de plaatsingsnauwkeurigheid, maar ook van de in punt 7 van par. 8.2 genoemde vormvastheid van het hoofd (de vervormingen onder belastingen moeten zeer gering zijn). De vereiste plaatsingsnauwkeurigheid (en vormvastheid) is overigens een functie van het type deur, zoals deze hieronder wordt toegelicht.

- *Puntdeuren*
Zeer gevoelig voor afwijkingen, omdat de deuren bij afwijkingen slecht tegen elkaar steunen en daardoor niet goed afdichten. Bij een bovendraaipunt met ruimte zal de spatkracht dan niet goed over de deurkaswand in hoogterichting verdeeld worden.
- *Draaideuren*
Niet gevoelig voor de nauwkeurigheid in verticale stand van de deurkaswand. Wel van de stand van de draaipunten ten opzichte van elkaar en ten opzichte van de verticale aanslagen van de deur. De deur is torsiestijf waarvoor de twee verticale aanslagen met elkaar moeten stroken. Bij tweezijdig kerende deuren is de stand van de aanslagvlakken ten opzichte van elkaar van belang met het oog op de waterdichting tijdens het negatief keren. Hoe nauwkeuriger de waterdichting is, hoe minder eisen behoeven te worden gesteld aan de grendelinrichting. Dat geldt ook voor de plaatselijke afwijkingen uit het verticale en het horizontale vlak.
- *Roldeuren*
Gevoelig voor de stand van de verticale aanslagen ten opzichte van elkaar. De deur moet tijdens het openen soms grote torsie-belastingen op kunnen nemen en daarvoor torsie-stijf zijn. Als de verticale aanslagen niet stroken, moet de deur in kerende stand torderen; ook zal de deur bij het stijgen van de waterstand blijven lekken tot deze voldoende is vervormd.

Teneinde de plaatsingsnauwkeurigheid te verwezenlijken, worden bij het storten van de ruwbouw vaak sparingen in het beton opengelaten. Later worden in deze sparingen de in te storten onderdelen gesteld met behulp van stelconstructies en bijvoorbeeld in de ruwbouw ingestorte busankers, ankers of voorspanstaven. Door nauwkeurig in te meten en af te stellen ten opzichte van de ruwbouw, bereikt men een nauwkeurigheid die aanzienlijk groter is dan wanneer gewerkt zou worden ten opzichte van de nooit plaatsvast bekisting of wapening. Het inmeten geschiedt meestal ook ten opzichte van andere in te storten onderdelen (bijvoorbeeld halsbeugel ten opzichte van taats). Nadat het in te storten onderdeel in de juiste positie is gefixeerd ten opzichte van de ruwbouw, bijvoorbeeld met bouten in busankers of door vastlassen aan stekwapening, wordt het resterende beton in de sparing aangebracht.

Voorbeelden van deze werkwijze zijn te zien in doorsnede B-B van fig. 8.1 bij deze paragraaf (onderaanslag puntdeuren) en in hoofdstuk 7 in de fig. 7.19 (taats) en 7.120 (schuivende geleiding hefdeur). Vaak worden in de sparing, dus tussen de ruwbouw en het in te storten onderdeel, stelconstructies aangebracht, zeker wanneer er eisen worden gesteld aan de vlakheid van zijaanslagen (lekkage, verdeling belastingen) en aan de uitwisselbaarheid van deuren. Bij geprefabriceerde betonnen aanslagen worden eveneens vaak stelconstructies toegepast.

In bepaalde gevallen wordt er de voorkeur aan gegeven niet later in sparingen te stellen, maar de in te storten voorzieningen direct in de ruwbouw op te nemen. Men dient dan zware, stabiele stelconstructies toe te passen die zoveel mogelijk dienen te voorkomen dat de in te storten constructie verplaatst

onder invloed van de druk en het trillen van het verse beton. Een voorbeeld van een dergelijke stelconstructie voor het instorten van de geleidingen van hefdeuren, onder meer met schoren en afstandhouders, is aangegeven in fig. 7.112 van hoofdstuk 7.

De keuze tussen aanbrengen van sparingen of opnemen in de ruwbouw wordt bepaald door de kosten en wordt vaak aan de aannemer overgelaten. Opgemerkt wordt dat zware stelconstructies als regel kostbaar zijn (afhankelijk van de vereiste plaatsingsnauwkeurigheid) en dat zij het aanbrengen van de bekisting c.a. bemoeilijken. Anderzijds kan het een voordeel zijn, dat de geleiding en dergelijke gelijktijdig met het opgaande werk gereed zijn, waardoor tijdwinst wordt verkregen.

8.5 Alternatieven voor constructie en bouwmethode

8.5.1 Inleiding

In de tabellen 8.5.1 t/m 8.5.4 zijn alternatieven aangegeven voor constructie en bouwmethode van kolk en hoofden. Daarbij betekent een kruis in de 4^e kolom dat het alternatief geschikt is voor een kolk en een kruis in de 5^e kolom dat dit het geval is voor een hoofd. Van de 19 alternatieven kunnen de nummers 1 t/m 9 zowel worden toegepast voor een kolk als voor een hoofd. Deze worden behandeld in par. 8.5.2. Het gaat daarbij om het principe van het dwarsprofiel (wanden en vloer). Uitkragende of aangebouwde kelders, kassen, nissen, sprongen en dergelijke vormen een ander chapter, dat qua vormgeving is behandeld in par. 8.3. De alternatieven 10 t/m 19, die alleen geschikt zijn voor kolken, komen aan de orde in par. 9.3. Deze alternatieven voldoen niet aan de in par. 8.2 onder 2 en 7 geformuleerde functionele eisen voor hoofden (het kunnen onderbrengen van deuren, bewegingswerken en dergelijke en de daarvoor vereiste vormvastheid).

Terzijde wordt opgemerkt dat de drie kolommen aan de rechterzijde van de tabellen ("Geschikt voor afmeting") nader zullen worden toegelicht in par. 8.6, Voorselectie van de alternatieven.

8.5.2 Alternatieven 1 t/m 9

De alternatieven 1 t/m 9 worden eerst in grote lijnen, verdeeld in twee groepen, beschreven. Daarna volgt een toelichting op enkele alternatieven. Begonnen wordt met twee opmerkingen van algemene aard.

Een aantal alternatieven kan eventueel worden gecombineerd met een retourbemaling. Dit is niet vermeld in de kenmerken van de methodes in tabel 8.5, maar komt aan de orde in par. 8.6 en de daarbij behorende tabellen 8.6.1 t/m 3.

De meeste alternatieven zijn eerder toegepast, hetzij bij sluizen, hetzij bij open tunnelafritten. Dit kan niet worden gezegd van de oplossingen 6 en 7. Het daarvoor benodigde prefabriceren, drijvend vervoeren en afzinken van kolk- en hoofdmoten is alleen onderzocht in het kader van het afstudeerproject aan de Faculteit der Civiele Techniek van de TU-Delft door A.F. Pruysers, "Verlenging sluis te Maasbracht" (1982). Het doel van de studie was de tijdsduur van de werkzaamheden voor de verlenging van de bestaande schutsluis zoveel mogelijk te beperken.

In grote lijnen kunnen de varianten worden onderverdeeld in de groepen A en B:

A nummers 1 t/m 7

Het gehele bakvormige dwarsprofiel wordt uitgevoerd als een gewapend betonnen monoliet, althans in de voltooide fase. De vloer heeft (tot nu toe) een constante dikte. De wanden - in elk geval die van een kolk - zijn enigszins aangepast aan het momenten- en dwarskrachtenverloop. Juist boven de vloeren hebben zij een dikte, die voldoende is voor het opnemen van de dwarskracht (tot nu toe als regel zonder dwarskrachtwapening). Aan de bovenzijde wordt de dikte (orde 0,6 - 1,0 m) bepaald door het kunnen storten en door het onder kunnen brengen van de haalkommen, bolders en laddernissen. Met het oog op het onderbrengen van voorzieningen voor deuren en bewegingswerken en de daarvoor benodigde sterkte/stijfheid wordt deze verjonging van de wanden naar boven toe bij hoofden meestal niet toegepast.

De keuze tussen de verschillende varianten wordt bepaald door de plaatselijke mogelijkheden en omstandigheden en door de kosten. Variant 1 biedt de goedkoopste oplossing indien ruimte en grondwaterstand(-verlaging) geen beperkingen opleggen.

B nummers 8 en 9

In de vloer van de gewapend betonnen constructie worden een of twee betonscharnieren aangebracht. Hoewel met het oog op de vormvastheid van de hoofden de voorkeur uitgaat naar de onder A beschreven monoliete bakprofielen, komen de alternatieven in aanmerking voor zeer brede en diepe sluizen. Bij de 40 m brede zeesluis in Terneuzen is één scharnier toegepast; twee scharnieren waren voorzien in één van de varianten van het ontwerp voor de niet uitgevoerde Baalhoeksluis (omstreeks 1968), waarvoor destijds aan een breedte van 64 m werd gedacht. De

overwegingen voor de toepassing van de scharnieren zijn: beperking van de grootte van de storingen en het voorkomen van opgelegde spanningen bij ongelijke zettingen (naarmate de sluis breder is wordt de kans kleiner dat de grondslag over de gehele breedte gelijk van kwaliteit is). Ook de negatieve effecten van hydratatiewarmte en krimp worden enigszins beperkt.

Vloerverlenging aan de grondzijde van de wand wordt toegepast om een betere spreiding van het eigen gewicht van de wand te bereiken, vooral in het bouwstadium. Hierdoor worden de buigende momenten in de vloer beperkt. In vergelijking met de constructies van groep A wordt een grotere aanpassing van de wand- en vloerdikten aan het momenten- en dwarskrachtenverloop nagestreefd. Voor zeer grote zeesluizen ligt dit ook wel voor de hand, hoewel voor een soortgelijke zeesluis in Frankrijk een vloer van constante dikte en zonder scharnieren is toegepast.

Na deze groepsgewijze behandeling volgen hieronder enkele aantekeningen bij individuele alternatieven.

Alternatief 2:

In tabel 8.5 is vermeld dat de verticale grondwaterafscherming van de bouwput wordt gevormd door een bentoniet-cementscherm. Hiervoor bestaan nog andere mogelijkheden: te huren damwandprofielen, verticaal aangebrachte kunststoffolies en bentonietschermen. De keuze wordt bepaald door de kosten en door de vraag of een scherm mag achterblijven in de grond (hinder bij toekomstige bouwactiviteiten, een blijvende barrière voor grondwaterstromingen). De schermen zijn doorgezet tot in de ondoorlatende laag. Dit kan een natuurlijke of een kunstmatig aangebrachte (injectie)laag zijn. De laag moet voldoende diep onder de bouwputbodem zijn gelegen om tijdens of na ontgraving van de put opbarsten te voorkomen (meestal wordt een "veiligheid" van 1,1 gevraagd). Verder moet een zodanige doorlatendheid (kD) aanwezig zijn dat de grondwateronttrekking voor de omgeving beneden aanvaardbare waarden blijft. In de betreffende prognoseberekeningen moet ook het debiet door de verticale schermen worden meegenomen. Een geïnjecteerde laag is theoretisch mogelijk maar zal ten opzichte van de andere alternatieven zeer waarschijnlijk te duur uitvallen (orde van kosten $f400$ à $f700$ / m² bodem tussen de schermen). Daarbij komt dat niet alle grondsoorten goed geïnjecteerd kunnen worden en dat er zekere risico's aan de beoogde waterdichtheid kleven. Door verbeterde injectietechnieken zijn die risico's echter kleiner geworden.

Alternatieven 3 en 4:

In tabel 8.5 is niet getekend dat de damwanden van een bouwkuip met een zekere diepte een stempeling of verankering behoeven. Ondanks het feit dat stempels een belemmering betekenen voor de werkzaamheden in de kuip (voor de kranen) wordt deze damwandondersteuning als regel gekozen in plaats van verankeringen (met het oog op de kosten). Bij diepe kuipen kunnen verschillende rijen stempels onder elkaar worden aangebracht. Soms wordt het water in de kuip opgezet tot boven het grondwaterniveau en wordt dit peil gehandhaafd totdat de onderwaterbetonvloer is verhard (momentenreductie).

In de tabel zijn de bouwkuipen van 3 en 4 getekend met een overmaat ten opzichte van de breedte van de betonconstructie, voor bekisting en werkruimte (als regel wordt aan beide zijden een overmaat van 1,5 m aangehouden). In een variant hierop wordt de damwand als buitenbekisting voor de definitieve betonconstructie gebruikt. De bouwkuip is dan circa 3 m smaller (minder onderwaterbeton, minder palen), maar de damwanden kunnen niet worden getrokken zoals bij de getekende oplossing wel wordt gedaan (althans bij tunnelafritten). Bovendien moeten de sloten van de damwanden dan zeer goed worden afgedicht, anders zullen kwelstroompjes in het nog niet verharde beton cementdeeltjes omhoog transporteren. Verder wordt de wandwapening er niet eenvoudiger op. Deze problemen kunnen ten dele worden ondervangen door de nissen van de damwanden uit te kisten.

De onderwaterbetonvloer is niet vlak, noch aan de onder- noch aan de bovenzijde. Om de wapening van de constructieve vloer goed te kunnen stellen en om de dekking te garanderen, wordt op de onderwaterbetonvloer een uitvullaag aangebracht. (De uitvullaag is niet geschetst in de tabel 8.5).

Afhankelijk van de uitvoering van het onderwaterbeton wordt een uitvullaag (meestal van beton) met een theoretische dikte in de orde van 0,15 m toegepast. Theoretisch, omdat de dikte als functie van de afwerkingsnauwkeurigheid van het onderwaterbeton kan variëren van 0 tot meer dan 0,15 m. Incidentele hogere toppen van het onderwaterbeton worden weggejekkerd.

Bij alternatief 3 wordt de dikte van de onderwaterbetonvloer bepaald uit verticaal evenwicht (niet opdrijven na droogzetten), bij 4 wordt de vloerdikte bepaald door uitvoeringstechnische overwegingen en soms door de schuifspanningen tussen de paalschacht en het onderwaterbeton en de buigtrekspanningen in de onderwaterbetonvloer. Dit laatste is alleen het geval bij zeer hoge opwaartse waterdrukken of bij de toepassing van palen die zeer grote trekkrachten kunnen opnemen. Om uitvoeringstechnische redenen wordt, afhankelijk van de aanbrengmethode, een dikte toegepast van 1,20 tot 1,50 m. Bij een dikte van 1,20 m is een goede stortmethode nodig, zoals die met de Hop-dobber.

In appendix 8.1 zijn vergelijkende berekeningen gemaakt voor de alternatieven 3 en 4, respectievelijk zonder en met trekpalen. De globale berekeningen zijn gemaakt voor een duwvaartsluis en een binnenvaartsluis van CEMT klasse I. Daaruit blijkt dat een oplossing met trekpalen aanzienlijk goedkoper is dan een zonder. Oplossing 3 komt dan ook alleen in aanmerking bij kleine opwaartse waterdrukken, bijvoorbeeld bij een zeer ondiepe sluis, een lage natuurlijke waterstand, of een combinatie van een bouwkuip met een beperkte bemaling.

Alternatief 5:

Lit. [8.1] beschrijft het afzinken van pneumatische caissons voor de hoofden van de 12,6 m brede schutsluizen Helmond en Schijndel in de Zuid-Willemsvaart. In het artikel wordt voorts gesteld dat bij toenemende diepte van het funderingsniveau onder maaiveld de caissonmethode aantrekkelijk kan worden ten opzichte van de alternatieven 3 en 4, die eveneens geen bemaling behoeven. Als reden wordt gegeven dat de benodigde hulpconstructie en voorzieningen zoals luchtsluizen en compressoren nauwelijks worden beïnvloed door de toenemende diepte, terwijl voor beide bouwkuipmethoden alle hulpconstructies (damwanden, trekpalen en dergelijke) zwaarder moeten worden uitgevoerd. Bij de Zuid-Willemsvaart zijn de hoofden over ca. 9,5 m afgezonken. Algemene regels over wanneer de caissonmethode concurrerend kan worden zijn niet te geven, dat hangt teveel van de plaatselijke situatie en de betreffende sluismaten af. Gedacht zou kunnen worden aan diepten groter dan zo'n 8 m. De breedte van de sluis speelt daarbij een grote rol. Een bakprofiel is immers wringslap, waardoor tijdens het afzinken grote spanningen kunnen optreden door ongelijkmatige opleggingen en zettingen.

Alternatief 7:

De in de figuur van tabel 8.5 aangegeven ankers kunnen zowel worden uitgevoerd als ankerstaven met ankerwanden als groutankers. Stempels zijn niet mogelijk omdat de geprefabriceerde elementen tijdens het transport een groot vrijboord zullen hebben.

Alternatieven 8 en 9:

Het aanbrengen van scharnieren in de vloer heeft als bezwaar dat hoekverdraaiingen kunnen optreden tussen de beide ter weerszijden van de sluisas gelegen gedeelten van het hoofd. Dit kan nadelig zijn voor bijvoorbeeld de railbaan voor onderrolwagens (het gaat hier om zeer grote sluisen waarbij roldeuren worden toegepast). Dit bezwaar wordt grotendeels ondervangen door de railprofielen pas aan te brengen nadat de ruwbouw van het hoofd is voltooid en de aanaarding voor zover mogelijk is aangebracht (Lit. [8.2]). Een belangrijk gedeelte van de zettingen (en dus van de hoekverdraaiing) zal dan reeds zijn opgetreden. De stalen railfunderingen, die stijver zijn dan het railprofiel, worden wel ter plaatse van het scharnier onderbroken, maar de delen aan weerszijden van de onderbreking steunen op elkaar.

8.6 Voorselectie van de alternatieven

8.6.1 Inleiding

In de tabellen 8.5.1 t/m 8.5.4 en 8.6.1 t/m 8.6.3 worden aanwijzingen gegeven die kunnen helpen bij de keuze uit de alternatieven voor kolk en hoofden. De volgende paragraaf beperkt zich tot de voorselectie uit de bouwmethoden die voor hoofden in aanmerking komen (nummers 1 t/m 9).

In par. 9.4.2 komen de bouwmethoden voor kolken aan de orde. *Pas daar, onder "Punt 8 en 9", wordt een toelichting gegeven op kolom K in de tabellen 8.6.1 t/m 8.6.3, die alleen betrekking heeft op de keuze tussen kolk-alternatieven.*

8.6.2 Voorselectie alternatieven 1 t/m 9

Niet voor elk hoofd komen alle 9 alternatieven in aanmerking. Daarom wordt een schifting gemaakt naar situaties waarin bepaalde alternatieven meer of minder in aanmerking komen. Dit zijn achtereenvolgens:

1. dwarsafmetingen van het hoofd;
2. bemaling wel, niet of slechts in beperkte mate toegestaan;
3. beperkte breedte voor de uitvoering beschikbaar;
4. grondgesteldheid;
5. stijghoogte grondwater.

Daarnaast kunnen bij de selectie andere overwegingen een rol spelen:

6. ervaring met de alternatieven;
7. afstemming op de bouwmethode van de kolk.

De punten 1 t/m 7 worden nader besproken. Vooruitlopend daarop zij nogmaals benadrukt dat bij het ontwerp moet worden gezocht naar die oplossing(en) waarvoor de som van de investeringskosten en de contante waarde van onderhoud en vervanging gedurende de levensperiode en de contante waarde van slopen minimaal zijn. Dit geldt uiteraard voor de totaliteit van het sluiscomplex maar ook voor de onderdelen zoals de sluishoofden, die overigens niet los kunnen worden gezien van het deurtype, de bouwmethode van de kolk en dergelijke.

Punt 1, dwarsafmetingen:

In de *drie meest rechtse kolommen van tabel 8.5* is aangegeven welke alternatieven geschikt zijn voor sluisen met respectievelijk kleine, (middel-)grote en zeer grote afmetingen, loodrecht op de sluisas. Een kruis betekent zonder meer geschikt; een gestreept kruis betekent: voor de betreffende sluis misschien mogelijk.

Omdat de afmetingen bij de civiele bouw een minder uitgesproken invloed hebben op de keuze van het alternatief dan bij de keuze van het deurtype, zijn de vijf categorieën afmetingen uit tabel 7.1 van par. 7.3.1 (keuze sluisdeuren) in tabel 8.5 samengetrokken tot drie. Daarbij is de volgende vertaalsleutel aangehouden:

Uit par. 7.3.1		Tabel 8.5	
Omschrijving	Sluisbreedte (m)	Omschrijving	Sluisbreedte (m)
Zeër klein en klein	4-6 resp. 6-10	Klein	4-10
Middelgroot en groot	10-16 resp. 16-24	(Middel-)groot	10-24
Zeër groot	>24	Zeër groot	>24

De indeling van tabel 8.5 is niet 'hard' omdat voor de keuze van de constructie en de bouwmethode ook de diepte van de vloer ten opzichte van het maaiveld bepalend is (buigende momenten in de wand, opwaartse waterdruk tegen de vloer). Deze diepte wordt bepaald door het scheepstype en door het verval over de sluis. Daardoor kan bijvoorbeeld een (middel-)grote sluis met een groot verval in de klasse "zeër groot" terecht komen. Bij de schifting naar afmetingen is - afhankelijk van de concrete situatie - een zekere voorzichtigheid geboden.

Bij het plaatsen van kruisen in de afmetingskolommen is grotendeels afgegaan op ervaring bij voorgaande werken. Niet vanuit ervaring redenerend is bij de afzinkmethode (6 en 7) geen X geplaatst bij "Zeer groot", omdat bij brede sluizen het vrijboord tijdens het drijvend transport waarschijnlijk te groot zal zijn (en daardoor de later aan te brengen ballast). Ook voor ca. 24 m brede sluizen zou dit kunnen gelden. Daarom is bij "(Middel-)groot" een gestreept kruis gezet.

Punt 2, eventuele beperkingen aan een bemaling:

Tegenwoordig is het verlagen van de grondwaterstand vaak niet toegestaan, soms in het geheel niet, soms slechts in beperkte mate, waarbij de per tijdseenheid op te pompen hoeveelheid water is gebonden aan een bovengrens. Dit kan betekenen dat sommige alternatieven in bepaalde situaties niet in aanmerking komen. Daarom is in *kolom 2a van tabel 8.6* met kruisen aangegeven welke alternatieven een bemaling nodig hebben en in *kolom 2b* bij welke met een beperkte bemaling kan worden volstaan. Beperkt wil overigens nog niet zeggen dat het daarvoor benodigde debiet beneden de eerder genoemde bovengrens blijft. Dat zal per geval moeten worden gecontroleerd. In *kolom 2c* is aangegeven bij welke alternatieven toepassing van een retourbemaling kan worden overwogen. Daar waar in die kolom een kruis is geplaatst, zoals bij alternatief 1 (gewapend betonnen monoliet, uitgevoerd in een bemalen bouwput) blijft een bemaling nodig, maar wordt afhankelijk van de omgeving een volledige of gedeeltelijke retourbemaling toegevoegd. (Bij een volledige wordt het gehele opgepompte debiet geretourneerd in de bodem.) Bij een aantal alternatieven (onder meer 2, een monoliet met schermen tot in een ondoorlatende laag), is een bemaling meestal niet nodig, maar met een beperkte bemaling kan toch gebruik gemaakt worden van een relatief hoog gelegen ondoorlatende laag, die zonder bemaling zou opbarsten. In dat geval is het uiteraard ook denkbaar een retourbemaling toe te passen, temeer daar het te retourneren debiet kleiner is dan bij alternatief 1, waar de grondwaterstand tot onder de bouwputbodem moet worden verlaagd. Daarom zijn daar gestreepte kruisen gezet in de kolommen 2b en 2c (eventueel een beperkte bemaling met al dan niet een retourbemaling), terwijl onder "Opmerkingen" wordt toegelicht, waarom de gestreepte kruisen zijn opgenomen. Bij alternatief 2 gaat het er dus om het alternatief ondanks een te hoog gelegen ondoorlatende laag toch mogelijk te maken. Bij alternatief 3 zijn eveneens gestreepte kruisen geplaatst in de kolommen 2b en 2c om aan te geven dat een beperkte bemaling, eventueel in combinatie met een retourbemaling, tot een economischer oplossing kan leiden dan zonder bemaling. De overweging staat vermeld onder "Opmerkingen".

Punt 3, beperkte breedte voor uitvoering beschikbaar:

In *kolom 3 van tabel 8.6* is met een kruis aangegeven welke bouwmethoden slechts een beperkte breedte tijdens de bouw nodig hebben. Beperkt in die zin dat er minder breedte nodig is dan bij een bouwput tussen taluds. Overigens gaat het hier uitsluitend om de terreinbreedte buiten het definitieve kunstwerk. Andere keuzen, zoals die voor roldeuren, bepalen de breedte van het hoofd.

Punt 4, grondgesteldheid:

Indien de ondergrond onvoldoende draagkracht bezit kunnen bij de alternatieven 1, 2, 8 en 9 palen worden toegepast of een grondverbetering worden overwogen indien de draagkrachtige laag zich niet te diep beneden de vloer van het hoofd bevindt. Variant 3 gaat bij toepassing van palen over in 4. Bij een pneumatisch caisson (alternatief 5) is een paalfundering mogelijk alhoewel dit bij sluizen meestal niet nodig zal zijn. Er is ervaring met deze uitvoeringswijze bij brugpijlers (van Brienenoord) en basculekelders. Bij de varianten 6 en 7 (elders geprefabriceerde elementen) is een paalfundering mogelijk, zij het dat deze palen gemakkelijk druk, maar moeilijk trek kunnen opnemen. Maar in de normale uitvoering van dit soort varianten moeten opwaartse krachten worden gecompenseerd door eigen gewicht, eventueel vermeerderd met grondgewicht, als de vloer tot buiten de grondzijden van de wanden wordt verlengd (met groutankers vastspannen van de constructie tegen de ondergrond is eveneens mogelijk).

Het geheel overziende kunnen alle varianten onafhankelijk van de grondgesteldheid worden uitgevoerd. In wezen is het dus geen punt om - bij slechte ondergrond - één of meerdere varianten te laten afvallen. Het punt is alleen volledigheidshalve meegenomen omdat dit bij de voorselectie van de kolkvarianten (par. 9.4) wel een rol kan spelen.

Punt 5, stijghoogte grondwater:

De stijghoogte is uiteraard medebepalend voor het benodigde debiet van de bemaling en daarmee voor de horizontale uitbreiding van de grondwaterstandsverlaging. Indien de onttrekking te groot is, kan dit reden zijn een uitvoering zonder of met beperkte bemaling of met retourbemaling te kiezen (zie 2 hiervoor).

De afstand tussen het freatisch vlak en de onderzijde van de vloer van het hoofd is echter ook bepalend voor de keuze tussen de alternatieven 3 en 4, een dikke onderwaterbetonvloer of een onderwaterbetonvloer verankerd aan trekpalen.

Zoals in par. 8.5.2 onder "Alternatieven 3 en 4" en de daarbij behorende appendix 8.1 wordt aangetoond, is een dikke onderwaterbetonvloer in het algemeen financieel onaantrekkelijk ten opzichte van een verankerde vloer. Een dikke vloer komt alleen in aanmerking bij kleine opwaartse waterdrukken, bijvoorbeeld bij een zeer ondiepe sluis, een lage natuurlijke waterstand of een combinatie van een bouwkuip met een beperkte bemaling.

Punt 6, ervaring met de alternatieven:

Met de varianten 1, 3 t/m 5 en 8 is in Nederland ruime ervaring opgedaan bij de sluizenbouw. Variant 2 is weliswaar nog niet voor sluizen toegepast maar vaak voor tunnelafritten en dergelijke. Er kleven geen bijzondere risico's aan dit alternatief, behoudens die welke gepaard kunnen gaan met een gebrekkig grondonderzoek. De diepte, de dikte en de 'doorlatendheid' van de ondoorlatende laag alsmede de volumegewichten van deze en de erboven liggende laag moeten nauwkeurig bekend zijn. Om onnodige kwel te voorkomen is het zaak de boringen en sonderingen te verrichten buiten het omringende bentoniet-scherm. Indien dit onvoldoende inzicht zou geven in de grondgesteldheid, moeten de gaten gemaakt in de ondoorlatende laag binnen het bentoniet-scherm, naderhand zeer zorgvuldig afgedicht worden. Met niet goed afgedichte boorgaten zijn bij vroeger gebouwde tunnelafritten zeer slechte ervaringen opgedaan (teveel kwel en daardoor een niet gewenste grondwaterstandsverlaging in de omgeving).

Alternatief 9, een vloer met 2 scharnieren, is nog niet eerder toegepast. Maar bij deze variant op alternatief 8 (1 scharnier) behoeven geen bijzondere risico's te worden verwacht. Wel zal extra aandacht moeten worden geschonken aan controle-berekeningen op vervormingen, die binnen voor de deuren en aanslagen geldende waarden moeten blijven.

Eigenlijk zijn alleen de alternatieven 6 en 7, beide met elders geprefabriceerde en drijvend aangevoerde elementen, geheel nieuwe opties voor de sluizenbouw. Met deze methode bestaat een grote ervaring bij tunnels, kademuuren en dergelijke. Toch zullen deze varianten, als ze in een voorontwerp van een sluis worden meegenomen, diepgaander uitgewerkt moeten worden dan de overige varianten, omdat een nieuwe toepassing nu eenmaal onvoorziene aspecten met zich mee kan brengen.

Punt 7, afstemming op de bouwmethode van de kolk:

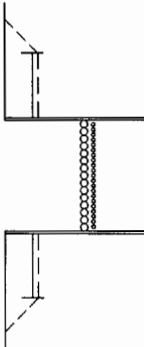
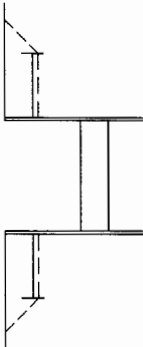
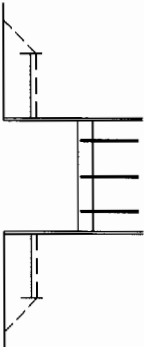
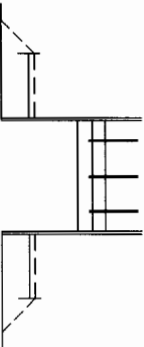
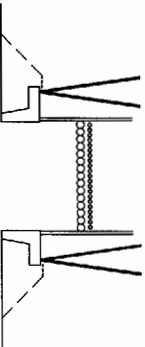
De uitvoering van de hoofden kan niet los worden gezien van die van de kolk ook al hoeft niet dezelfde bouwmethode te worden toegepast. Voor de hoofden van één sluis kunnen verschillende methoden worden gebruikt. Gekozen moet worden voor de bouwmethode(n) voor de hoofden, die in samenhang met die voor de kolk leidt tot de laagste kosten van het totaal van de sluis.

NUMMER ALTERNATIEF	KENMERKEN		Geschikt voor		Geschikt voor afmeting		
	Def. constructie	Bouwstadium	Kalk	Hoofd	Klein	(Middel-) groot	Zeergroot
1	Gewapend betonnen monoliet (eventueel paalfundering)	Bouwput, bemaling	X	X	X	X	X
2	ALS 1	Bouwput, bentoniet-cement-schermen tot in ondoortlatende laag	X	X	X	X	X
3	ALS 1 (geen paalfundering)	Damwandkuip, dikke onderwaterbetonvloer	X	X	X	X	X
4	ALS 1 (altijd paalfundering)	Damwandkuip, dunne onderwaterbetonvloer, trekpalen	X	X	X	X	X
5	ALS 1	Pneumatisch caisson, gebouwd op maaiveld	X	X	X	X	

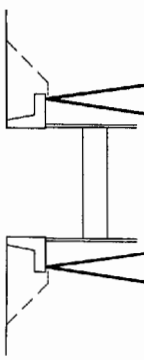
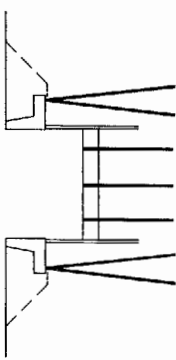
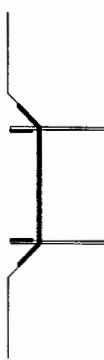
Tabel 8.5.1 Alternatieven

NUMMER	ALTERNATIEF	KENMERKEN		Geschikt voor		Geschikt voor afmeting		
		Def. constructie	Bouwstadium	Kolk	Hoofd	Klein	(Middel-) groot	Zeer groot
6		Gewapend betonnen monoliet (op staal gefundeerd)	Elders geprefabriceerd, drijvend vervoerd, afgezonken in sleuf met taluds	X	X	X	X	
7		ALS 6	Als 6, echter sleuf begrensd door verankerde damwanden	X	X	X	X	
8		Gewapende betonconstructie met een scharnier	Bouwput, bemaling	X	X			X
9		Gewapende betonconstructie met twee scharnieren	Bouwput, bemaling	X	X			X
10		Gewapende betonnen L-muren, steenbestorting op filter	Bouwput, bemaling	X		X	X	X
11		Terre armée wanden, steenbestorting op filter	Bouwput, bemaling	X		X	X	X

Tabel 8.5.2 Alternatieven

NUMMER ALTERNATIEF	KENMERKEN		Geschikt voor		Geschikt voor afmeting		
	Def. constructie	Bouwstadium	Kolk	Hoofd	Klein	(Middel-) groot	Zeer groot
12	 Verankerde dam-/diep- wanden voorzien van wrijf houten, Steenbestorting op filter	Beperkte droge ontgraving, Rest ontgraving en filter, be- storting in den natte	X		X	X	X
13	 Verankerde dam-/diep- wanden voorzien van wrijf houten, Dikke onderwater- betonvloer	Beperkte droge ontgraving, Rest ontgraving plus o.w.-beton- vloer in den natte	X		X	X	X
14	 Verankerde dam-/diep- wanden voorzien van wrijf houten, Dunne o.w.-betonvloer (eventueel gewap.) ver- ankerd aan trekpalen	Beperkte droge ontgraving, Rest ontgraving plus palen heien en o.w.-betonvloer in den natte	X		X	X	X
15	 Verankerde dam-/diep- wanden, voorzien van wrijf houten, Constructieve ge- wapende betonvloer	Beperkte droge ontgraving, Rest ontgraving+palen +o.w.-betonvloer in den natte. Constr.vloer in den droge	X		X	X	X
16	 Gewapende betonnen keermuur (incl ont- lastplaat) op palen en dam-/diepwand Steenbestorting op filter	Beperkte droge ontgraving, Palen+damwand heien vanaf bodem droge ontgr. Rest ontgr.+filter/ steenbestorting in den natte	X			X	X

Tabel 8.5.3 Alternatieven

NUMMER	ALTERNATIEF	KENMERKEN		Geschikt voor		Geschikt voor afmeting		
		Def. constructie	Bouwstadium	Kolk	Hoofd	Klein	(Middel-) groot	Zeer groot
17		Gewapende betonnen keermuur (incl. ontlastplaat) op palen en dam-/diepwand. Dikke onderwaterbetonvloer	Beperkte droge ontgraving, Palen+damwand heien vanaf bodem droge ontgr. Rest ontgr.+vloer in den natte	X			X	X
18		Gewapende betonnen keermuur (incl. ontlastplaat) op palen en dam-/diepwand. Dunne o.w.-betonvloer (eventueel gewap.) verankerd aan trekpalen	Beperkte droge ontgraving, Palen+damwand onder keermuur heien vanaf bodem droge ontgr. Rest ontgr., trekpalen en vloer in den natte	X			X	X
19		Groene kolk tussen taluds, voorzien van oever- en bodembekleding en van geleidewerken	Natte ontgraving (boven-deel eventueel in den droge) Onderwaterbekledingen in den natte aanbrengen, bovendeel taluds in den droge afwerken. De palen kunnen drijvend worden geheild, Afwerking geleidewerk boven waterlijn	X		X	X	

Tabel 8.5.4 Alternatieven

ALTERNATIEF		2a	2b	2c	3	K	Opmerkingen
NR	Kenmerken	Bemaling nodig	Beperkte bemaling nodig	Combinatie bemaling met re- fourbemaling denkbaar	Beperkte uitvoerings- breedte	Kolk kan worden droog gezet en vloer is dicht	
1	Monoliet, bemalen bouwput	X		X		X	
2	Monoliet, schermen tot in onderlatende laag		X	X		X	X(2b) kan zinnig zijn om toch gebruik te kunnen maken van een te hoog gelegen laag. X(2c) is dan zeer wel denkbaar
3	Monoliet, damwandkuip met onverankerde o.w.-betonvloer		X	X	X	X	X(2b) kan zinnig zijn om een dünnere o.w.-vloer te krijgen. X(2c) is dan zeer wel denkbaar.
4	Monoliet, damwandkuip met o.w.-betonvloer en trekpalen				X	X	
5	Monoliet, pneumatisch caisson				X	X	
6	Monoliet, geprefabriceerde elementen, afgezonken in sleuf	*				X	* = Ter plaatse geen bemaling, bij dok waarschijnlijk wel
7	Monoliet, geprefabriceerde elementen, afgezonken in sleuf met damwanden	*			X	X	* = Ter plaatse geen bemaling, bij dok waarschijnlijk wel
8	Constructie met 1 betonscharnier, bemalen bouwput	X		X		X	

Tabel 8.6.1 Voorselectie

ALTERNATIEF		2a	2b	2c	3	K	Opmerkingen
NR	Kenmerken	Bemaling nodig	Beperkte bemaling nodig	Combinatie bemaling met re-tourbemaling denkbaar	Beperkte uitvoeringsbreedte	Kolk kan worden gezet en vloer is dicht	
9	Constructie met 2 betonscharnieren, bemalen bouwput	X		X		X	
10	Gew. betonnen L-muren, steenbestorting, bemalen bouwput	X		X			
11	Terre armée wanden, steenbestorting, bemalen bouwput	X		X			
12	Verankerde damwanden, steenbestorting		X	X	X*		X(2b) kan gunstig zijn voor beperking damwandmomenten. X(2c) is dan zeer wel denkbaar. * = benod. breedte o.a. afhankelijk ankerwanden of groufankers.
13	Verankerde damwanden, dikke o.w.-betonvloer.		X	X	X*	X	als bij 12
14	Verankerde damwanden, o.w.-betonvloer met trekpalen.		X	X	X*	X	als bij 12
15	Verankerde damwanden, o.w.-betonvloer met trekpalen, constructieve vloer		X	X	X*	X	als bij 12
16	Gew. betonnen L-muur op palen en damwand, steenbestorting.		X	X	X		X(2b) kan gunstig zijn om wrijfhouten te vermijden, kortere damwanden te krijgen en damwand-corrosie te beperken. X(2c) is dan zeer wel denkbaar.

Tabel 8.6.2 Voorselectie

ALTERNATIEF		2a	2b	2c	3	K	Opmerkingen
NR	Kenmerken	Benaming nodig	Beperkte bemaling nodig	Combinatie bemaling met re-tourbenaling denkbaar	Beperkte re-uitvoerings breedte	Kolk kan worden droog gezet en vloer is dicht	
17	Gew. betonnen L-muur op palen en damwand, dikke o.w.-betonvloer		X	X	X	X	als bij 16
18	Gew. betonnen L-muur op palen en damwand, dunne o.w.-betonvloer met trekpalen		X	X	X	X	als bij 16
19	Groene kolk tussen taluds met oever- en bodembekleding en geleidewerken						

Tabel 8.6.3 Voorselectie

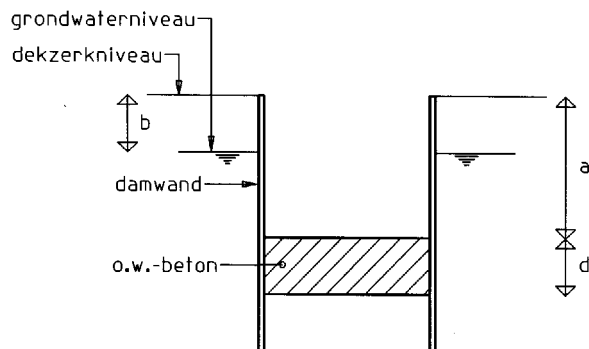
Literatuur:

- [8.1] Bongers, R.P. en van de Haterd, G.W.J., 'Pneumatisch afzinken van sluishoofden', Cement 1995, nr. 5, pag. 63-66.
- [8.2] Roelofs, D.J., 'De nieuwe sluizen te Terneuzen', OTAR 54 (1969) nr. 12.

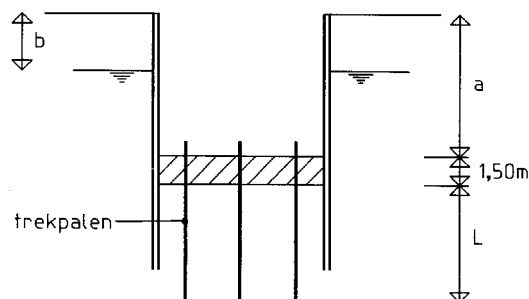
Appendix 8.1 Rekenvoorbeelden onderwaterbetonvloer zonder en met trekpalen

(resp. alternatieven 3 en 4, behorend bij par. 8.5.2)

Voor de globale vergelijking van de beide alternatieven wordt hierna een sterk vereenvoudigde berekening uitgevoerd (zie fig. 8.5).



Dikke onderwaterbetonvloer zonder trekpalen



Dunne onderwaterbetonvloer met trekpalen

Figuur 8.5 Rekenvoorbeelden onderwaterbetonvloer

Algemene uitgangspunten:

- referentiepeil is het dekzerkniveau van de schutsluis;
- de bovenzijde van de onderwaterbetonvloer bevindt zich a m onder het dekzerkniveau, de hoogste grondwaterstand tijdens de uitvoering ligt op b m onder het dekzerkniveau;
- het volumegewicht van onderwaterbeton bedraagt 23 kN/m^3 , dat van grond onder water 10 kN/m^3 ;
- de veiligheid tegen opdrijven moet 1,2 bedragen. Globaal komt dit neer op een γ van 0,9 voor eigen gewicht en grond en op een γ van 1,1 voor de opwaartse waterdruk.
(Opm. Voor de veiligheid tegen opbarsten bij de tijdelijke fase van tunnelfritten is overigens wel eens een centrale veiligheidscoëfficiënt van 1,1 in plaats van de hier aangevoerde 1,2 gehanteerd.)

Bepaling dikte (d) van de onderwaterbetonvloer zonder trekpalen (alternatief 3):

Evenwichtsvergelijking ten opzichte van bovenkant onderwaterbeton:

$$d \times (23 - 10) = 1,2 \times (a - b) \times 10$$

of

$$d = 0,923 \times (a - b) \quad [\text{m}] \quad (8.1)$$

Bepaling paallengte (L) bij een onderwaterbetonvloer met trekpalen (alternatief 4)

Verondersteld wordt dat:

- de onderwaterbetonvloer om uitvoeringstechnische redenen een dikte krijgt van 1,50 m;
- voor de bepaling van de paallengte het kluitcriterium (het te activeren grondgewicht) maatgevend is en niet de wrijving langs de paalschacht;
- L is overigens de lengte waarover de paal zich in de grond bevindt. Voor de werkelijke paallengte moet L vermeerderd worden met de dikte van de onderwaterbetonvloer (1,50 m), die van de uitvullaag en de vereiste laslengte in de constructieve gewapend-betonvloer.

De evenwichtsvergelijking (ten opzichte van bovenkant onderwaterbeton) wordt:

$$L \times 10 + 1,5 \times (23 - 10) = 1,2 \times (a - b) \times 10$$

of

$$L = 1,2 \times (a - b) - 1,95 \quad [\text{m}] \quad (8.2)$$

Vergelijking onderwaterbetonvloer zonder (alt. 3) en met trekpalen (alt. 4):

Duwvaartsluis

Verondersteld wordt een niveauverschil van bovenzijde onderwaterbetonvloer en de dekzerk van $a = 13$ m en dat van grondwater en dekzerk van $b = 4$ m. Bij $a = 13$ m kan men denken aan een duwvaartsluis (2,5 m van dekzerk tot HSP = hoogste schutpeil, 3,35 m verval, 5 m waterdiepte bij LSP = laagste schutpeil, 2 m constructieve vloer en 0,15 m uitvullaag), waarbij de grondwaterstand zich even boven het gemiddelde van HSP en LSP bevindt.

Zonder trekpalen resulteert dan uit formule (8.1) een vereiste onderwaterbeton vloerdikte van maar liefst 8,31 m.

Bij trekpalen en een vloerdikte van 1,5 m volgt uit formule (8.2) een paallengte van 8,85 m. Gaan we uit van een toelaatbare trekkracht van 600 kN (gladde paal, $0,4 \times 0,4$ m²) in het gebruiksstadium (zonder de veiligheidscoëfficiënt in rekening te brengen) dan moet 1 paal per 8,5 m² grondvlak bouwkuip worden aangebracht. Een berekening zal moeten uitwijzen of de aanhechtingsspanning tussen de paal en het onderwaterbeton en de buigtrekspanningen in het onderwaterbeton acceptabel zijn, maar ook zonder controle lijkt dit geen probleem.

In de vergelijking tussen de alternatieven 3 en 4 staat $8,31 - 1,5 = 6,8$ m³ onderwaterbeton tegenover $1/8,5 = 0,118$ paal per m² bouwkuip. De paallengte is berekend op 8,85 m. De werkelijke paallengte zal ca. 12 m zijn, omdat de paal moet worden doorgezet tot in de constructieve vloer. Per m² bouwkuip dus $12 \times 0,118 = 1,42$ m paal.

De kostprijzen worden geschat op f 200,-/m³ onderwaterbeton en f 130,-/m onderwater geheide paal. De prijzen zijn exclusief algemene uitvoeringskosten, winst, risico, A.K. en BTW en gebaseerd op prijsniveau 1995. Dit betekent per m² bouwkuip $6,8 \times f200,- - 1,42 \times f130,- = f1175,-$ aan meerkosten voor een onverankerde vloer. Per m bouwkuip (geschatte breedte voor een duwvaartsluis 31 m) wordt dit ca. $f36425,-$. Daarenboven komen nog de kosten voor de diepere ontgraving en voor de duurdere damwanden (deze moeten niet alleen langer zijn, maar ook een groter weerstandsmoment hebben).

Binnenvaartsluis klasse I

Voor een binnenvaartsluis CEMT-klasse I is een soortgelijke berekening gemaakt. Hierbij is een a van 9 m verondersteld (1,5 m van dekzerk tot HSP, 3,35 m verval, 3,0 m waterdiepte bij LSP, 1 m constructievloer,

0,15 m uitvullaag) en een b van 3,0 m (grondwaterstand even boven het gemiddelde van HSP en LSP).

De breedte van de bouwkuip is geschat op 11 m.

De meerkosten van de onverankerde onderwaterbetonvloer ten opzichte van een die verankerd is aan trekpalen bedragen dan ca. f740,- per m² grondvlak bouwkuip en ca. f 8140,- per m bouwkuip. Ook hier zullen de meerkosten moeten worden verhoogd met de extra kosten van de ontgraving en van de damwand (plus stempeling of verankering).



Foto 9.1 Kolk van schutsluizen te Maasbracht

Hoofdstuk 9 **Sluiskolk**

9.1 Inleiding

In par. 9.2 worden de eisen besproken die worden gesteld aan de vormgeving en constructie van een sluiskolk. Daarbij is een onderscheid gemaakt tussen eisen die voor alle sluizen gelden en eisen die voor specifieke situaties van toepassing zijn.

Par. 9.3 geeft aan de hand van de Tabellen 8.5.1 t/m 4 een overzicht van de negentien alternatieven voor constructie en bouwmethoden, die aan de algemene functionele eisen voldoen en eventueel ook aan die voor specifieke situaties. Omdat negen van die oplossingsprincipes behalve voor kolken ook geschikt zijn voor hoofden, zijn deze reeds behandeld in par. 8.5. In par. 9.3 wordt met een verwijzing daarnaar volstaan.

In par. 9.4 wordt een handreiking gegeven voor de voorselectie uit de in par. 9.3 gepresenteerde alternatieven voor het ontwerp van een bepaalde situatie. Met andere woorden: welke alternatieven komen in aanmerking voor een bepaalde sluis? Voor de negen oplossingsprincipes, die zowel geschikt zijn voor kolken als hoofden, wordt voor de voorselectie verwezen naar het voorgaande hoofdstuk (par. 8.6).

Voorbeelden van sluiskolken van recent gebouwde sluizen worden in par. 13.8 gegeven.

9.2 Functionele eisen

De vormgeving en constructie van de kolk moeten aan de volgende zes eisen voldoen:

1. De constructie van de kolk moet, eventueel tezamen met aan de kolk grenzende gedeelten van de hoofden, de ruimte omsluiten waarin de schepen op een veilige en efficiënte wijze kunnen binnenvaren, afmeren en afgemeerd blijven tijdens het nivelleren. Na het schutten moeten de schepen vervolgens kunnen wegvaren om de sluis te verlaten. De voor dit proces benodigde lengte, breedte en hoogtematen zijn vermeld in par. 4.4 en 4.6. Deze voor de scheepvaart benodigde ruimte dient vormvast te worden omsloten, bij voorkeur zo nauw mogelijk om de hoeveelheden water die nodig zijn voor het vullen en ledigen, zoveel mogelijk te beperken (korte nivelleertijden, beperkte schutwaterverliezen en eventuele zoutpenetraties).
2. De constructie moet de belastingen door grond en water kunnen opnemen (daartoe behoren ook eventuele vanuit de hoofden over te dragen krachten in langsrichting), alsmede de krachten die veroorzaakt worden door de scheepvaart. Tot deze laatste behoren scheepsstoten, troskrachten, eventuele vallende ankers en eroderende belastingen door schroefstralen en andere waterstromingen veroorzaakt door schepen. De constructie dient daarnaast bestendig te zijn tegen stromingen als gevolg van het vullen en ledigen.
3. De constructie dient grond dicht te worden uitgevoerd en bij voorkeur waterdicht te zijn. Van dit laatste kan worden afgeweken voor de constructies van de vloer (indien een steenbestorting op een filter wordt toegepast).
4. De oppervlakken waartegen schepen afmeren en die welke geraakt kunnen worden door langsvarende schepen dienen zo vlak mogelijk te worden uitgevoerd. Het is de bedoeling dat er een minimum aan contactpunten aanwezig is dat beschadiging van de constructie en/of schepen kan veroorzaken. Indien de gewenste mate van vlakheid wordt bereikt door vóór de constructie voorzieningen aan te brengen, zoals wrijfhouten voor damwanden, dan moeten deze voorzieningen zoveel mogelijk aanvaarbesteding en duurzaam zijn, terwijl de vervanging eenvoudig moet kunnen geschieden. Deze eisen gelden ook voor drijframen en fenders, die eventueel in zeevaartsluizen worden aangebracht voor het opnemen van aanvaarenergie of het voorkomen van opstuw- en kleeeffecten bij het afmeren en wegvaren van schepen met grote verticale zijvlakken. Als bij betonconstructies geen voorzieningen worden aangebracht, is het wenselijk een grotere dekking op de wapening aan te houden dan de vbc voorschrijft. De extra dekking zorgt ervoor dat bij eventuele beschadiging van het betonoppervlak door schepen (groeven, butsen) toch voldoende dekking van de wapening overblijft tegen corrosieaantasting. Daarom wordt bij kolkwanden aan de kolkzijde een dekking van 60 mm toegepast en aan de grondzijde bedraagt de dekking 50 mm.
5. Voor het afmeren en afgemeerd houden van schepen worden in het dagziende vlak en op het bovenvlak van de wand haalkommen en bolders aangebracht. Bij zeevaartsluizen worden ook bolders op het sluisplateau geplaatst. De hoogten waarop deze voorzieningen moeten worden aangebracht, de onderlinge horizontale afstanden en de grootte van de erop uitgeoefende troskrachten zijn vermeld in par. 2.4.3.
6. Voor de bereikbaarheid van de schepen en voor het in veiligheid stellen van te water geraakte personen worden ladders aangebracht in verzonken nissen in het dagziende vlak van de kolk. De afstanden tussen de ladders zijn in par. 2.4.13.2 vermeld.

Naast bovengenoemde eisen kunnen, afhankelijk van het beheer en de bouw van de sluis, de volgende aanvullende eisen worden gesteld aan de constructie en de bouwwijze van de sluis.

7. Indien om onderhoudstechnische redenen vereist is dat de kolk geheel of gedeeltelijk wordt drooggezet (deze eis wordt tegenwoordig weinig meer gesteld), zullen constructies met waterdoorla-

tende bodems (steenbestortingen etc.) niet mogelijk zijn. Er zijn twee uitzonderingen, namelijk als het is toegestaan de grondwaterstand tijdens onderhoudsperioden te verlagen en/of wanneer de wanden van de sluisolk (bijvoorbeeld damwandschermen) zijn doorgezet tot in een natuurlijke, afsluitende bodemlaag, die voldoende zekerheid tegen opbarsten biedt. Het droogzetten van de kolk vraagt om relatief hoge investeringen ter voorkoming van opdrijven (extra gewicht of trekpalen). Deze investeringen moeten worden afgezet tegen de frequenties, de noodzaak en het gemak van onderhoud in den droge. Daarbij wordt opgemerkt dat de onderdelen die werkelijk onderhoud behoeven, zich in de hoofden bevinden en niet in de kolk.

8. In bijzondere gevallen kan het met het oog op eventuele waterverliezen en/of piping gewenst zijn een dichte bodem toe te passen (dus geen steenbestorting). Het is wel zo dat deze waterverliezen als regel gering zijn. Anderzijds biedt een dichte bodem van de kolk het voordeel dat de onderloopsschermen korter kunnen zijn dan bij een kolk met een steenbestorting op een filterconstructie.
9. Meer en meer wordt de eis gesteld dat ook tijdens de bouw de grondwaterstand niet of slechts in beperkte mate mag worden verlaagd. Voor sluizen waar deze eis wordt gesteld, valt een groot aantal van de in Tabel 8.5 vermelde oplossingsprincipes af. In Tabel 8.6 is aangegeven welke varianten gepaard gaan met een grondwaterverlaging. Op enkele uitzonderingen na (bijvoorbeeld die met stalen damwanden en een steenbestorting als bodem) leiden constructies die gebouwd moeten worden zonder bemaling, tot hogere bouwkosten dan de constructie, waarbij een bemaling wel is toegestaan.
10. Als regel zullen de hoofden bepalend zijn voor de breedte (loodrecht de sluisas) van het ruimtebeslag. Toch kan de beschikbare ruimte, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van een bestaande sluis, een randvoorwaarde zijn voor de kolk, dat wil zeggen niet voor de uiteindelijke vormgeving, maar wel voor de toe te passen bouwmethode. Opgemerkt wordt dat een bestaande schutsluis een randvoorwaarde is waaraan niet kan worden getornd. Maar bij een bepaalde nabijgelegen bebouwing (huizen etc.) of landbouwgebruik, is het denkbaar dat de eventuele meerkosten van een smalle bouwkuip worden afgewogen tegen de kosten van de onteigening, tenzij onteigening om planologische redenen geen reële mogelijkheid is. Bij situering van een nieuwe naast een bestaande sluis is het overigens denkbaar een economisch optimum te vinden. Voor de definitieve situatie is de gewenste ligging van beide sluizen dicht naast elkaar, terwijl voor de bouw van de tweede sluis een wat grotere tussenafstand aantrekkelijker kan zijn. Benadrukt wordt dat de hoofden als regel bepalend zijn, terwijl de stabiliteit van de bestaande sluis maatgevend is voor de minimale afstand tussen beide kunstwerken.

9.3 Alternatieven constructie en bouwmethode

9.3.1 Inleiding

In de *Tabellen 8.5.1 t/m 4* van par. 8.5 van het voorgaande hoofdstuk "Sluishoofden", zijn 19 alternatieven aangegeven voor constructie en bouwmethode van kolk en hoofden. Een kruis in de 4^e kolom van de tabel betekent, dat het alternatief geschikt is voor een kolk en één in de 5^e kolom, dat dit het geval is voor een hoofd. Alle 19 alternatieven kunnen worden toegepast voor kolken. De nummers 1 t/m 9 zijn zowel geschikt voor kolken als voor hoofden en zijn reeds behandeld in par. 8.5. De nummers 10 t/m 19 komen aan de orde in par. 9.3.2, terwijl de 3 kolommen aan de rechterzijde van de tabellen ("Geschikt voor afmeting") nader zullen worden toegelicht in par. 9.4.2, voorselectie van de alternatieven, onder punt 1.

9.3.2 Alternatieven 10 t/m 19

Allereerst worden de alternatieven 10 t/m 19 in grote lijnen beschreven, verdeeld in 4 groepen, waarna een nadere toelichting per alternatief volgt. Maar eerst worden twee opmerkingen van algemene aard gemaakt.

Een aantal alternatieven kan eventueel gecombineerd worden met een retourbemaling. Dit is niet vermeld in de kenmerken van de methodes in Tabel 8.5, maar komt aan de orde in par. 9.4.2 onder punt 2, waar kolom 2c van Tabel 8.6 wordt toegelicht.

De meeste alternatieven en/of onderdelen daarvan zijn in Nederland eerder toegepast hetzij bij sluizen, hetzij bij open tunnelafritten, behoudens de hierna te noemen zaken:

- kolkmuern van terre armée, variant 11, zijn wel bestudeerd maar nog niet toegepast; in het buitenland is ervaring opgedaan met kademuern;
- gewapende onderwaterbetonvloeren, genoemd als eventuele variant bij de oplossingsprincipes 14 en 18, zijn in Nederland bij tunnels toegepast, maar nog niet onder grote vervalddrukken, behalve bij herstelwerkzaamheden tijdens de bouw van de Zeeburgertunnel.

Het bovenstaande wil zeker niet zeggen dat deze alternatieven of delen daarvan niet zouden kunnen worden toegepast, maar op zijn minst is een diepgaander voorbereiding of onderzoek nodig dan bij de meer gebruikelijke oplossingsprincipes.

In grote lijnen kunnen de varianten worden onderverdeeld in vier groepen (de nummering begint met C, omdat de groepen A en B, die ook geschikt zijn voor kolken, reeds behandeld zijn in par. 8.5.2).

C nrs. 10 en 11:

De wanden worden uitgevoerd als gewichtsconstructies, die stabiel zijn zonder stempelwerking van de vloer. Type 10 is onder meer toegepast bij de 68 m brede doksluis in Berendrecht (Antwerpen), zij het dat daar de toplaag (in afwijking van wat getekend is in variant 10 in de tabel) grotendeels bestaat uit geprefabriceerde geprofileerde betonplaten, die op een filter zijn aangebracht, tussen de neuzen van de vloeren van de gewichtswanden. Ook in Berendrecht hebben deze geprofileerde betonplaten geen stempelfunctie. Als voordeel van de varianten 8 en 9 ten opzichte van 10 wordt wel eens genoemd dat de bouwput smaller kan zijn (minder grondverzet etc.) aangezien de wanden een korter spoor aan de grondzijde behoeven: bij 8 en 9 hoeven de wanden met de op de spoor liggende grond niet op zichzelf stabiel te zijn omdat de horizontale belasting grotendeels wordt afgedragen aan de vloer. Of dit inderdaad een voordeel is, kan alleen worden bepaald door middel van een kostenvergelijking, waarin de kosten van alle onderdelen en werkzaamheden zijn verwerkt.

D nrs. 12 t/m 15:

De wanden bestaan uit damwandprofielen of diepwanden. Bij damwandprofielen worden met het oog op het aanleggen van of schampen door schepen deze profielen vaak voorzien van houten (of kunststoffen) regels en eventueel stijlen. Bij toepassing van diepwanden worden betonnen schorten tot onder de laagste waterstand aangebracht.

De verankering van de wanden is in de tabel getekend als een ankerwand met ankerstaven. Veelal

worden echter groutankers toegepast. De keuze wordt bepaald door de kosten en de beschikbare ruimte. Groutankers, die onder een grote hoek met het maaiveld worden aangebracht, kunnen zelfs onder bebouwing worden aangebracht, al is dit niet altijd toelaatbaar of toegestaan. Een grote hoek met het maaiveld, soms ook nodig om draagkrachtige lagen te bereiken, heeft als nadeel dat de horizontale belasting op de wand minder effectief wordt opgenomen. Bovendien wordt een grote neerwaartse kracht in de wand geïntroduceerd.

De werkzaamheden voor deze alternatieven kunnen worden uitgevoerd met een beperkte of in het geheel géén bemaling. De ankerstaven voor de wanden worden uitgelegd op de bodem van een ondiepe ontgraving, terwijl de wanden vanaf deze bodem worden geheid of gemaakt. Vaak wordt deze bodem juist boven het grondwater gekozen, waardoor in het geheel geen bemaling nodig is. Overigens betekent dit niet altijd dat daarmee de goedkoopste oplossing wordt bereikt. Een door het grondwatervniveau bepaalde hoogteligging kan ongunstig zijn voor de combinatie van ankerkrachten en momenten in de wand. Bovendien kan het bij groutankers aantrekkelijk zijn op meerdere niveaus ankerrijen aan te brengen. De verdere ontgravingen, alsmede het eventuele heien van palen en het storten van onderwaterbeton kunnen geheel zonder bemaling geschieden. Bij alternatief 12 zou kunnen worden overwogen de steenbestorting in den droge aan te brengen, maar een van de voordelen (geen bemaling) gaat dan wel verloren, tenzij het grondwatervniveau van nature toch reeds laag is of er voor de hoofden toch bemalen moet worden.

De keuze tussen de varianten 14 en 15, dat wil zeggen het al of niet aanbrengen van een betonnen constructievloer op de onderwaterbetonvloer, wordt bepaald door het vertrouwen dat de ontwerper heeft in de kwaliteit van het onderwaterbeton. Geheel waterdichte onderwaterbetonvloeren zijn tot nu toe nog maar weinig gemaakt. Lekkages kunnen optreden langs de palen en damwanden of door scheuren en onvolkomenheden. Scheurvorming kan overigens bij lange kolken worden beperkt door het aanbrengen van scheidingsdamwanden (loodrecht op de lengteas van de sluis) die bovendien het voordeel hebben de grootte van de storten te beperken. Gewapend onderwaterbeton zou voordelen kunnen opleveren vooral ten aanzien van beperking van de scheurwijdte en een betere belastingoverdracht (beperking van de gesommeerde kosten van vloer en palen). Aangaande lekkage wordt opgemerkt dat de debieten als regel niet groot zijn, omdat het meestal gaat om kleine vervallen. Alleen bij het eventueel droogzetten van sluiskolken voor onderhoud ontstaat een ongunstiger situatie. Brede scheuren kunnen echter erosiegevaar oproepen (de palen onttelen hun draagkracht aan de omhullende grond).

E nrs. 16 t/m 18:

De gewapend betonnen keermuur op palen en damwand komt in aanmerking bij grote kerende hoogten, waar de enkelvoudig verankerde damwand te duur zou worden. Er bestaan vele voorbeelden van kademuren en enkele van sluizen. De constructie biedt onder meer de volgende voordelen:

- 1 de ontlastingsplaatwerking van de horizontale betonvloer (waardoor de horizontale korreldrukken op de damwand afnemen);
- 2 de korte overspanning van de damwand.

Daaraan kunnen worden toegevoegd:

- 3 het vlakke afmeervlak voor schepen, waardoor geen wrijfhouten nodig zijn zoals bij damwanden;
- 4 de geringe corrosie van de damwand, die zich nu blijvend onder water kan bevinden;
- 5 de beperkte (of in het geheel geen) bemaling omdat de palen en de damwand worden geheid vanuit een ondiepe bouwput, waarin ook de keermuur wordt gebouwd, terwijl de resterende ontgraving en het aanbrengen van het filter en de steenbestorting, dan wel onderwaterbeton en eventuele trekpalen, in den natte kunnen geschieden.

Punt 5 is echter enigszins in strijd met de punten 3 en 4. Wordt gekozen voor geen bemaling, dan bevindt de onderkant van de keermuur zich als regel op een hoog niveau. Daardoor ontstaat de mogelijkheid dat schepen bij een lage waterstand onder de uitstekende rand van de keermuurvloer komen te zitten. In dat geval zijn wrijfhouten toch nodig, tenzij het een schutsluis voor de grote zeevaart betreft, waar drijframes of fenders reeds worden toegepast. Bovendien zal de damwand zich dan naar alle waarschijnlijkheid niet blijvend onder water bevinden en dan toch corrodeert.

F nr. 19:

De groep betreft maar één variant, de groene kolk, die zijn naam ontleent aan de met gras begroeide bovenzijde van de taluds. Deze groep is alleen voor de volledigheid opgenomen. De oplossing is al sinds lang niet meer toegepast, onder meer vanwege de onnodig grote schutscijf (de gedeelten boven de taluds), die leidt tot lange nivelleertijden, extra waterverlies naar het benedenpand etc. Dit alternatief zal men uitsluitend aantreffen bij renovatie, maar het is niet ondenkbaar dat het type zal worden overwogen voor toekomstige kleine (recreatie-)sluizen op grond van het vriendelijke karakter van de groene kolk. Het extra waterverlies moet dan wel aanvaardbaar zijn.

Na deze groepsgewijze behandeling volgen hieronder aanvullende aantekeningen bij een aantal individuele alternatieven.

Alternatief 12 en 16:

De steenbestorting op filter vormt een open vloer. Deze kan ook worden verwezenlijkt door in een onderwaterbetonvloer verticale buizen op te nemen, die met breuksteen op filtermateriaal worden gevuld zoals aangegeven in fig. 9.1. De figuur laat tevens zien dat het zinvol kan zijn de filterbuizen nabij het bovenhoofd dicht bij elkaar te plaatsen. Hier is immers de ongestoorde grondwaterstijghoogte het grootst. Met de concentratie van filterbuizen wordt bereikt dat ook hier het verval over de onderwaterbetonvloer, voor het verticale evenwicht beneden aanvaardbare waarden blijft.

Anders dan bij de steenbestorting kan aan het onderwaterbeton een stempelwerking worden toegekend. Dit stempelen is echter beperkt en betreft uitsluitend de toename van de belastingen op de damwanden na het bouwstadium, dus bijvoorbeeld de vervaldruk over de wanden bij hoge grondwater- en lage kolkwaterstanden.

Alternatief 13 en 17:

De onderwaterbetonvloer moet een zeer grote dikte hebben indien vereist is dat de kolk voor onderhoud kan worden drooggezet, zoals in par. 8.5.2 bij de vergelijking tussen de alternatieven 3 en 4 is opgemerkt. Bij een dergelijke eis zal de voorkeur worden gegeven aan de alternatieven 14, 15 en 18. In het algemeen zullen 13 en 17 slechts zinvol zijn indien betrekkelijk kleine vervallen over de onderwaterbetonvloer optreden.

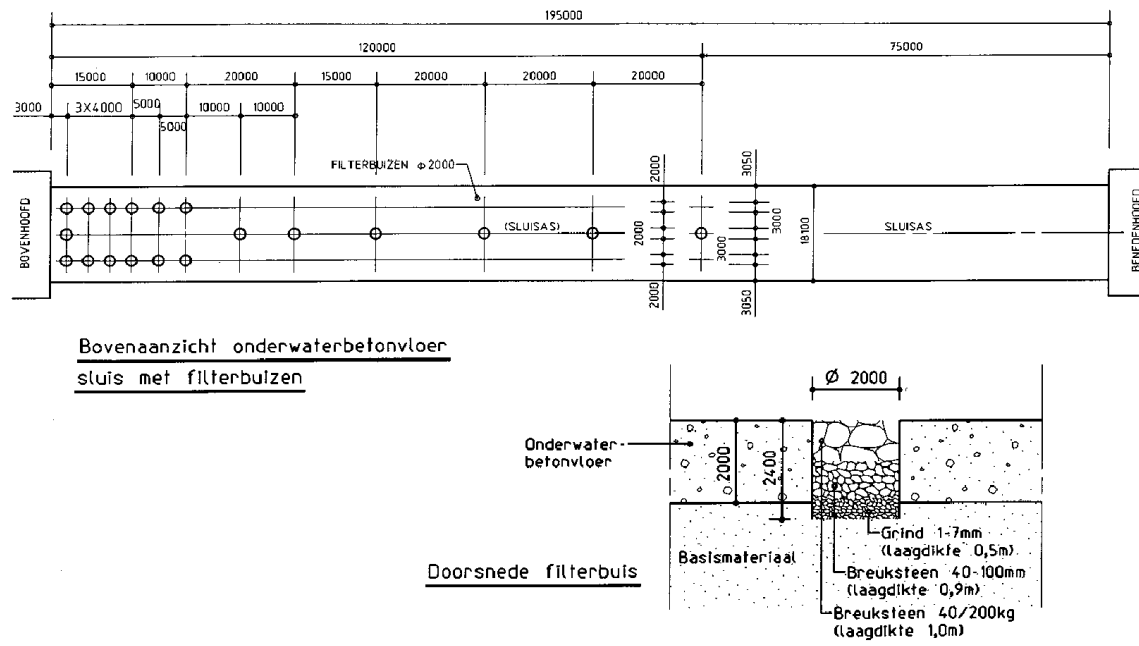
Alternatief 14 en 15:

De kosten van 14 zullen belangrijk lager zijn dan die van 15. De reden om toch voor 15 te kiezen kan zijn dat de ontwerper van de sluis te weinig vertrouwen heeft in de kwaliteit van een onderwaterbetonvloer. Het is denkbaar dat het op grotere schaal dan tot nog toe toepassen van gewapend-onderwaterbeton de ontwerper meer vertrouwen zal geven.

Alternatief 18:

Het is theoretisch denkbaar na dit alternatief met onderwaterbeton (eventueel gewapend) verankerd aan trekpalen, een variant te laten volgen met op de onderwaterbetonvloer een constructieve gewapend-betonvloer evenals dit na 14 bij 15 is gedaan.

Die variant is in Tabel 8.5 echter achterwege gelaten omdat de L-muur op palen en damwand (18) als regel zal worden toegepast voor grotere kerende hoogten dan een enkelvoudig verankerde damwand (14), dus voor grotere stijghoogten onder de vloer. Het is niet waarschijnlijk dat bij die grote stijghoogten de kolk geheel zal worden drooggezet (een dergelijk ontwerp zou kostbaar zijn). De vloer hoeft daarom alleen te worden ontworpen op vervaldrukken bij een lage kolkwaterstand en een hoge grondwaterstand, wat een extra constructieve vloer weinig zinvol maakt. Uiteraard moet ook rekening worden gehouden met het omgekeerde belastingsgeval: een hoge kolk- en een lage grondwaterstand. De palen zullen dan op druk worden belast.



Figuur 9.1 Onderwaterbetonvloer met filterbuizen

9.4 Voorselectie uit de alternatieven

9.4.1 Inleiding

In de Tabellen 8.5.1 t/m 4 en 8.6.1 t/m 3 van de par. 8.5 en 8.6 zijn aanwijzingen gegeven die kunnen helpen bij de keuze uit de verschillende alternatieven voor kolk en hoofden. De volgende par. 9.4.2, beperkt zich tot de voorselectie uit de alternatieven 10 t/m 19, die uitsluitend voor kolken in aanmerking komen. De voorselectie uit de nummers 1 t/m 9, zie zowel geschikt zijn voor kolken als voor hoofden, is reeds behandeld in Par 8.6.2.

9.4.2 Voorselectie alternatieven 10 t/m 19

Niet alle alternatieven komen voor elke kolk in aanmerking. Daarom worden hieronder schiftingen gemaakt naar situaties waarin bepaalde alternatieven meer dan wel minder in aanmerking komen. Het zijn achtereenvolgens:

1. dwarsafmetingen van de kolk;
2. bemaling wel, niet of slechts in beperkte mate toegestaan;
3. beperkte breedte voor de uitvoering beschikbaar;
4. grondgesteldheid;
5. stijghoogte grondwater;
6. ervaring met alternatieven;
7. afstemming op de bouwmethode(s) van de hoofden,
8. kolk kan worden drooggezet;
9. vloer is waterdicht.

Bij de voorselectie uit de alternatieven voor de hoofden in par. 8.6.2 zijn de punten 1 t/m 7 eveneens aan de orde geweest. Voor kolken zijn hierboven de punten 8 en 9 toegevoegd. Niet omdat die eventuele eisen specifiek zijn voor een kolk, maar omdat alle alternatieven die in aanmerking komen voor hoofden (dat zijn dus de alternatieven 1 t/m 9, die ook geschikt zijn voor kolken) een dichte vloer hebben en dus drooggezet kunnen worden. Het is bovendien zo, dat het droog kunnen zetten vaak een uitgangspunt is voor een hoofd, maar nog zelden vereist zal zijn voor een kolk.

Hierna worden de punten 1 t/m 9 nader besproken.

Punt 1, dwarsafmetingen:

In de *drie meest rechtse kolommen van Tabel 8.5* is aangegeven welke alternatieven geschikt zijn voor sluizen met respectievelijk kleine, (middel-)grote en zeer grote afmetingen loodrecht op de sluisas. In par. 8.6.2 is onder punt 1 toegelicht welke afmetingen tot deze drie categorieën worden gerekend. Een kruis in de kolommen betekent dat het alternatief zonder meer geschikt is voor de in het kolomhoofd aangegeven sluisafmetingen. Een gestreept kruis wil zeggen: misschien geschikt voor de betreffende afmetingen. Bij het plaatsen van de kruisen is grotendeels afgegaan op ervaringen in Nederland. Zoals in het volgende wordt toegelicht, is in een aantal gevallen daarvan afgeweken.

De ervaring met alternatief 10 is voor zover bekend beperkt tot zeer grote zeevaartsluizen in België. Er is dan ook een kruis onder "Zeer groot" gezet. Maar omdat de methode misschien denkbaar is bij kleine dwarsafmetingen, zijn onder "Klein" en "(Middel)groot" gestreepte kruisen geplaatst (NB. Dit is discutabel).

Bij alternatief 11 is overeenkomstig gehandeld waarbij wordt opgemerkt dat met kolkwanden van terre armée geen ervaring bestaat (zie punt 6 hierna).

Bij de alternatieven 12 t/m 15 zijn onder "Zeer groot" gestreepte kruisen geplaatst, omdat bij dergelijke diepten damwanden mogelijk minder geschikt zijn (Combiwanden en diepwanden mogelijk wel). Eerder is opgemerkt dat groene kolken (alternatief 19) misschien ooit zullen worden toegepast bij recreatiesluizen. Daarom is in de kolom "Klein" een kruis geplaatst. Omdat de oplossing theoretisch denkbaar is bij grotere sluizen, is onder "(Middel)groot" een gestreept kruis opgenomen, hoewel dit nauwelijks reëel moet worden geacht.

Punt 2, eventuele beperkingen aan een bemaling:

Tegenwoordig is het verlagen van de grondwaterstand vaak niet toegestaan; soms in het geheel niet, soms slechts in beperkte mate, waarbij de per tijdseenheid op te pompen hoeveelheid water gebonden is aan een bovengrens. Dit kan betekenen dat bepaalde alternatieven niet in aanmerking komen in sommige situaties. Daarom is in *kolom 2a van Tabel 8.6* met kruisen aangegeven welke alternatieven een bemaling nodig hebben en in *kolom 2b* bij welke met een beperkte bemaling kan worden volstaan. Beperkt wil overigens nog niet zeggen dat het daarvoor benodigde debiet beneden de eerdergenoemde bovengrens blijft. Dat zal per geval moeten worden gecontroleerd. In *kolom 2c* is aangegeven bij welke alternatieven toepassing van een retourbemaling kan worden overwogen. Waar in die kolom een kruis is geplaatst, zoals bij alternatief 10 (gewapend betonnen L-muren, uitgevoerd in een bemalen bouwput), blijft een bemaling nodig. Afhankelijk van de omgeving wordt een volledige of gedeeltelijke retourbemaling toegevoegd (bij een volledige wordt het gehele opgepompte debiet geretourneerd in de bodem).

Bij de alternatieven 12 t/m 18, zijn gekruiste strepen geplaatst in de kolommen 2b en 2c om aan te geven dat een beperkte bemaling, eventueel in combinatie met een retourbemaling, tot een economischer oplossing kan leiden dan geen bemaling. Dit wordt nader toegelicht in de kolom "Opmerkingen".

Bij de alternatieven 12 t/m 15 is aangegeven dat een beperkte bemaling gunstig kan zijn voor de beperking van de damwandmomenten. Bedoeld is dat het met een beperkte bemaling mogelijk is de verankering van de damwand wat lager aan te leggen dan zonder bemaling mogelijk is, althans indien er sprake is van een relatief hoge grondwaterstand. Een lager anker verkleint het benodigde weestandsmoment van de damwand, maar verhoogt anderzijds de ankerkracht. Er moet dus naar een optimum worden gezocht, waarbij de kosten van de beperkte bemaling en eventueel die van de retourbemaling in de beschouwing moeten worden betrokken. Een dergelijk onderzoek heeft uiteraard alleen zin als een beperkte verlaging van de grondwaterstand is toegestaan en - indien dat niet het geval is - wanneer een retourbemaling acceptabel is voor de omgeving en de vergunningverlener. Bij de alternatieven 16 t/m 18 is onder "Opmerkingen" kort vermeld, waarom een beperkte bemaling en dus een lager aanlegniveau van de gewapend-betonnen voetplaat van de keermuur gunstig kan zijn. Een uitgebreide toelichting is gegeven in par. 9.3.2 onder E, nrs. 16 t/m 18.

Punt 3, beperkte breedte voor uitvoering beschikbaar:

In *kolom 3 van Tabel 8.6* is met een kruis aangegeven welke bouwmethoden slechts een beperkte breedte tijdens de bouw nodig hebben. Beperkt in die zin, dat minder breedte nodig is dan bij een bouwput tussen taluds. Overigens gaat het hier uitsluitend om de terreinbreedte buiten het definitieve kunstwerk, terwijl tevens kan worden gesteld dat de hoofden een groter breedtebeslag vereisen dan de kolk.

Voor de alternatieven 12 t/m 15 (verankerde damwandkolken) staat onder "Opmerkingen", dat de benodigde breedte afhankelijk is van het type verankering: ankerwanden of groutankers. Voor de alternatieven 16 t/m 18 (L-muren op palen en damwand) is een beperkte bouwput nodig, tot aan de onderzijde van de L-muren.

Punt 4, grondgesteldheid:

Indien de grondslag onder de wanden onvoldoende draagkrachtig is, ligt het niet voor de hand de alternatieven 10 en 11 toe te passen. Beide zijn gewichtsconstructies die zodanig zwaar worden gedimensioneerd dat ze op zichzelf stabiel zijn. Daarbij wordt er vanuit gegaan dat de ondergrond voldoende draagkracht bezit. Het toepassen van palen om de belastingen, inclusief het grote eigen gewicht, naar de diepere lagen af te voeren, past niet in dit concept.

Indien de slechte lagen beneden het funderingsniveau slechts een geringe dikte hebben, kan worden overwogen de gewichtsconstructies op een grondverbetering te ontwerpen (vervanging van de slappe grond door verdicht zand).

De overige varianten, de nummers 12 t/m 19, kunnen door de aard van de constructies ook worden toegepast bij een slechte grondgesteldheid. Wel kan het nodig zijn om onder de steenbestorting op filters (nrs. 12, 16 en 19) of de onderwaterbetonvloer (nrs. 13 t/m 15, 17 en 18) een grondverbetering, eventueel afgedekt met een filterdoek, aan te brengen. Daarmee wordt het vermengen van de slechte lagen met filtermateriaal of onderwaterbeton voorkomen. Een grondver-

betering zal zeker noodzakelijk zijn indien dikke lagen onderwaterbeton (nrs. 13 en 17) op een zeer slappe ondergrond moeten worden aangebracht. Indien de grondverbeteringen over een te grote diepte moeten worden voortgezet, kunnen de alternatieven 13 en 17 onaantrekkelijk worden (langere en zwaardere damwanden, c.a., meer grondverzet).

Punt 5, stijghoogte grondwater:

De stijghoogte is uiteraard medebepalend voor het benodigde debiet van de bemaling en daarmee voor de horizontale uitbreiding van de grondwaterstandsverlaging. Indien de onttrekking te groot is, kan dit reden zijn te kiezen voor een uitvoering zonder of met beperkte bemaling of met retourbemaling (zie 2 hierboven).

De afstand tussen het freatisch niveau en de onderzijde van de kolkvloer is echter mede bepalend voor de keuze tussen de alternatieven 13 en 14, respectievelijk 17 en 18, een dikke onderwaterbetonvloer en een dunne onderwaterbetonvloer verankerd aan trekpalen.

Zoals in par. 8.5.2 onder "Alternatieven 3 en 4" en de daarbij behorende appendix 8.1 wordt aangetoond, is een dikke onderwaterbetonvloer in het algemeen financieel gezien onaantrekkelijk ten opzichte van de verankerde vloer. Een dikke vloer komt alleen in aanmerking indien de resulterende opwaartse waterdrukken over de vloer klein zijn, dus wanneer de stijghoogte van het grondwater niet te ver boven de laagste waterstand in de kolk ligt. Een te groot verval kan echter aanzienlijk worden gereduceerd door in de vloer verticale filterbuizen op te nemen (fig. 9.1 en par. 9.3.2 onder "alternatief 12 en 16").

Punt 6, ervaring met de alternatieven:

In het begin van par. 9.3.2 is reeds aangegeven welke varianten en/of onderdelen daarvan niet eerder zijn toegepast bij de sluisbouw in Nederland: kolkmuur van terre armee (alt. 11) en gewapend-onderwaterbeton (alt. 14 en 18). Daaraan kan nog worden toegevoegd dat alternatief 10 alleen is toegepast bij zeer grote zeevaartsluizen in België.

Dat wil niet zeggen dat deze alternatieven of delen daarvan niet zouden kunnen worden toegepast, maar op zijn minst is een diepgaander voorbereiding of onderzoek nodig dan bij de meer gebruikelijke varianten.

Punt 7, afstemming op de bouwmethode(n) van de hoofden:

De uitvoering van de kolk kan niet los worden gezien van die van de hoofden, ook al hoeft niet dezelfde bouwmethode te worden toegepast. Gekozen moet worden voor de bouwmethode voor de kolk die in samenhang met die voor de hoofden tot de laagste kosten leidt voor het geheel van de sluis. Overigens behoeven beide hoofden niet volgens dezelfde methode te worden gebouwd.

Punt 8 en 9, kolk kan worden drooggezet resp. vloer is waterdicht:

De beide punten zijn hier en in kolom K van Tabel 8.6 samengevoegd omdat zowel voor het eventueel droog kunnen zetten van de kolk (functionele eis 7 uit par. 9.2) als voor het eventueel beperken of voorkomen van waterstandsverliezen en/of piping (functionele eis 8), een waterdichte vloer nodig is. Bij de verdere uitwerking zullen echter dimensioneringsverschillen optreden: het kunnen droogzetten van de kolk zal immers leiden tot grotere resulterende opwaartse waterbelastingen. Zoals bij functionele eis 7 is vermeld zal tegenwoordig nog maar zelden worden geëist dat de kolk voor onderhoud moet worden drooggezet (voor de hoofden is dit anders). In een aantal gevallen kan het echter gewenst zijn de vloer waterdicht uit te voeren.

In kolom K is een kruis geplaatst indien het betreffende alternatief aan de punten 8 en 9 kan voldoen, waarbij voor 8 uiteraard zwaarder moet worden gedimensioneerd.

Kruisen zijn geplaatst bij alle varianten met beton- of onderwaterbetonvloeren, zowel bij de nrs. 1 t/m 9, die kunnen worden toegepast voor kolk en hoofden, als bij de nrs. 13, 14, 15, 17 en 18, die alleen voor kolken geschikt zijn. In kolom K zijn geen kruisen geplaatst bij de overige varianten, die alle voorzien zijn van een steenbestorting op filters en die alleen geschikt zijn voor kolken. Voor punt 8 (kunnen droogzetten) is dit zonder meer niet mogelijk, maar indien een waterdichte vloer wordt vereist met het oog op waterverliezen, c.a. kan worden overwogen de steenbestorting met asfaltbitumen te penetreren. Dit is echter alleen economisch mogelijk indien de opwaartse resulterende kracht voor de belastingsituatie "Lage kolkwaterstand met hoge grondwaterstand" klein is. Het is zelfs mogelijk de steenbestorting en de penetratie in den droge aan te brengen, maar

dat vraagt een zware bemaling en daarmee gaan veel voordelen van de alternatieven met steenbestorting verloren.

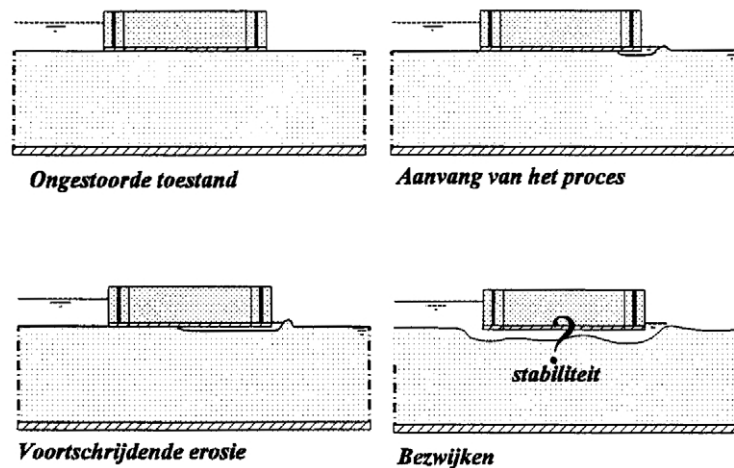


Foto 10.1 Zandmeevoerende wel bij de aansluiting van het achterloopsheidscherm van een sluis aan de benedenstroomse zijde. De keermiddelen bevinden zich in gesloten stand.

Hoofdstuk 10 **Onder- en achterloopsheid**

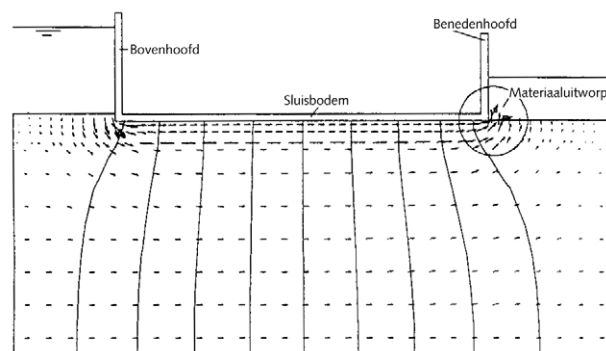
10.1 Inleiding

10.1.1 Problemen door onder- en achterloopsheid



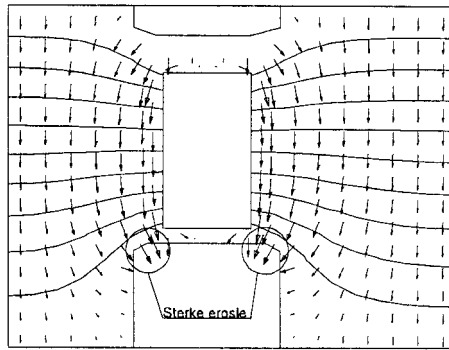
Figuur 10.1 Mogelijke problemen bij onderloopsheid

Omdat een sluis water keert ontstaan er drukgradiënten in het grondwater onder de sluis. Dit veroorzaakt een grondwaterstroming. Hoe korter de sluis hoe hoger de snelheid van de grondwaterstroming. Als de stroomsnelheid te groot wordt, kan grond onder de vloer bij het binnenhoofd van de sluis worden meegevoerd. Dit kan holle ruimten of spleten veroorzaken. Als deze spleten te groot worden kan er meer water onder de sluis doorstromen waardoor de spleten groeien. Uiteindelijk zou de standzekerheid van de sluis gevaar kunnen lopen. Vooral zand in een watervoerend pakket is gevoelig gebleken voor deze vorm van erosie. In fig. 10.1 is aangegeven op welke wijze grond onder een sluis kan worden afgevoerd.



Figuur 10.2 Onderloopsheid bij een sluis; schematische langsdoorsnede.

In fig. 10.2 is te zien dat het water vlak onder de sluisbodem sneller zal stromen (pijlen dichter op elkaar) dan dieper in de ondergrond. Ter hoogte van het benedenhoofd komt het water weer aan de oppervlakte en is er sprake van een concentratie van de grondwaterstroming. Hier is het gevaar voor erosie het grootst en deze zal daar altijd beginnen.



Figuur 10.3 Achterloopsheid bij een sluis; schematisch bovenaanzicht.

In fig. 10.3 is een bovenaanzicht van dezelfde sluis getekend. Vlak naast de sluis treedt een concentratie van stroomlijnen op. Hier zullen de eventuele erosieproblemen zich voordoen.

Dit hoofdstuk gaat over erosie van grond (zand) onder (onderloopsheid) of naast (achterloopsheid) een sluis, als het gevolg van water dat onder en langs de sluis stroomt. Bij het ontwerpen en toetsen van sluisen moet echter ook rekening gehouden worden met grondwaterdrukken onder de vloeren en de aansluitende bodemverdedigingen. Deze kunnen voor de sluisconstructies bepalend zijn. Binnen het kader van dit hoofdstuk wordt daar verder geen aandacht aan besteed. In het hoofdstuk wordt ingegaan op de erosieprocessen en de rekenmethodieken. Voordat de rekenregels aan de orde komen, worden in par. 10.1.2 de diverse begrippen behandeld en wordt het erosiemechanisme uitgelegd.

10.1.2 Begripsvorming

10.1.2.1 Onderloopsheid

Een sluis is onderloops indien door een waterstandsverschil tussen het buitenwater en het binnenwater water onder de sluis doorstroomt en grond meevoert. Onderloopsheid is schematisch afgebeeld in fig. 10.1. Het erosieproces hoeft niet altijd tot bezwijken te leiden. Het kan weer stoppen als het waterstandsverschil niet groot genoeg is om de erosie op gang te houden. De plaatsen waar erosie is opgetreden, zijn soms zichtbaar door de aanwezigheid van de uitgespoelde grond. Als het proces niet stopt (het waterstandsverschil is te groot) zal ten slotte een doorgaand kanaal ontstaan. Het erosieproces gaat dan ongecontroleerd verder en brengt de stabiliteit van de sluis in gevaar.

Het probleem kan ook optreden als de ondergrond zettingsverschijnselen vertoont terwijl de sluis op palen is gefundeerd. De opening tussen de sluisvloer en de ondergrond zal dan zonder grondwaterstroming optreden. Het erosieproces zal sneller plaatsvinden.

10.1.2.2 Achterloopsheid

Achterloopsheid is een verschijnsel dat sterk aan onderloopsheid is gerelateerd. Het proces speelt zich nu af naast de sluis (fig. 10.3). Een sluis is achterloops indien ten gevolge van een waterstandsverschil tussen het buitenwater en het binnenwater, water langs de sluis stroomt en grond meevoert. Er ontstaat ruimte tussen de constructie en de aangrenzende grond. Dit proces wordt zichtbaar door verzakkingen aan het oppervlak. Door deze ruimte kan net als bij onderloopsheid, een doorgaand kanaal ontstaan. De erosie zal oncontroleerbaar doorgaan en evenals bij onderloopsheid, kan de stabiliteit van de sluis in gevaar komen.

10.1.2.3 Piping, zandmeevoerende wellen



Foto 10.2 Zandmeevoerende wel op maaiveld achter een dijk (Heesselt; 1995)

Onder- en achterloopsheid in zand (of grind) wordt piping genoemd. Dit heeft te maken met de vorm van de kanalen, die als gevolg van het erosieproces ontstaan. Bij piping ontstaan wellen aan de benedenstroomse zijde van de waterkering (dijk, sluis). Er wordt zand getransporteerd als de snelheid van het water dat uit de wel, langs en/of onder de waterkering stroomt, te groot is. Foto 10.2 toont een zandmeevoerende wel aan de benedenstroomse zijde van een dijk op het maaiveld.

Net als bij een dijk kunnen bij een sluis ook één of meerdere gangen onder/langs de sluis ontstaan, vaak met een vingervormig patroon (foto 10.3).

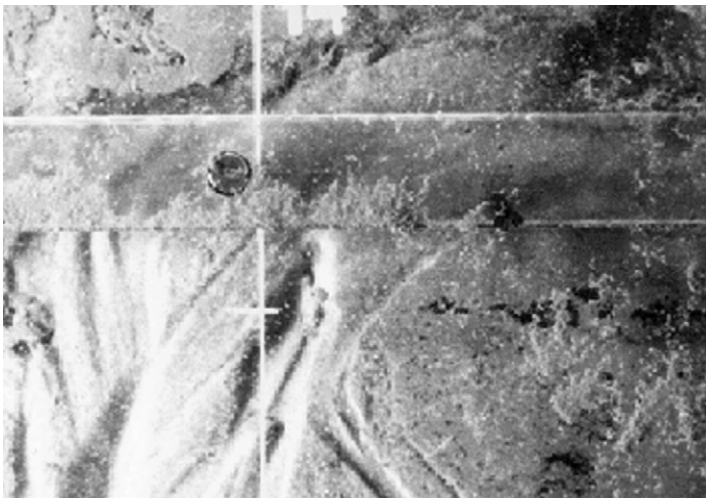
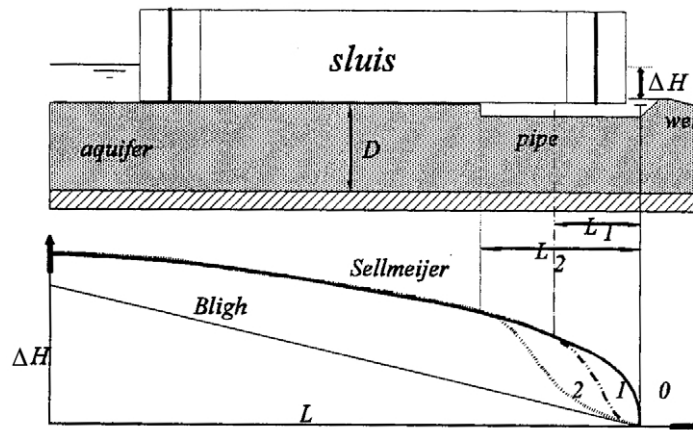


Foto 10.3 Vingervormige "pipes" onder een sluisvloer (Proef uitgevoerd in de Deltagoot van het W.L. in de Voorst)

Het ontstaan van een pipe als gevolg van zandtransport door te grote stroomsnelheid van het grondwater op het grensvlak van een zandlaag en de sluis (zowel in horizontaal als verticaal vlak), wordt piping genoemd. Het al dan niet meevoeren van gronddeeltjes is afhankelijk van de grondsoort. Zand is het meest gevoelig voor piping gebleken omdat de korreldiameter kleiner is dan die van grind terwijl klei en veen in tegenstelling tot zand cohesief zijn. Piping is daarom ook uitsluitend in zand geconstateerd.

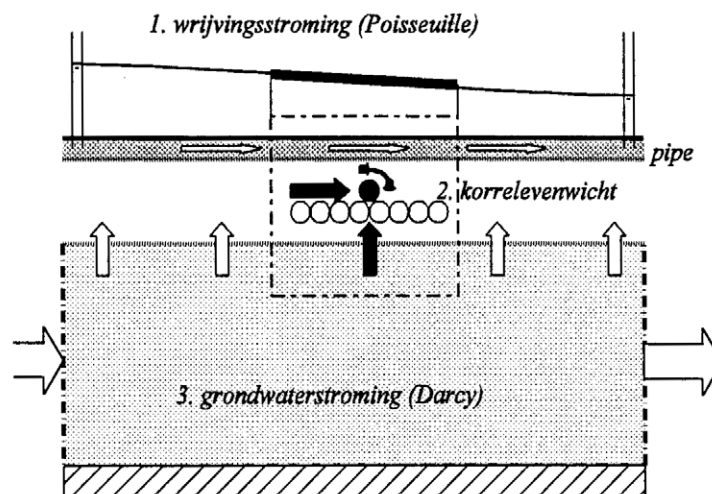
Het proces is te begrijpen door de waterdrukken op het grensvlak van het watervoerende zandpakket en de sluisbodem te beschouwen. In fig. 10.4 is het drukverloop geschetst waarbij wordt uitgegaan van een stationair (tijdsonafhankelijk) verval over de sluis. Als gevolg van dit verval ontstaat langs het grensvlak tussen aquifer (dit is het watervoerend zandpakket) en sluisbodem de verhanglijn lijn 0.



Figuur 10.4 Verloop van de waterdrukken (verhanglijn) op het grensvlak van de aquifer en de sluisbodem tijdens het pipingproces.

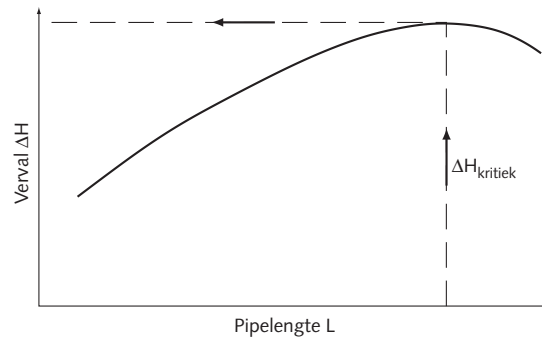
Omdat de stromingsdrukken langs dit grensvlak aan de benedenstroomse zijde erg groot kunnen zijn (bij een verhanglijn met een steile helling zijn de stroomsnelheden in de pipe groter dan een met een flauwe helling) zal er zand worden getransporteerd. Er ontstaat een pipe met een lengte L_1 en een bijbehorende verhanglijn 1. Aan deze verhanglijn is te zien dat de stromingsdrukken aan de benedenstroomse zijde van de pipe zijn afgenomen. Aan de bovenstroomse zijde van de pipe is de helling echter nog erg steil. De pipe zal groeien totdat de stromingsdrukken langs de bodem van de pipe zo ver zijn afgenomen dat er geen zand meer wordt getransporteerd.

Kenmerkend voor het optreden van piping is dat de stroomsnelheden van het water langs het grensvlak zand/sluisvloer en in de pipe, groter zijn dan een kritieke waarde. Deze kritieke waarde, hier als grensevenwicht aangeduid, wordt bepaald door kenmerkende eigenschappen van het zand, zoals vorm, diameter, dichtheid en rolweerstandhoek van de korrel.



Figuur 10.5 De elementen van het model van Sellmeijer

Bij de beschrijving van het pipingproces moet tevens rekening worden gehouden met de verticale stromingsdrukken op de rand van de pipe. Deze drukken ontstaan door water dat uit de aquifer in de pipe stroomt. Deze verticale stromingsdrukken verminderen de bijdrage van het eigen gewicht in het grensevenwicht van de zandkorrels. In het model volgens Sellmeijer kunnen de horizontale stromingsdrukken in de pipe en de verticale stromingsdrukken op de rand van de pipe, via het grensevenwicht van de korrels worden berekend (fig. 10.5). Het verval over de pipe met een bepaalde lengte kan worden berekend waarna het toelaatbare verval over de sluis bekend is.



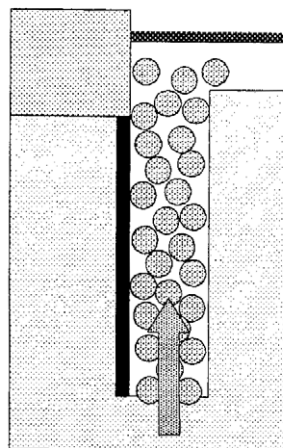
Figuur 10.6 Verband tussen de pipelengte en het verval over de sluis

Over het grootste deel van de pipe kan grensevenwicht optreden. Alleen in de wel en aan de bovenstroomse rand van de pipe kan niet aan deze voorwaarde worden voldaan. Omdat verondersteld wordt dat dit van minder belang is in de huidige beschrijving, wordt hiermee nog geen rekening gehouden. Ten gevolge van een verval over de sluis ontstaat een pipe met een bepaalde lengte.

Het toelaatbare verval als functie van de lengte van de pipe kan worden berekend met het model van Sellmeijer (beschrijft verhanglijnen 1 en 2 in fig. 10.4). Dit leidt tot fig. 10.6. Bij een te groot verval over de sluis kan echter geen evenwicht meer worden gevonden voor de zanddeeltjes langs de bodem van de pipe en treedt doorgaande piping op (lijn 1 naar lijn 2). Fig. 10.6 is hierbij illustratief. Bij een te groot verval is de pipelengte onbeperkt. De top van de paraboolvormige functie in de figuur geeft het kritieke verval.

Voor een veilige situatie moet het verval in alle gevallen kleiner zijn dan het kritieke verval. Dit verval kan worden berekend met de ontwerpregel van Sellmeijer (zie par. 10.3.3.2) die afgeleid is uit een analytisch model. Een andere, snelle methode is de benadering van Bligh (wordt besproken in par. 10.3.3.1). Deze regel is op te vatten als de raaklijn langs de verhanglijn (zie fig. 10.4). Om tot een toelaatbare helling van de raaklijn (quotiënt van het verval en de lengte van de sluis) te komen heeft Bligh de 'creepfactor' geïntroduceerd. In deze factor zit verborgen veiligheid.

10.1.2.4 Heave

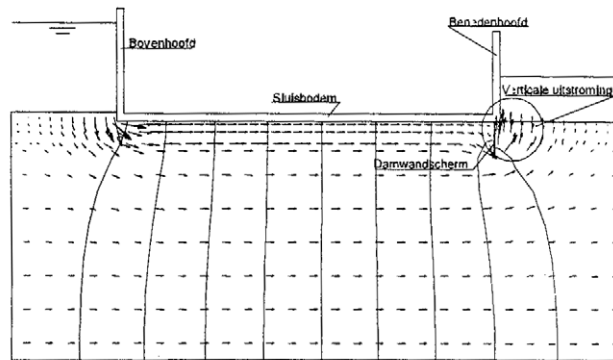


Figuur 10.7 Het heave-criterium

Een van de middelen die een ontwerper heeft om de hiervoor genoemde verschijnselen tegen te gaan, is het aanbrengen van kwalschermen. Achter deze schermen kan een grondwaterstroming ontstaan, die naar boven is gericht. Deze grondwaterstroming oefent krachten uit op het daar aanwezige grondlichaam. Als deze krachten te groot worden zullen de gronddeeltjes niet meer op elkaar rusten, maar in

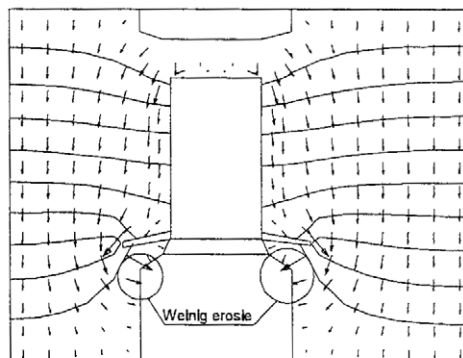
zwevende toestand raken. De wrijvingskrachten tussen de deeltjes vallen weg en er ontstaat een situatie die bekend staat als drijfzand.

Het principe van het optillen van gronddeeltjes wordt *heave* genoemd. Theoretisch ontstaat deze situatie als de gradiënt de waarde 1 bereikt. In de praktijk treden in een eerder stadium problemen op. Als criterium voor een toelaatbaar uitstroomverhang is een over de hoogte van het benedenstrooms geplaatste damwandscherm (kwelscherm) gemiddeld verhang gekozen met als richtwaarde 0,5. De afleiding van dit criterium is opgenomen in Appendix 10.2. Let op: het scherm moet aan de benedenstroomse zijde van de sluis worden geplaatst.



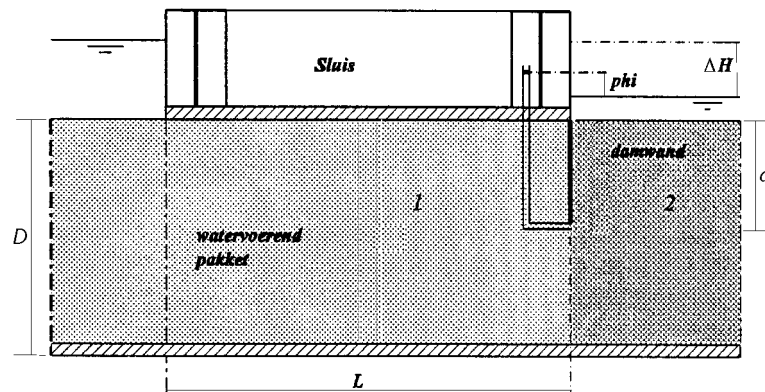
Figuur 10.8..Onderloopsheid bij een sluis met een benedenstrooms geplaatst kwelscherm; langsdoorsnede.

In fig. 10.8 is aangegeven op welke wijze een verticaal scherm zal bijdragen aan de weerstand tegen erosie van een constructie. Het verschil met de situatie geschetst van fig. 10.1 is zichtbaar aan de grondwaterstroming. Aan de uitstroomzijde wordt de waterbeweging in verticale richting gedwongen. De te eroderen zanddeeltjes zullen tegen de zwaartekracht in moeten worden afgevoerd. Daarom is een groter verhang nodig dan in de situatie zonder schermen. Daarbij komt dat ook de kwelweg langer is geworden. Het totaal biedt dus meer weerstand tegen erosie, niet door beperking van het debiet, maar door beïnvloeding van de stromingsrichting.



Figuur 10.9 Achterloopsheid bij een sluis met een benedenstrooms geplaatst kwelscherm; bovenaanzicht

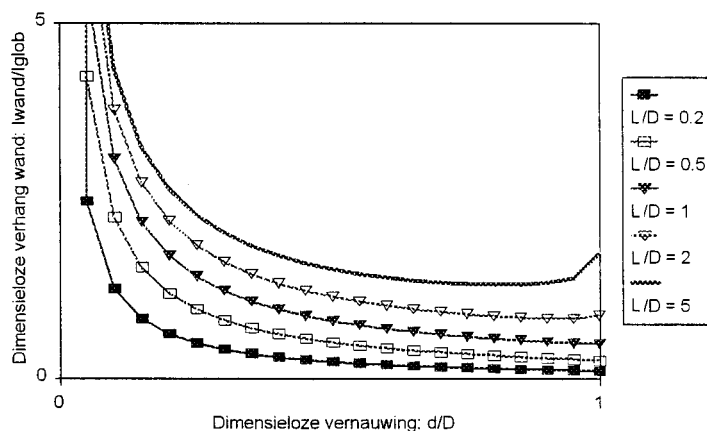
In fig. 10.9 is zichtbaar hoe de stroomlijnen door damwandschermen die aan weerszijden van de sluis aanwezig zijn, worden afgebogen (vergelijk dit met fig. 10.2). Aan de uitstroomzijde zijn de grotere snelheden van de grondwaterstroming verder van de constructie verwijderd dan zonder schermen het geval zou zijn geweest. Dus hebben schermen een gunstige invloed op de weerstand van een sluis tegen onder- en achterloopsheid.



Figuur 10.10 Doorgerekende geometrie om het heave-principe duidelijk te maken

De situatie van fig. 10.10 wordt beschouwd. Het betreft een sluis met een lengte L op een watervoerend pakket met een dikte D . Aan de benedenstroomse zijde van de sluis is een damwand met een lengte d aangebracht. Deze damwand sluit het watervoerende pakket voor $d/D\%$ af. In de figuur is het watervoerende pakket verdeeld in twee zones, die op elkaar aansluiten bij de damwand. Deze scheiding heeft een rekentechnische achtergrond, er is sprake van twee fragmenten. Voor deze sluis is met de fragmentenmethode (par. 10.3.3.2) het verval over de damwand berekend. Dit verval (in fig. 10.10) is gelijk aan het verschil tussen de stijghoogte aan de onderzijde van de damwand en de stijghoogte aan de bovenzijde van de damwand.

Door dit verval te delen door de damwandlengte d kan het over de wand gemiddelde verhang worden berekend. Dit verhang moet kleiner zijn dan 0,5. In fig. 10.11 staan de resultaten van berekeningen met de fragmentenmethode.



Figuur 10.11 Schermlengte versus kritiek verval; gemiddeld verhang langs de wand bij $l_{\text{globaal}} = H_{\text{totaal}} / L$

Op de horizontale as staat de relatieve afsluiting van het watervoerende pakket: d/D . Op de verticale as staat het over de wand gemiddelde verhang gedeeld door het globale verhang. Onder globaal verhang wordt hier het verval over de sluis gedeeld door de lengte van de sluis verstaan.

Rekenvoorbeeld

Bij een sluis met een lengte van 75 m op een watervoerend pakket met een dikte van 30 m bedraagt L/D : 2,5 (Zie fig. 10.10). Stel de horizontale doorlatendheid is 4 maal groter is dan de verticale. In de grafiek moet dan bij $2 \times L/D = 5$ worden afgelezen. Bij een verval ΔH van 7,5 m over de sluis bedraagt het globale verhang: $7,5 / 75 = 0,1$. Het toelaatbare verhang over de wand is gelijk aan 0,5 zodat op de verticale as een factor 5 geldt. Op de horizontale as kan nu een d/D van bij benadering 0,1 worden afgelezen. Ook deze waarde moet in verband met het verschil tussen de horizontale en verticale doorlatendheid met een factor 2 ($\sqrt{4}$; zie ook par. 10.2.2) worden vermenigvuldigd om de noodzakelijke dam-

wandlengte te kunnen bepalen.

De benodigde damwandlengte d bedraagt in dit geval $0,2 \times 30 = 6$ m (lengte alleen aanwezig in het watervoerende pakket).

10.1.3 Status van dit hoofdstuk

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op onder- en/of achterloopsheid met de nadruk op de fysica achter het bezwijkmechanisme. Hiermee kan een eerste uitspraak worden gedaan of een voorontwerp worden opgesteld over het kerend vermogen van een sluis voor wat betreft de grondwaterstroming. Het hoofdstuk bevat rekenregels voor de beoordeling van een sluis zonder kwelschermen (Bligh, Sellmeijer) en met kwelschermen (Lane, Heave-regels). Voor meer complexe problemen geeft het hoofdstuk een opstap naar andere publicaties zoals de TAW-leidraad "Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies" (Lit. [10.14], basisrapport, hoofdstuk 6) en het TAW-rapport "Zandmeevoerende wellen" (Lit. [10.15]).

Omtrent de status van de verschillende ontwerpregels dient het volgende te worden opgemerkt:

- de rekenregels van Bligh (onderloopsheid zonder schermen) en Lane (onderloopsheid met schermen) zijn zonder meer toepasbaar; deze regels worden al geruime tijd in Nederland toegepast en hebben hun waarde inmiddels bewezen;
- de rekenregel van Sellmeijer (onderloopsheid zonder schermen) is de afgelopen jaren beproefd in de praktijk. In eerste instantie is het rekenconcept getoetst aan een proefopstelling in de Deltagoot van het Waterloopkundig Laboratorium in de Voorst en zijn enkele ijkparameters bijgesteld. Om tot een veilige parameterschatting te kunnen komen, zijn een enkele probabilistische studies uitgevoerd. Daarna is de regel twee jaar in de praktijk onder begeleiding van de TAW (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen) toegepast en ten slotte vastgelegd in het TAW-rapport "Zandmeevoerende wellen" (lit. [10.15]).
- De heave-regel (onderloopsheid met schermen) wordt pas sinds kort erkend als rekeninstrument. Van deze regel is al veel bekend. Daarom is deze in Appendix 10.2 opgenomen. Ten tijde van het schrijven van dit hoofdstuk werd een probabilistische studie naar de parameterschatting uitgevoerd.

10.2 Invloedsfactoren

10.2.1 Inleiding

De factoren die onder- en achterloopsheid beïnvloeden, hebben te maken met de geometrie van de constructie, met de laagopbouw van de ondergrond en de eigenschappen van de diverse lagen in deze ondergrond. Hoe doorlatend is de ondergrond en wat is de weerstand tegen erosie van de diverse lagen. Ook is van belang de wijze waarop de geërodeerde gronddeeltjes moeten worden afgevoerd. In het voorgaande is al gebleken dat damwanden een gunstige invloed hebben op de erosiebestendigheid tegen onder- en achterloopsheid.

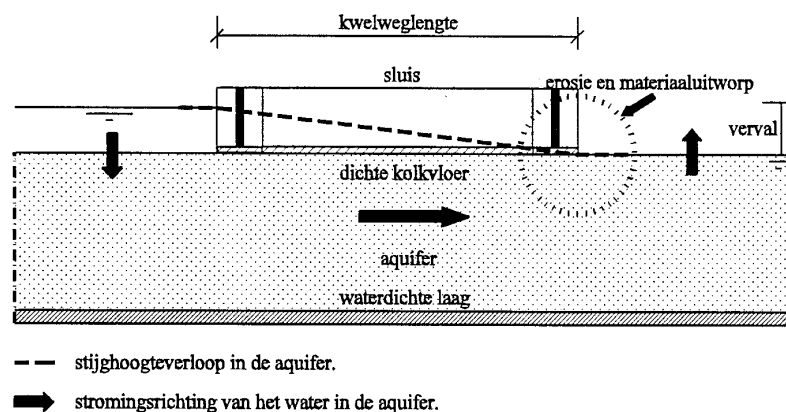
10.2.2 Geometrie, horizontale en verticale elementen

Weerstand

Alvorens in te gaan op de invloed van de geometrie van de constructie zal het begrip weerstandsfactor (volgens Chugaev) of vormfactor (volgens Palovski) worden uitgelegd. In fig. 10.12 is het stijghoogteverloop van het water in de aquifer getekend. Bij een volledig dichte kolkvloer is sprake van een rechte lijn als stijghoogte. Deze lijn start bij de waterstand voor het bovenhoofd en eindigt bij de waterstand achter het benedenstroomse sluishoofd. De helling van deze lijn wordt bepaald door de verhouding tussen het verval over de sluis en de lengte van de sluis. Dat wordt hier gemakshalve aangeduid met het globale verhang. De hoeveelheid water die per strekkende meter onder de sluis doorstroomt, is eenvoudig te berekenen. Hiervoor wordt de wet van Darcy gebruikt. Deze wet zegt dat de hoeveelheid water, die per seconde door een eenheid van doorstroomde oppervlakte stroomt (het *debiet* genoemd) te bepalen is door het verhang te vermenigvuldigen met een constante. Door deze hoeveelheid water te vermenigvuldigen met de dikte van het watervoerende (zand)pakket D wordt het totale onder de sluis doorstromende debiet gevonden. De constante in de wet van Darcy is afhankelijk van de grondsoort en wordt de *doorlatendheid* genoemd met als eenheid m/s . De parameters debiet Q (m^3/s per m), doorlatendheid k (m/s) en verval ΔH (m) kunnen worden samengenomen tot één parameter, die de vormfactor of weerstandsfactor W [-] wordt genoemd. Voor de sluis getekend in fig. 10.12 geldt bij benadering dat:

$$W = (k \Delta H)/Q = L/D$$

Hieruit blijkt dat de weerstand een functie is van de geometrie (of vorm) van de sluis en de ondergrond.

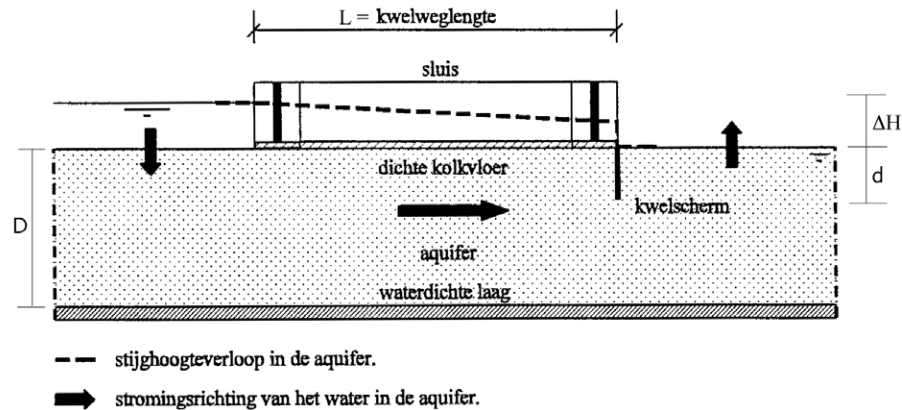


Figuur 10.12 Leklengte bij een dichte kolkvloer, het begrip weerstandsfactor.

Kwelweg

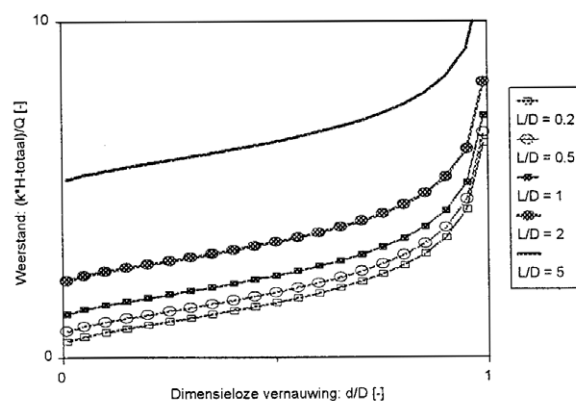
Aan de hand van fig. 10.12 kan ook het begrip kwelweglengte worden toegelicht (zie tevens Appendix 10.3). Onder kwelweglengte wordt verstaan de lengte van de weg, die het water minimaal moet afleggen van de bovenstroomse zijde van de sluis naar de benedenstroomse zijde. De kwelweglengte in fig. 10.12 is gelijk aan de lengte van de sluis. Dit komt doordat het verhang onder de sluis overal constant is en gelijk aan het globale verhang.

Als een damwand wordt toegepast is hiervan geen sprake meer. In fig. 10.13 is aan de benedenstroomse zijde van het binnenhoofd een damwand aangegeven. Verder is de stijghoogte in de aquifer getekend. Er is sprake van een rechte lijn met een sprong in waterdruk over de damwand. De lengte van de kwelweg is nu anders dan in fig. 10.12. Bij de lengte van de sluis moet nu twee maal de lengte van de damwand worden opgeteld. Tevens blijkt de invloed van de damwand uit deze figuur.



Figuur 10.13 Leklengte bij een dichte kolkvloer en een benedenstrooms geplaatste damwand, het begrip weerstandsfactor.

Omdat een sprong in waterdruk over het kwelscherm (de damwand) optreedt, moet de weerstand van deze sluis met damwand groter zijn dan de weerstand van de sluis zonder damwand. Het verhang onder de sluis is kleiner. Bovendien moet de weerstand een functie zijn van de lengte van de damwand d . Dit blijkt ook uit berekeningen. In fig. 10.14 is de weerstandsfactor als functie van L/D en d/D getekend.



Figuur 10.14 Dimensioze debiet als functie van d/D en L/D

Op de *horizontale* as van deze figuur staat de afsluiting van het watervoerende pakket: d/D . Op de *verticale* as staat de weerstand van de gehele geometrie van de sluis (met de damwand).

Rekenvoorbeeld

Voor de sluis van $L = 75$ m op een watervoerend pakket met een dikte van $D = 30$ m en een horizontale doorlatendheid, die 4 maal groter is dan de verticale doorlatendheid, zou bij een damwandlengte van $d = 6$ m de weerstand bij benadering gelijk aan 6 zijn.

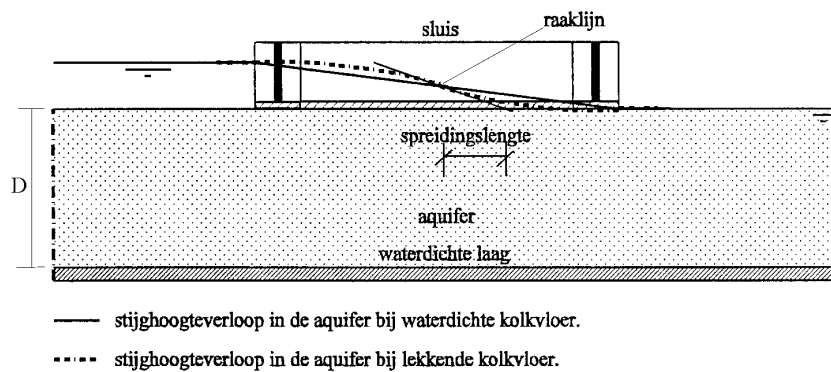
Fragmentenmethode

De heave-regels zijn gebaseerd op de fragmenten-methode. Bij deze methode, die al in 1935 door Palovski is bedacht, wordt het stromingsveld opgedeeld in een aantal deelgebieden, fragmenten genoemd. Van elk fragment wordt de stromingsfactor bepaald. De som van alle stromingsfactoren geeft de stromingsfactor van de gehele constructie. Deze wijze van sommeren van stromingsweerstand mag

alleen als de fragmenten in serie staan, d.w.z. dat al het water van fragment naar fragment stroomt. Bij splitsing van debieten staan fragmenten parallel en kunnen de inverse weerstanden worden gesommeerd tot een inverse totale weerstand. Op de grens van de fragmenten moeten de potentiaal en het debiet (in verband met het sommeren) aan elkaar gelijk zijn. De potentiaallijnen en stroomlijnen sluiten als het ware op elkaar aan. De raaklijnen aan de stroomlijnen moeten in beide gebieden ook aan elkaar gelijk zijn. Dit lukt in de praktijk alleen als op de grens tussen twee gebieden de stroomlijnen horizontaal lopen. Daarom wordt voor de grens van twee gebieden vaak een damwand gekozen. In fig. 10.10 staan twee fragmenten weergegeven.

Lekkende kolkvloer

Bij een lekkende kolkvloer zal de waterstand in de aquifer niet als een rechte lijn verlopen. Door bodemlekkage kan er water in de kolk komen. Bij een afgesloten kolk zal het water in de kolk stijgen totdat de waterstand in de kolk even hoog is als de waterstand voor de sluis. Als de binnendeur echter niet keert wordt de waterstand in de kolk bepaald door de waterstand achter de sluis. De waterstand in de kolk kan dan min of meer gelijk gesteld worden aan de waterstand achter de sluis. Voor het bepalen van de vormfactor en de lek lengte in dat geval, moet rekening gehouden worden met de lekkage. Fig. 10.15 toont een schets van deze sluis. De waterstand in de aquifer onder de kolkvloer heeft een hyperbolisch verloop. Het verloop van deze waterstand kan worden beschreven met de raaklijn aan de kromme. De kenmerkende parameter wordt de spreidingslengte λ genoemd.



Figuur 10.15 Leklengte bij een lekkende kolkvloer.

De spreidingslengte λ kan worden berekend uit de horizontale doorlatendheid k [m/s], de dikte van de aquifer D , de dikte van de kolkbodem d_{kolk} en de verticale doorlatendheid van de kolkbodem k_{kolk} . Er geldt dat:

$$\lambda = \sqrt{(k D d_{\text{kolk}} / k_{\text{kolk}})}$$

Voor de lek lengte L' geldt nu dat (met L = sluislengte):

$$L' = L \tanh (L / \lambda)$$

Met deze L' kan weer de weerstandsfactor W worden uitgerekend.

10.2.3 Grondlaag eigenschappen

Anisotropie in doorlatendheid

Bij het bepalen van de weerstandsfactoren in de vorige paragraaf is aangenomen dat de horizontale doorlatendheid van een grondsoort gelijk is aan de verticale doorlatendheid. Dit komt in de praktijk echter zelden voor. Meestal is de horizontale doorlatendheid van een zandpakket groter dan de verticale. Dit hangt samen met het feit dat de meeste Nederlandse zandsoorten laagsgewijs zijn afgezet zodat de korrelstructuur in horizontale richting anders is dan in verticale richting.

De weerstandsfactor kan men vinden door in de formules voor de bepaling van de homogene isotrope weerstandsfactor (waarbij is aangenomen dat de horizontale en verticale weerstand aan elkaar gelijk zijn) alle verticale afmetingen te vermenigvuldigen met de wortel uit het quotiënt van de verticale en de horizontale doorlatendheid.

Bij bepaling van de benodigde scherm lengte is het belangrijk met anisotropie rekening te houden. Bij de figuren 10.10 en 10.14 is al een rekenvoorbeeld gegeven. Bij een pipingberekening volstaat veelal een goede bepaling van de kD -waarde, zie hieronder.

Transmissiviteit

Behalve de doorlatendheid moet ook de dikte van het watervoerende pakket bekend zijn. De dikte van het pakket en de isotrope doorlatendheid van het pakket worden vaak samengenomen in de parameter kD , die transmissiviteit wordt genoemd.

Er zijn verschillende proeven beschikbaar om deze parameters te bepalen. Een kD -waarde is af te leiden uit een pomp proef. De doorlatendheid kan direct worden bepaald via een 'constant head test' of indirect via een zeefcurve. Een relatief nieuwe methode om de doorlatendheid in situ te bepalen is een sonde-meting (dipool- of monopoolsonde). Probleem met deze metingen is dat verschillende proeven vaak niet het zelfde antwoord opleveren. Het combineren van verschillende metingen is niet eenvoudig. Dit is onderwerp van studie. Vooruitlopend op de resultaten van dit onderzoek zal - met enige voorzichtigheid - met de benodigde kD -waarde van het zandpakket moeten worden omgegaan.

In par. 10.5.2 staat voor het rekenvoorbeeld een schematisatie van de ondergrond gegeven. In het voorbeeld is gekozen voor de verbanden van Allen Hazen en Kozeny voor het met een constant head test bepalen van de horizontale doorlatendheid. De methode is gegeven om de verschillen te accentueren en niet om deze wijze van bepaling aan te bevelen.

Representatieve diameter van de (zandkorrels)

Om een pipingberekening te kunnen maken moet de weerstandsparementen van het zand worden bepaald (zie par. 10.3.3).

10.2.4 Driedimensionale effecten

Bij het erosiemechanisme onder- en achterloopsheid spelen driedimensionale effecten een rol. Immers de grondwaterstroming treedt niet alleen op in het verticale maar ook in het horizontale vlak (zie fig. 10.3 en fig. 10.9). In deze paragraaf wordt kwalitatief ingegaan op de rol van driedimensionale stroming bij piping en heave.

Piping

Bij de beschrijving van het mechanisme met het model van Sellmeijer (zie par. 10.1.2.3 en fig. 10.5) is de pipe gemodelleerd als een spleet met een oneindige breedte. Het water stroomt alleen in het verticale vlak en de pipe groeit binnen het verticale vlak van de benedenstroomse zijde richting de hoge waterstand voor de waterkering. In werkelijkheid is er sprake van een spleetje met een breedte, die orde 10 à 100 keer zo groot is als de hoogte, terwijl de pipe zal groeien in de richting van de grootste gradiënt van de verhanglijn van het grondwater (zie fig. 10.4). Bij het afleiden van de ontwerpregel is rekening gehouden met de vorm van de pipe. Er is een factor geïntroduceerd die dit effect verdisconteert. De factor is afgeleid uit de resultaten van een proefopstelling.

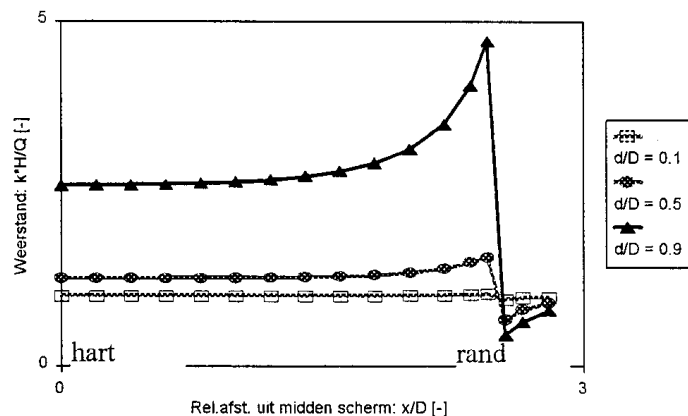
Heave

Bij toepassing van het heave-model is een belangrijke vraag over welke lengte het scherm in zijdelingse richting moet worden doorgezet. Voor een antwoord op deze vraag is het van belang de effecten te analyseren die optreden bij toepassing van een scherm aan de benedenstroomse zijde van het kunstwerk. Om deze analyse te kunnen uitvoeren zijn er berekeningen gemaakt met een driedimensionaal grondwaterstromingsmodel. De berekeningen die met dit model zijn gemaakt, zijn vergeleken met de resultaten van de fragmentenmethode. Voor de berekeningen is de geometrie die gepresenteerd is in fig. 10.10, aangehouden. De breedte van het scherm (wordt uitgedrukt in een factor maal de dikte van het

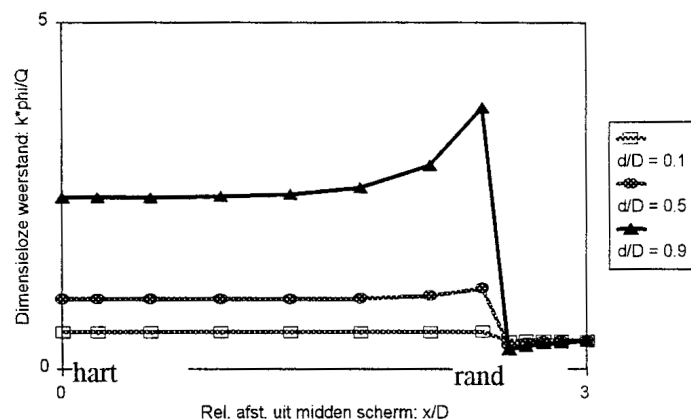
watervoerende pakket) is gevarieerd. De analyse richtte zich op de volgende vragen:

1. hoe verschilt de weerstand van een zuiver tweedimensionale situatie van een in werkelijkheid driedimensionale geometrie;
2. kunnen driedimensionale weerstanden evenals tweedimensionale weerstanden worden opgeteld, immers de fragmentenmethode laat dit toe bij een serieschakeling van weerstanden;
3. in hoeverre is een tweedimensionaal berekende scherm lengte gebaseerd op het heave-criterium, representatief voor een driedimensionale situatie.

ad 1. De weerstand van de fragmenten 3D versus 2D



Figuur 10.16 De weerstand van fragment 1 uit fig. 10.10 met $B/D = 5$ en $L/D = 1$



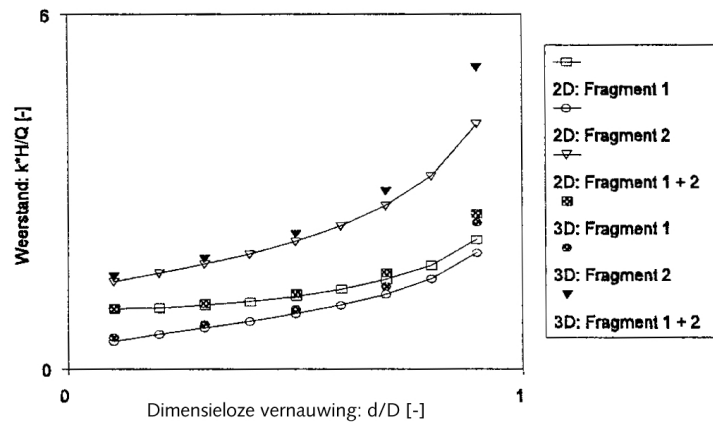
Figuur 10.17 De weerstand van fragment 2 uit fig. 10.10 met $B/D = 5$ en $L/D = 1$

In de figuren 10.16 en 10.17 is de weerstand van beide fragmenten getekend voor een scherm met een breedte B , die 5 maal de dikte van het watervoerende pakket D bedraagt. De lengte van sluis L is gelijk aan de dikte van het watervoerende pakket D . Het betreft een geometrie met een zelfde dwarsdoorsnede als geschetst in fig. 10.10. In de figuren is op de horizontale as de afstand x uit het hart van het scherm (= sluisas) getekend. Deze afstand is genormeerd op de dikte van het watervoerende pakket D . Op de verticale as is de weerstand van het scherm getekend. Dit begrip is al ter sprake gekomen in par. 10.2.2.

Uit de figuren 10.16 en 10.17 blijkt dat de weerstand ter plaatse van het hart van het scherm groter is dan aan de rand van het scherm. Dit is eenvoudig te verklaren. Immers, het stromende water zal aan de rand van het scherm worden afgebogen waardoor er aan de rand van het scherm meer water langs en minder onder het scherm zal stromen dan er in het hart onder de damwand door kan stromen. Dit leidt tot een rekenkundig verschil in weerstand. Direct naast de damwand is sprake van het omgekeerde effect.

Evenals bij een tweedimensionale berekening neemt bij een driedimensionale berekening de weerstand toe bij een toename van de lengte van het kwelscherm. Bij een lang scherm (t.o.v. de dikte van het watervoerende pakket) zijn de driedimensionale effecten groter dan bij een kort scherm.

ad 2. Het optellen van weerstanden bij driedimensionale stroming:

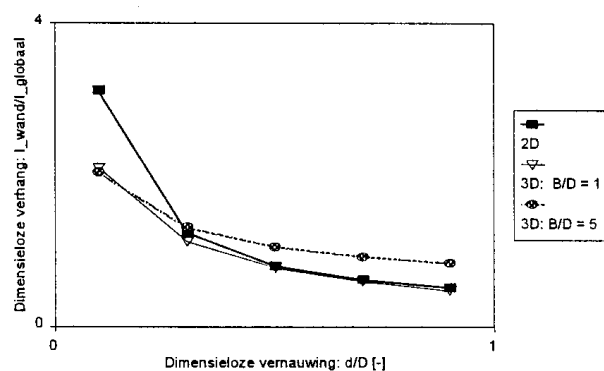


Figuur 10.18 Sommeren van weerstanden 3D versus 2D met $B/D = 5$ en $L/D = 1$.

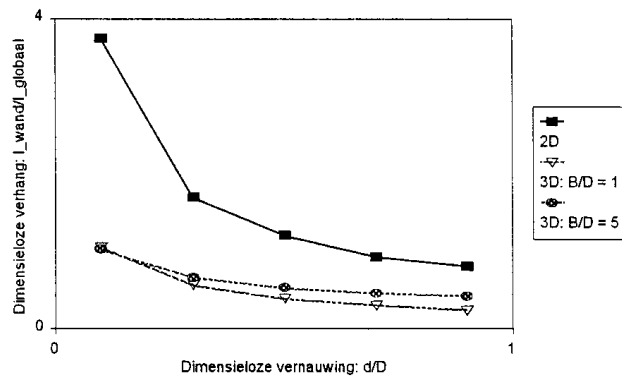
Bij de fragmentenmethode kunnen in het geval van een serieschakeling van de fragmenten de weerstanden van de afzonderlijke fragmenten worden gesommeerd. Het is de vraag of dit bij een driedimensionaal stromingsprobleem ook lukt. In fig. 10.18 wordt de tweedimensionale berekening met een driedimensionale berekening vergeleken. In de figuur staat op de horizontale as de lengte van de damwand d gedeeld door de dikte van het watervoerende pakket D . Op de verticale as staat opnieuw de weerstand.

Het betreft hier de stromingsweerstand van een fragment en de stromingsweerstand van de totale geometrie. Opnieuw bedraagt de breedte van het scherm 5 maal de dikte van de aquifer en is de lengte van de sluis gelijk aan de aquiferdikte. Uit de figuur blijkt dat bij grotere afsluitpercentages een groter verschil tussen een tweedimensionale en een driedimensionale berekening optreedt. Alleen bij grote afsluitpercentages (0,7 of groter) zijn de verschillen van belang.

ad 3. Het over de wand gemiddelde verhang in de driedimensionale situatie



Figuur 10.19 Het over de wand gemiddelde verhang 3D versus 2D bij $L/D = 1$.



Figuur 10.20 Het over de wand gemiddelde verhang 3D versus 2D bij $L/D = 2$.

Ten slotte wordt het over de wand gemiddelde verhang beschouwd. In de figuren 10.19 en 10.20 zijn de verschillen tussen een tweedimensionale en een driedimensionale berekening voor twee scherm-breedten en twee sluislengten (beide relatief t.o.v. de aquiferdikte) geschetst. Op de verticale as staat het over de wand gemiddelde verhang, gedeeld door het quotiënt van het verval en de sluislengte. Op de horizontale as is weer het afsluitpercentage uitgezet. In de figuren is het verhang in het hart van het scherm getekend. De verhangen aan de randen van het scherm zijn kleiner dan dit verhang (vergelijk dit met de fig. 10.16 en 10.17).

Uit deze analyse blijkt de breedte van het scherm een rol te spelen als de breedte van het scherm groot is t.o.v. de lengte van de sluis. Bij lange schermen is het verschil tussen tweedimensionale en driedimensionale berekeningen significant. Door een veiligheidsfactor van 2 op het toelaatbare verhang, groot 1 te zetten, kan dit worden ondervangen. Het toelaatbare verticale verhang mag daarom bij een homogene situatie dus nooit groter dan 0,5 worden gekozen.

10.2.5 Tijdsafhankelijke effecten

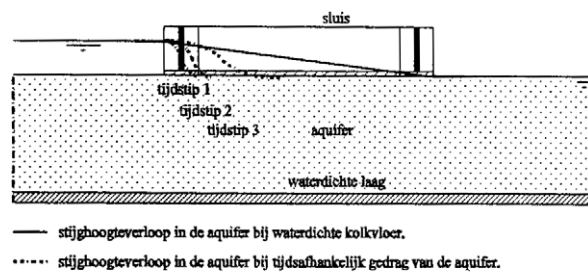
Bij het beoordelen van zandmeevoerende wellen manifesteren tijdsafhankelijke effecten zich op twee manieren (zie fig. 10.5).

1. De grondwaterstroming kan tijdsafhankelijk zijn.
Het grote waterstandsverschil waarop de waterkerende functie van een sluis moet worden gedi-mensionneerd, zal in Nederland zelden voorkomen. Ook is de duur van zo'n hoogwater beperkt. Voor een sluis die een rivier van een kanaal moet scheiden is een tijdsduur van enkele weken voor wat betreft de gehele cyclus een redelijke schatting. Voor een sluis die zeewater moet keren is deze periode veel korter. Een redelijke schatting is dan 36 uur.
2. De afvoer van zanddeeltjes in de pipe varieert met de tijd.

Het in rekening brengen van de tijdsduur van de waterstand voor de sluis kan voordelen opleveren bij de beoordeling van sluizen op onder- en achterloopsheid. Zandtransport is veel moeilijker te beschrijven en op dit moment nog niet aan de orde. Ook bij heave kan met het tijdsafhankelijke gedrag van de stijg-hoogte in de aquifer rekening worden gehouden. Dit manifesteert zich op twee manieren.

1. Het tijdstip waarop de hoogste stijghoogten in de aquifer onder de sluis optreden behoeft niet samen te vallen met dat van de top van de waterstand voor de sluis. Er kan sprake zijn van een zekere vertraging.
2. De grootte van de hoogste stijghoogte, die optreedt in de aquifer, zal kleiner zijn dan de stijg-hoogte, die verwacht zou worden bij de piekwaterstand als deze waterstand als stationair zou wor-den beschouwd. Er is dus sprake van een zekere demping.

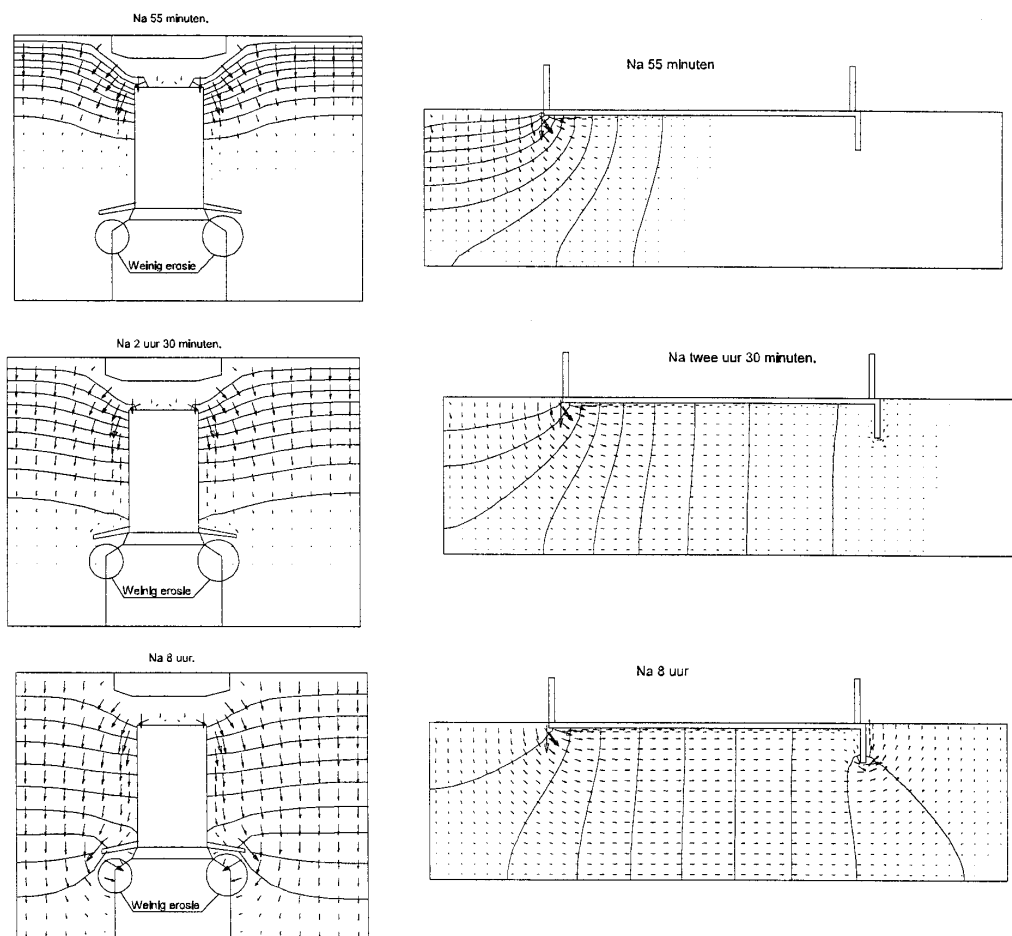
Deze verschijnselen worden veroorzaakt door elastische berging in het watervoerende zandpakket (zand neemt meer volume in bij grote waterdrukken), de doorlatendheid van de aquifer en de kleine verticale doorlatendheid van horizontaal afdekkende elementen als de kolkbodem of een kleilaag. Het voert te ver al deze aspecten hier te behandelen. Vaak kan met tijdsafhankelijke aspecten rekening gehouden worden bij sluizen door een equivalente spreidingslengte te berekenen en deze te vertalen naar een kwelweglengte.



Figuur 10.21 Verdisconteren van tijdsafhankelijke effecten in de lek lengte

Fig. 10.21 maakt dit principe inzichtelijk: voor drie tijdstippen is het verloop van de waterstand in de aquifer geschetst; hierin is via de raaklijnen een tijdsafhankelijke spreidingslengte te herkennen. Het afleiden van een tijdsafhankelijke spreidingslengte is echter niet eenvoudig en is nu nog het terrein van specialisten. In dit hoofdstuk wordt volstaan met het geven van een voorbeeld.

In fig. 10.22 zijn een doorsnede en een bovenaanzicht van een sluis op een slecht doorlatende grondlaag aangegeven voor verschillende tijdstippen. Om het voorbeeld te accentueren is gekozen voor een lage k -waarde: 5×10^{-6} m/s. Voor leemhoudende en kleihoudende zandlagen is dit een te lage waarde. Als randvoorwaarde is gekozen voor een instantane verhoging van het hoge pand met twee meter. De grondwaterbeweging zal zich als functie van de tijd ontwikkelen.



Figuur 10.22 Tijdsafhankelijke berekening: bovenaanzicht en dwarsdoorsnede voor verschillende tijdstippen van de berekening. Het stijghoogteverschil tussen de equipotentiaallijnen bedraagt 0,20 m.

In fig. 10.22 is het beeld te zien van de drukopbouw rondom de constructie na een periode van 55 minuten. Het is duidelijk dat na deze korte periode aan de benedenstroomse zijde van de sluis nog geen effecten kunnen worden waargenomen. Na 2 uur en 30 minuten is de indringing van het water duidelijk gevorderd. De benedenstroomse zijde van de constructie wordt echter nog niet belast. Na 8 uur wordt bij de aangenomen grondeigenschappen en randvoorwaarde de stationaire situatie bijna bereikt. Bij een tijdsafhankelijke randvoorwaarde zal een faseverschuiving optreden. Het maximum zoals dat hoort bij een stationaire situatie, zal niet worden bereikt. Het maximum dat wel wordt bereikt, hangt af van de snelheid waarmee de buitenwaterstand varieert.

10.3 Rekentechnieken voor piping in korrelige materialen

10.3.1 Historisch perspectief

Voor het dimensioneren van sluizen en dijken zijn de afgelopen 80 jaar verschillende rekentechnieken ontwikkeld. De oudste en nu nog gebruikte rekentechniek (rekenregel van Bligh) werd al in 1910 gepubliceerd (Lit. [10.1]). Bligh definieerde een erosiepad onder een slecht doorlatende laag. Hij noemde dat "*Line of Creep*". Daarna hebben tot de tweede wereldoorlog diverse onderzoekers de "Bligh"-aanpak verbeterd en verder uitgewerkt. Deze aanpak is nog steeds een goede eerste benadering, omdat in de praktijk is gebleken dat er sprake is van een veilige sluis als verschijnselen als roofing en/of achterloopsheid niet optreden. Vaak is het ook een overdreven veilige benadering en leidt daarom niet zelden tot overdimensionering.

Lane heeft in 1935 een rekenregel ontwikkeld waarmee ook damwandschermen kunnen worden gedi-mensioneerd (Lit. [10.2]). Deze regel lijkt veel op die van Bligh. Het gedefinieerde erosiepad, dat verticaal loopt (langs de damwandschermen bijvoorbeeld), krijgt een groter gewicht dan het horizontale gedeelte van het erosiepad (onder de sluisvloer bijvoorbeeld). Lane noemde dit de "*Weighted Line of Creep*" methode. Ook de regel van Lane levert, mits juist toegepast, veilige sluizen op. Toch is de veiligheid vaak overdreven groot. Een ander probleem wordt gevormd door het feit dat de methodes van Bligh en Lane niet naadloos in elkaar overgaan. De Lane aanpak met een damwandscherm met de lengte "0" geeft niet dezelfde antwoorden als Bligh. Dit leidt in de praktijk vaak tot wonderlijke en erg onlogische risicobeschouwingen. De aanpak van Lane en die van Bligh zijn gebaseerd op prototype-waarnemingen die vooral in India zijn verzameld.

Na de tweede wereldoorlog is in Duitsland de methodiek van Chugaev vaak toegepast bij sluizen. Deze aanpak was theoretisch iets beter onderbouwd en leverde lichtere constructies op. In de praktijk bleek het echter niet altijd goed te gaan. Er zijn problemen geweest die duidelijk kunnen worden geweten aan te licht dimensioneren op dit verschijnsel. Daarna is in de jaren '60 in Duitsland een onderzoeksprogramma gestart dat op basis van schaalmodel-onderzoek veel kennis heeft opgeleverd over het verloop van het erosieproces. In Nederland is in de jaren '70 een uitgebreid schaalmodelonderzoek gestart waarbij veel kennis is vergaard. Toepassen van deze wetenschap in de ingenieurspraktijk bleek echter niet goed mogelijk zonder de fundamentele kennis van de fysische processen.

In 1984 is daarom voor de onderloopsheid van dijken een studie gestart, die in 1988 een basisregel en in 1992 een rekenconcept voor de praktijk heeft opgeleverd. Dit rekenconcept wordt in de dijkbouw momenteel gehanteerd. Het staat bekend als de rekenregel van Sellmeijer. De regel is gebaseerd op de fysische beschrijving, die is gepresenteerd in par. 10.1.2. De mogelijkheid om verticale schermen mee te nemen is in het rekenconcept aanwezig, maar is theoretisch niet uitgewerkt zodat het niet kan worden toegepast. De regel is in 1994 vastgelegd in een technisch rapport (Lit. [10.4]).

In de jaren '90 is de studie naar de processen rondom damwandschermen opgepakt. Dit heeft geleid tot de heave-regel, die nog niet op grote schaal is ingevoerd. Het toepassen van de regel dient met de nodige voorzichtigheid te geschieden (zie par. 10.1.3). De integratie van kwelschermen in de Sellmeijer-aanpak is in een vergevorderd stadium, maar nog niet operationeel en zal in dit hoofdstuk niet verder worden behandeld.

10.3.2 Toets/ontwerp aanpak

1. Toetsen met eenvoudige ontwerpregels / globaal ontwerpen

Een eerste eenvoudige toets van een bestaande situatie of een eerste ontwerp kan worden uitgevoerd met globale ontwerpregels. Snel en eenvoudig kan worden vastgesteld of zandmeevoerende wellen een gevaar zullen opleveren. De globale ontwerpregels zijn de regels van Bligh en Lane. Als het ontwerp hieraan voldoet kan verdere toetsing achterwege blijven, aangezien deze regels een bovengrens-benadering opleveren. Voor een uitgekiend ontwerp zijn de regels minder geschikt.

2. Gedetailleerd toetsen / ontwerpen

Bij uitgekiende ontwerpen kan, bij afwezigheid van schermen, gebruik worden gemaakt van de regel van Sellmeijer. Om deze regel te kunnen toepassen, moet er relatief veel van de ondergrond bekend zijn, namelijk de opbouw van de ondergrond, de korrelverdeling en de doorlatendheid van het watervoerende zandpakket. Deze regel wordt sinds enkele jaren toegepast bij het toetsen en ontwerpen van rivierdijken.

Bij de aanwezigheid van schermen kan de heave-regel worden gebruikt. De regel is in principe alleen geldig als er aan de benedenstroomse zijde van het kunstwerk (of onderdeel van het kunstwerk waar piping kan optreden) een kwelscherm aanwezig is. In de Nederlandse praktijk zijn nog niet veel constructies met deze regel gebouwd.

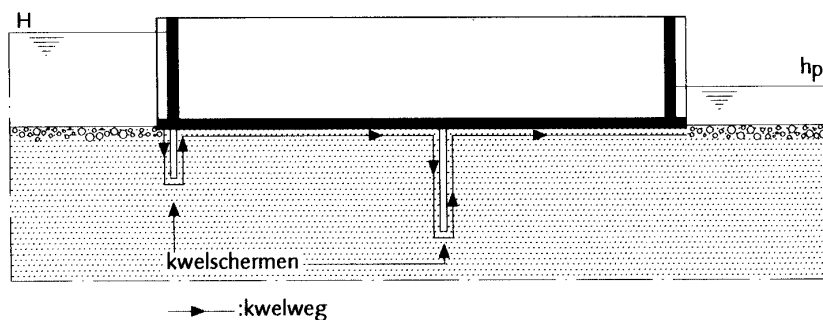
3. Geavanceerd toetsen/ontwerpen

Voor meer ingewikkelde problemen (veel lagen in de ondergrond, meer dan zes schermen, filterconstructies enz.) of als niet aan de heave-voorwaarde wordt voldaan, kan de regel van Sellmeijer of de heave-regel niet gebruikt worden. In die gevallen moet een numeriek grondwaterstromingsmodel worden gebruikt; dit is werk voor specialisten.

10.3.3 Toets/ontwerp gereedschappen

10.3.3.1 Globaal: regels van Bligh en Lane.

In par. 10.1.2.3 is het erosieproces besproken dat bij piping optreedt. Fig. 10.4 geeft een schets van het verloop van de verhanglijn op het grensvlak van de aquifer en de sluisbodem tijdens het pipingproces. De regel van Bligh beschrijft de raaklijn langs de verhanglijn in het uitstroompunt van het kwelwater. Dit levert een toelaatbare verhouding tussen het verval ΔH en de kwelweglengte (of lek lengte) L . Deze toelaatbare verhouding wordt de creep-factor genoemd. Om de lek lengte te bepalen moet het erosiepad (zgn. "Line of Creep") worden gevolgd. Dit is de grens tussen de constructie en het zandpakket omdat daar de weerstand tegen erosie het kleinst is. Bij damwanden kan de regel van Lane worden toegepast. Het erosiepad zal in dit geval langs de damwanden lopen. Beide zijden van een damwand mogen worden meegeteld. Horizontale elementen tellen in de regel van Lane maar voor éénderde mee ("Weighted Line of Creep"). Sprongen in de vloer van de constructie mogen als verticaal element worden meege-
nomen (ze worden gezien als damwand).



Figuur 10.23 Kwelweg bij waterkerend kunstwerk met kwelschermen.

De regel van Bligh ziet er als volgt uit:

$$\Delta H_{\text{crit}} = L / c_{\text{creep}}$$

waarin: L	= leklengte (meestal lengte kunstwerk)	[m]
c_{creep}	= creepcoëfficiënt van Bligh	[-]
ΔH_{crit}	= toelaatbaar verval over het kunstwerk	[m]

En de regel van Lane:

$$\Delta H_{\text{crit}} = (L_v + L_h / 3) / c_{w,\text{creep}}$$

waarin: L_v	= verticale component leklengte	[m]
L_h	= horizontale component leklengte (meestal lengte kunstwerk)	[m]
$c_{w,\text{creep}}$	= de "gewogen" creepcoëfficiënt van Bligh	[-]
ΔH_{crit}	= toelaatbaar verval over het kunstwerk	[m]

Grondsoort	c_{creep}	$c_{w,\text{creep}}$
Zeef fijn zand of silt	-	8,5
Fijn zand of silt	18	-
Fijn zand (Mica)	18	7
Fijn zand (Kwarts)	15	7
Middelkorrelig zand	-	6
Grof zand	12	5
Fijn grind	9	4
Middelkorrelig grind	-	3,5
Grof grind	-	3
Zeef grof grind	4	-

In par. 10.5.4 wordt het voorbeeld uitgewerkt voor de rekenregel van Lane.

Bij sluizen op palen waar normaal gesproken de ondergrond nazakt, kan een spleet onder de bodem ontstaan. De factor 3 in de regel van Lane waarmee de horizontale kwelweglengte wordt gedeeld, moet dan aanzienlijk verhoogd worden. Volgens lit. [10.15] moet zelfs de gehele horizontale kwelweglengte op nul gesteld worden, ook bij constructies op trekpalen of bij op zand afgezonken elementen.

In situaties met verticaal uittredende kwel, bijvoorbeeld achter een kwelscherm, wordt de regel van Lane ook wel gebruikt als eerste controle op heave. De veronderstelling dat deze regel conservatiever is dan een expliciete controle op heave met een fragmentenmethode (volgende paragraaf) is voor de meeste gevallen juist (Lit. [10.15]).

10.3.3.2 Gedetailleerd: regel van Sellmeijer en heave-regels

Ontwerpregel van Sellmeijer

De ontwerpregel van Sellmeijer is gebaseerd op een analytisch model. Dit model gaat uit van laminaire grondwaterstroming in de aquifer (volgens de wet van Darcy), laminaire stroming met wandwrijving in de pipe (volgens de wet van Poiseuille) en momentenevenwicht van de zandkorrels op de rand van de "pipe" (grensevenwicht volgens White). Het model beschrijft het verloop van de verhanglijn van het water in de pipe bij een bepaalde pipelengte als op de rand van de pipe overal sprake is van momentenevenwicht van de zandkorrels. De verhanglijn is getekend in fig. 10.4 (par. 10.1.2).

Met het analytische model zijn verschillende berekeningen gemaakt. Op basis van deze berekeningen is een ontwerpregel gefit. De ontwerpregel luidt als volgt:

$$\Delta H_{\text{crit}} = \alpha c (\rho_p / \rho_w) \tan \Phi (0,68 - 0,10 \ln c) L$$

$$\text{met } \alpha = (D/L)^{0,28} / [(D/L)^{2,8} - 1]$$

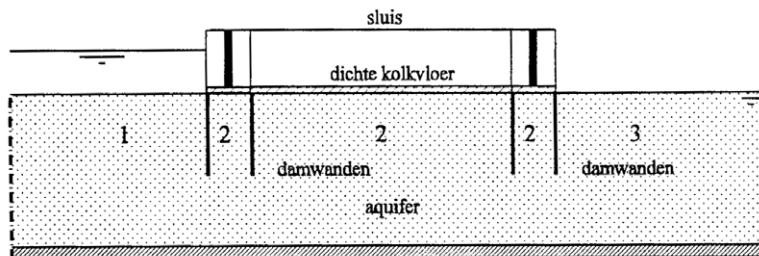
$$\text{en } c = \eta d_{70} [1/(\kappa L)]^{1/3}$$

waarin: ρ_w	= massadichtheid water	[kg/m ³]
ρ_p	= massadichtheid zandkorrels onder water	[kg/m ³]
Φ	= rolweerstandshoek	[41°]
η	= sleepkrachtfactor	[= 0,25]
d_{70}	= 70 percentiel waarde in de korrelverdeling	[m]
κ	= intrinsieke doorlatendheid van de zandlaag die aan erosie bloetstaat	[m ²]
D	= dikte van de zandlaag	[m]
L	= lengte van de kwelweg (horizontaal gemeten)	[m]
ΔH_{crit}	= toelaatbaar verval over het kunstwerk	[m]

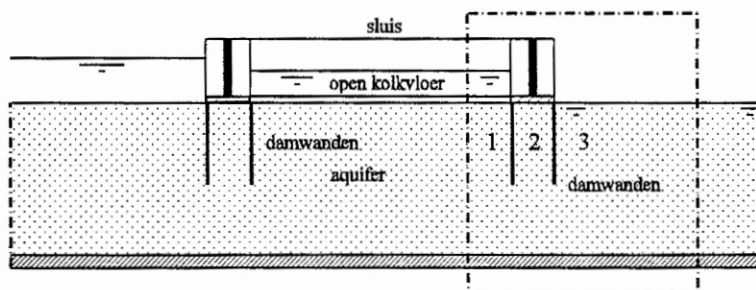
Om deze regel te kunnen gebruiken zijn meer gegevens nodig dan voor de regel van Bligh. Het betreft vooral gegevens, die de erosiebestendigheid van het zand beschrijven op de rand van de aquifer en de constructie (beschreven door de hulpparameter c). Daarnaast is er een fundamenteel verschil met de regel van Bligh. Uit de regel van Sellmeijer blijkt de afhankelijkheid van de grondwaterstroming van de stromingsweerstand (ondergebracht in hulpparameter α) van de aquifer. In de regel van Bligh en ook in de regel van Lane wordt hiermee geen rekening gehouden. Bij kleine verhoudingen van D/L , de weerstandsfactor W is dan groot, is de regel van Sellmeijer gunstiger dan de regel van Lane. Voor die gevallen levert aanvullend onderzoek om de regel van Sellmeijer te kunnen toepassen, veel rendement op.

Ontwerpregels voor heave

De heave-regels zijn gebaseerd op de "fragmenten-methode". Deze methode is in par. 10.2.2 toegelicht. In de figuren 10.24a en 10.24b staan de verschillende fragmenten voor twee voorbeelden. De weerstandsfactor van de verschillende fragmenten is op te zoeken in de appendices 10.4 en 10.5 van dit hoofdstuk. Bij de bepaling moet rekening worden gehouden met eventuele anisotropie van de aquifer. Alle verticalen moeten worden vermenigvuldigd met de wortel uit het quotiënt van de verticale en horizontale doorlatendheid. (Opm. Fragment 1 = voorlandfragment, Fragmenten 2 = tussenfragmenten en Fragment 3 = achterlandfragment).



Figuur 10.24a De verschillende fragmenten bij een sluis met een dichte kolkvloer (voorbeeld variant A).



Figuur 10.24b De verschillende fragmenten bij een sluis met een open kolkvloer (voorbeeld variant B).

Voor het toelaatbare verticale verhang mag 0,5 worden aangehouden indien er sprake is van een homogene zandlaag achter de damwand. Dit criterium is afgeleid door Van Rossum en Van Zanen (Lit. [10.5] zie Appendix 10.2). Als ter plaatse sprake is van grote inhomogeniteiten kan er beter met 0,3 worden

gerekend. Voor die gevallen bestaat namelijk het gevaar dat het water via de zwakke plekken (plaatselijk grote doorlatendheid) in deze grondlaag gaat afstromen; dan is sprake van zogenaamde preferente kanalen. De heave-regel luidt nu als volgt:

$$\Delta H_{\text{crit}} = l_{\text{toelaatbaar}} \cdot d \cdot W_{\text{totaal}} / W_{\text{laatst}}$$

waarin: d = lengte benedenstroomse damwand [m]
 $l_{\text{toelaatbaar}}$ = toelaatbaar verhang over hoogte benedenstroomse damwand
 (0,5 voor homogene zandgrond en 0,3 bij inhomogeniteiten) [-]
 W_{laatst} = stromingsweerstand laatste fragment (achterlandfragment) [-]
 (Zie Appendix 10.4)
 W_{totaal} = som van stromingsweerstanden van alle fragmenten [-]
 (Zie Appendix 10.4 en 10.5)

In par. 10.5.5 wordt het voorbeeld uitgewerkt voor de heave-regel.

10.3.3.3 Geavanceerd: numerieke modellen

De dimensionering van een scherm als onderdeel van een sluis kan in langsrichting worden uitgevoerd door een tweedimensionale eindige-elementenberekening te maken. Hiermee kan de drukgradiënt in het grondwater achter het scherm worden bepaald. Het maximum van deze gradiënt is theoretisch 1. In de praktijk blijkt - zoals eerder vermeld - dat in geval van een vrije uitstroming aan de benedenstroomse zijde, een maximale gradiënt van 0,5 resp. 0,3 gehanteerd moet worden.

De hiervoor gegeven benadering is tweedimensionaal. Analyses hebben uitgewezen dat de derde dimensie positief werkt in deze benadering. Door verhoging van de weerstand zal de potentiaalverdeling zich zo wijzigen dat het water meer naar de zijkant zal afstromen. De tweedimensionale schematisering zal dus een bovengrens zijn.

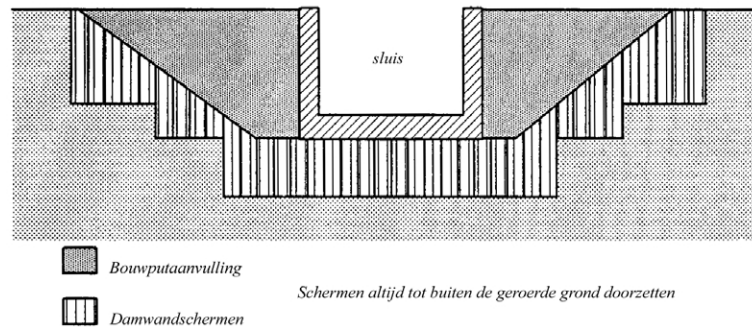
De berekeningen kunnen ook worden uitgevoerd voor het verschijnsel achterloopsheid, al bestaan hier geen wetenschappelijk onderbouwde rekenregels voor. De berekening kan weer met een eindige-elementenberekening worden uitgevoerd. Als deze berekening als tweedimensionaal wordt opgezet, moet op één of andere wijze de blokkering door het scherm in rekening worden gebracht. Dit kan echter alleen correct worden uitgevoerd door het maken van een driedimensionale berekening. Momenteel wordt onderzocht op welke wijze deze aanpak kan worden vereenvoudigd.

Een voordeel van de hiervoor genoemde eindige-elementenmethode is de mogelijkheid om tijdsafhankelijke processen in rekening te brengen. Stationaire analyses zijn algemeen ingevoerd in de ingenieurspraktijk, tijdsafhankelijke berekeningen worden echter steeds beter haalbaar. Voor kleine projecten weegt het te behalen voordeel vaak niet op tegen de te plegen rekeninspanningen. Voor grote projecten waarbij potentieel voordeel kan worden behaald, vormen tijdsafhankelijke analyses een aantrekkelijke mogelijkheid.

In par. 10.5.6 wordt het voorbeeld gegeven voor een numeriek stationair grondwaterstroming rekenmodel.

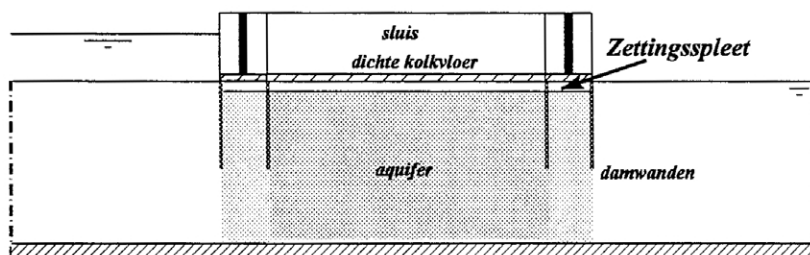
10.4 Praktische aspecten

- Damwanden, die aan de benedenstroomse zijde van de sluis worden geplaatst, zijn effectiever dan damwanden die aan de bovenstroomse zijde van de sluis worden aangebracht. (Opm. Effectiever is bedoeld voor achter- en onderloopsheid. Voor de langsstabiliteit van de hoofden kan het juist gunstiger zijn de schermen aan de bovenstroomse zijde van de hoofden te plaatsen door een kleinere opwaartse grondwaterdruk onder de vloeren). Meestal wordt de sluis in een bouwput gemaakt. De bouwput wordt na gereedkomen van het betonwerk aangevuld met grond. Omdat de doorlatendheid van deze geroerde grond groter zal zijn dan de doorlatendheid van de omringende ongeroerde grond, is de bouwputaanvulling gevoeliger voor piping. Daarom dienen de schermen in elk geval te worden doorgezet tot in de ongeroerde grond (fig. 10.25).



Figuur 10.25 Schermen bij een bouwput. (De damwanden steken door de geroerde grond).

- Bij een sluis op palen bestaat het gevaar dat er als gevolg van zettingsverschillen een spleet ontstaat tussen de vloer van de sluis en de grond daaronder. Deze spleet kan worden onderbroken met korte schermen. De weerstand van fragmenten met een zettingsspleet is kleiner dan die van fragmenten zonder zettingsspleet. In fig. 10.26 zijn vier schermen ter voorkoming van onderloopsheid en het onderbreken van de zettingsspleet getekend. Afhankelijk van de benodigde weerstand, zou met twee langere in plaats van vier minder lange schermen kunnen worden volstaan.



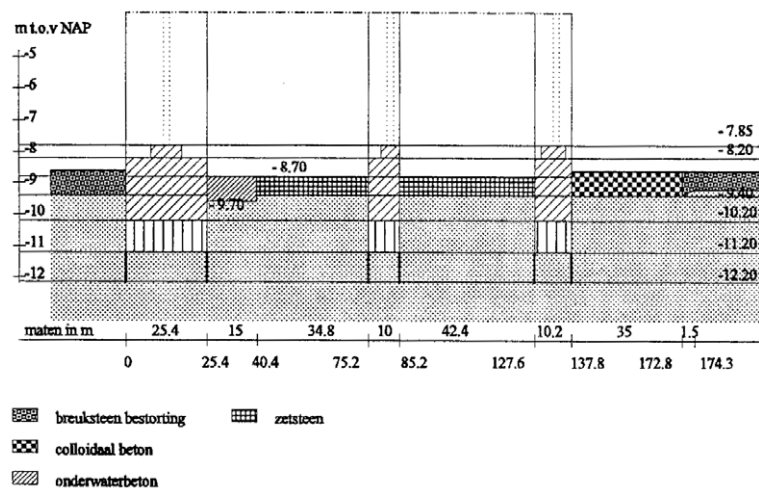
Figuur 10.26 Schermen om een zettingsspleet te onderbreken en onderloopsheid te voorkomen

- De damwand moet goed op het betonwerk van de sluis aansluiten om te voorkomen dat er toch piping langs de bodem of de zijwand van de sluis kan optreden.
- Alternatieven voor damwanden zijn:
 - langere sluis of waterkering;
 - bodem en zijvlakken van de bovenvoorhaven waterdicht bekleden (vergroten van de leklengte)
 - erosiebestendige filteropbouw van de bodem en de zijvlakken van de benedenvoorhaven.
- Bij een weinig doorlatende ondergrond kan onderloopsheid worden bestreden met één of meer damwandschermen die naadloos aansluiten op de zijkant van het kunstwerk. In dat geval kan de breedte van de schermen beperkt zijn. Een praktische richtlijn is de breedte van de schermen in elk geval gelijk te nemen aan de breedte van het ongestoorde bodemvlak van de bouwput. Voor elke dwarsdoorsnede kan aan de hand van een berekening van de lokale verhangen worden vastgesteld of piping zal optreden.

10.5 Rekenvoorbeeld

10.5.1 Zuidersluis IJmuiden

Het rekenvoorbeeld betreft de Zuidersluis te IJmuiden. De Zuidersluis (1867) maakt deel uit van het Noordzeesluizencomplex en is onderdeel van de primaire waterkering van Noord Holland. In 1998 is begonnen met het renoveren van deze sluis. De sluis is 174,3 m lang, ca 18 m breed en heeft drie hoofden. Het buitenhoofd heeft een lengte van 25,4 m, het tussenhoofd een lengte van 10 m en het binnenhoofd een lengte van 10,2 m. De kolken zijn 49,8 m en 42,2 m lang. Om de benedenstroomse zijde van het buitenhoofd te beschermen is een 15 m lange betonnen vloer aanwezig. Aan de benedenstroomse zijde van het binnenhoofd is een 35 m lange colloïdale betonplaat aanwezig. Behalve een controle op zandmeevoerende wellen moet de betonnen vloerplaat aan de benedenstroomse zijde van het buitenhoofd gecontroleerd worden op overdrukken door het onder de sluis doorstromend grondwater. Voorkomen moet namelijk worden dat de vloer opdrijft, dit probleem valt buiten het bestek van deze paragraaf.



Figuur 10.27 Schets van de Zuidersluis, langsdoorsnede

10.5.2 Bodemprofiel

De grondopbouw onder de sluizen is afgeleid van een geohydrologisch lengteprofiel en een geologisch lengteprofiel, korrelverdelingen en doorlatendheidsmetingen met de 'constant head' test. Dit leidt tot de volgende schematisering (zie tabel 10.1):

Diepte	Omschrijving	Horizontale doorlatendheid			Verticale doorlatendheid	Quotiënt van $k_{\text{verticaal}}$ en $k_{\text{horizontaal}}$
		Allen Hazen (B)	Kozeny (C)	Gemiddeld	Constant headtest	
NAP - 5,50 m - NAP -13,00 m	Matig fijn zand, zeer siltig $d_{10}/d_{50}/d_{70}$: 85/125/150 μm	$7,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$	$5,5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$	$6,3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$	$4,9 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$	12,9 (E)
NAP -13,00 m - NAP -15,50 m	Matig grof zand, met kleilaagjes $d_{10}/d_{50}/d_{70}$: 127/188/210 μm	$1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	$1,2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	$1,4 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	$1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$	11,7 (E)
NAP -15,50 m - NAP -18,00 m (A)	Met zand gelaagde klei			10^{-6} m/s (D)	10^{-7} m/s (D)	10 (E)

Tabel 10.1 Bepaling van de laagopbouw met bijbehorende grondwaterparameters (stationaire benadering)

Opmerkingen bij de tabel:

- (A) Aangenomen is dat de grondwaterstroming op NAP -18 m geen significante invloed meer heeft op de drukverdeling en grootte van de grondwatersnelheden onder de sluis. In het grondwater-stromingsmodel kan dan een dichte laag worden aangehouden (is een stroomlijn). Uit het geohydrologisch lengteprofiel is gebleken dat beneden ca NAP -18 m een slecht waterdoorlatende laag aanwezig is.
- (B) De formule van Allen Hazen luidt:
 $k = c d_{10}^2$
 Hierin is:
 k = doorlatendheid in [cm/s];
 c = coëfficiënt = 100 [s⁻¹cm⁻¹];
 d_{10} = [cm];
- (C) De formule van Kozeny luidt:
 $k = 1/500 * (g * d_{50}^2) / v * (1-e) / e$
 Hierin is:
 g = versnelling van de zwaartekracht [m/s²];
 d_{50} = [m];
 v = dynamische viscositeit
 e = porositeit van het zand [-]; In de berekening is 40% aangehouden, dan geldt $k = 3555 d_{50}^2$
- (D) Deze waarden zijn geschat.
- (E) Het gemiddelde quotiënt van $k_{\text{horizontaal}}$ en $k_{\text{verticaal}}$ bedraagt ca. 12.

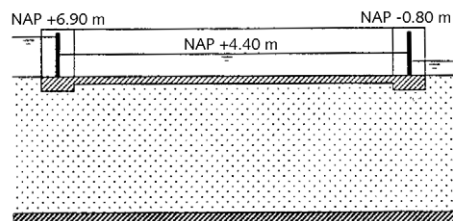
10.5.3 Belastingsgevallen

Voor de sluis worden twee situaties beschouwd:

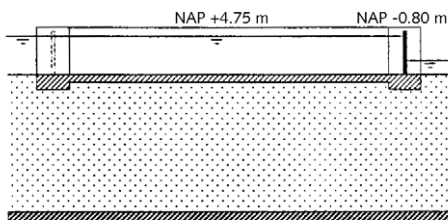
- A: de bodem van de kolken van de sluis is open.
 B: de bodem van de kolken van de sluis is dicht.

Er worden drie belastingsgevallen onderscheiden (fig. 10.28 t/m 10.30):

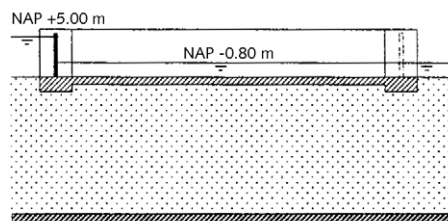
- I. Alle deuren zijn gesloten.
 II. De buitendeur kan niet dicht of lekt en faalt.
 III. De binnendeur kan niet dicht of lekt en faalt.



Figuur 10.28 Belastingsgeval I: Alle deuren gesloten



Figuur 10.29 Belastingsgeval II: De buitendeur faalt



Figuur 10.30 Belastingsgeval III: De binnendeur faalt

10.5.4 Regel van Lane

10.5.4.1 Situatie A: gedeeltelijk open kolkvloeren

Controle van piping aan het eind van de onderwaterbetonvloer (40,40 m, fig. 10.27):

Er zijn drie damwanden aanwezig (op 0,00 m, 25,40 m en 40,40 m). De regel van Lane is van toepassing. De totale kwelweglengte bedraagt: $2,8\text{m} + 1\text{m} + 1\text{m} + 2,5\text{m} + 2,5\text{m} + 2,8\text{m} + 1/3 \cdot (15 + 25,40) \text{ m} = 26,07 \text{ m}$. Het grootste verval over dit deel van de sluis treedt op tijdens belastingsgeval III en is gelijk aan 5,80 m. Het verval zou, berekend met de regel van Lane, niet groter mogen zijn dan: $26,07/7$ is 3,72 m. Dit deel van de constructie voldoet dus niet.

Controle van piping aan het einde van de colloïdale betonvloer (172,80 m, fig. 10.27):

Er zijn twee damwanden aanwezig (op 127,60 m en op 137,80 m). De regel van Lane is van toepassing. De kwelweglengte is gelijk aan: $2,8\text{m} + 1\text{m} + 1\text{m} + 2,8\text{m} + 1/3 \cdot 45 \text{ m} = 22,6 \text{ m}$. Het grootste verval over dit deel van de sluis treedt op tijdens belastingsgeval II en is gelijk aan: $\text{NAP } +4,75 \text{ m} - \text{NAP } -0,80 \text{ m} = 5,55 \text{ m}$. Het verval zou, berekend met de regel van Lane, niet groter mogen zijn dan: $22,6/7$ is 3,22 m. Dit deel van de constructie voldoet niet. Na optreden van piping tot aan de damwand zou het toelaatbare verval zijn afgenomen tot $(2,8\text{m} + 1\text{m} + 1\text{m} + 2,8\text{m} + 1/3 \cdot 10,20 \text{ m})/7 = 1,57 \text{ m}$.

10.5.4.2 Situatie B: dichte kolkvloeren

Controle van piping aan het einde van de colloïdale betonvloer (172,80 m, fig. 10.27):

Er zijn zeven damwanden aanwezig (op 0,00 m, 25,40 m, 40,40 m, 75,20 m, 85,20 m, 127,60 m en 137,60 m). De regel van Lane is van toepassing. De totale kwelweglengte bedraagt: $2,8\text{m} + 1\text{m} + 1\text{m} + 2\text{m} + 2\text{m} + 1\text{m} + 1\text{m} + 2\text{m} + 2\text{m} + 1\text{m} + 1\text{m} + 2,8\text{m} + 1/3 \cdot 172,8\text{m} = 77,2 \text{ m}$. Het grootste verval over de sluis treedt op tijdens belastingsgeval I en is gelijk aan: $\text{NAP } +6,90 \text{ m} - \text{NAP } -0,80 \text{ m} = 7,70 \text{ m}$. Het verval zou, berekend met de regel van Lane, niet groter mogen zijn dan: $77,2/7$ is 11 m. Deze variant van de Zuidersluis voldoet ruimschoots.

10.5.5 Heave-regel

10.5.5.1 Situatie A: gedeeltelijk open kolkvloeren

Controle van piping aan het einde van de onderwaterbetonvloer (40,40 m, fig. 10.27):

Voorlandfragment		Tussenfragmenten			Achterlandfragment		Norm kritiek verhang [-] *
pakket-dikte: D [m]	sectie-lengte: L [m]	pakket-dikte: D [m]	sectie-lengte: L [m]	damwand-lengte: d [m]	damwand-lengte: d [m]	pakket-dikte D [m]	
8,60	0,00	6,80	25,40	1,00	2,80	8,70	0,15
		8,30	15,00	1,00			

*) Bij de controle moet rekening worden gehouden met het verschil in horizontale en verticale doorlatendheid. Dit gaat het eenvoudigst door het toelaatbare verticale verhang dat gelijk is aan 0,5, te vermenigvuldigen met de wortel van het quotiënt tussen de verticale en de horizontale doorlatendheid, in dit geval $\sqrt{(1/12)} \cong 0,29$.

Tabel 10.2 Invoer bij de heave-controle langs de damwand voor de onderwaterbetonplaat
(Onderbegrenzing op NAP -18 m)

De berekening verloopt als volgt (steeds in de appendices weerstanden aflezen):

Voorlandfragment:	L/D = 0	d/D = 0,33	W = 0,5	(Appendix 10.4)
Tussenfragmenten:	L/D = 3,7	d/D(1) = d/D (2) = 0,15	W = 3,7	(Appendix 10.5)
	L/D = 1,8	d/D(1) = d/D (2) = 0,15	W = 1,8	(Appendix 10.5)
Achterlandfragment:	L/D = 0	d/D = 0,33	W = 0,5	(Appendix 10.4)
som			W = 6,5	

Het toelaatbare verval blijkt gelijk aan $I \cdot d \cdot \text{som} W / W_{\text{laatst}} = 0,15 \cdot 2,80 \cdot 6,5 / 0,5 = 5,46$ m (Lane: 3,72 m, par. 10.5.4.1). Het grootste verval over dit deel van de sluis treedt op tijdens belastingsgeval III en is gelijk aan 5,80 m. Dit deel van de sluis met gedeeltelijk open kolkvloeren voldoet niet.

Controle van piping achter de damwand op 137,80 m (fig. 10.27):

Gesteld wordt dat er piping is opgetreden tot aan de damwand op 137,80 m (op de rand van de colloïdaalbetonplaat

Voorlandfragment		Tussenfragmenten			Achterlandfragment		Norm kritiek verhang [-]
pakket-dikte: D [m]	sectie-lengte: L [m]	pakket-dikte: D [m]	sectie-lengte: L [m]	damwand-lengte: d [m]	damwand-lengte: d [m]	pakket-dikte D [m]	
8,60	0,00	6,80	10,20	1,00	2,80	8,60	0,15

Tabel 10.3 Invoer bij de heave-controle langs de damwand aan het begin van de colloïdaalbetonplaat.

De berekening verloopt als volgt (steeds in de appendices weerstanden aflezen):

Voorlandfragment:	L/D = 0	d/D = 0,33	W = 0,5	(Appendix 10.4)
Tussenfragment:	L/D = 1,5	d/D(1) = d/D (2) = 0,15	W = 1,5	(Appendix 10.5)
Achterlandfragment:	L/D = 0	d/D = 0,33	W = 0,5	(Appendix 10.4)
som			W = 2,5	

Het toelaatbare verval blijkt gelijk aan $I \cdot d \cdot \text{som} W / W_{\text{laatst}} = 0,15 \cdot 2,80 \cdot 2,5 / 0,5 = 2,1$ m (Lane 1,57 m, par.10.5.4.1). Het grootste verval over dit deel van de sluis treedt op tijdens belastingsgeval II en is gelijk aan: NAP + 4,75 m - NAP -0,80 m = 5,55 m. Dit deel van de sluis met gedeeltelijk open kolkvloeren blijkt niet te voldoen.

10.5.5.2 Situatie B: dichte kolkvloeren

Controle van piping achter de damwand op 137,80 m (fig. 10.27):

Om de controle te kunnen toepassen wordt aangenomen dat er piping zal optreden tot de damwand aan het begin van de colloïdaalbetonplaat. De invoer voor de heave-controle met het spreadsheetprogramma is weergegeven in tabel 10.4.

Voorlandfragment		Tussenfragmenten			Achterlandfragment		Norm kritiek verhang [-]
pakket-dikte: D [m]	sectie-lengte: L [m]	pakket-dikte: D [m]	sectie-lengte: L [m]	damwand-lengte: d [m]	damwand-lengte: d [m]	pakket-dikte D [m]	
8,60	0,00	6,80	25,40	1,00	2,80	8,70	0,15
		8,30	49,80	2,80			
		7,80	10	1,00			
		6,80	42,40	2,80			
		7,80	10,20	1,00			

Tabel 10.4: Invoer bij de heave-controle langs de damwand aan het begin van de colloïdaalbeton-plaat

De berekening verloopt als volgt (steeds in de appendices weerstanden aflezen):

Voorlandfragment:	L/D = 0	d/D = 0,33	W = 0,5	(Appendix 10.4)
Tussenfragmenten:	L/D = 3,7	d/D(1) = d/D (2) = 0,15	W = 3,7	(Appendix 10.5)
	L/D = 6,0	d/D(1) = d/D (2) = 0,15	W = 6,0	(Appendix 10.5)
	L/D = 1,3	d/D(1) = d/D (2) = 0,15	W = 1,3	(Appendix 10.5)
	L/D = 6,3	d/D(1) = d/D (2) = 0,15	W = 6,3	(Appendix 10.5)
	L/D = 1,3	d/D(1) = d/D (2) = 0,15	W = 1,3	(Appendix 10.5)
Achterlandfragment:	L/D = 0	d/D = 0,33	W = 0,5	(Appendix 10.4)
			som	W = 19,6

Het toelaatbare verval blijkt gelijk aan $l \cdot d \cdot \text{som} W / W_{\text{laatst}} = 0,15 \cdot 2,80 \cdot 19,6 / 0,5 = 16,5$ m (Lane 11 m, par. 10.5.4.2). Het grootste verval over de sluis treedt op tijdens belastingsgeval I en is gelijk aan $\text{NAP} + 6,90 \text{ m} - \text{NAP} - 0,80 \text{ m} = 7,70$ m. Het toelaatbare verval is gelijk aan 16,5 m (Lane: 11 m), dus de sluis met dichte kolkvloeren voldoet wel.

10.5.6 Numeriek stationair grondwaterstromingsmodel

10.5.6.1 Situatie A: gedeeltelijk open kolkvloeren

Controle van piping aan het einde van de onderwaterbetonvloer (40,40 m; fig. 10.27):

Analyse van het met MSEEP berekende over de wand gemiddelde verticale verhang langs de damwand op 40,40 m leert dat dit verhang groter is dan 0,5 (namelijk 0,53) zodat piping zal optreden.

Controle van piping aan het einde van de colloïdaalbetonvloer (172,80 m, fig. 10.27):

De verticale ontbondene van het uittreeverhang blijkt groter te zijn dan 0,5 (namelijk 1,058). Dit voldoet niet. Ook het horizontale uittreeverhang is onderzocht. De horizontale ontbondene van het uittreeverhang blijkt groter dan 0,3 (namelijk 0,62). Geconcludeerd moet worden dat onder de plaat piping zal optreden.

10.5.6.2 Situatie B: dichte kolkvloeren

Als er een opening of spleet onder de colloïdaalbetonplaat voorkomt en de benedenwaterstand $\text{NAP} - 0,80$ m rechtstreeks ter hoogte van de damwand op 137,80 m wordt aangenomen, blijkt uit een berekening met MSEEP bij een verval van 7,70 m (belastingsgeval I) een verticaal verhang van 0,27 op te treden. Dit is kleiner dan 0,50 dus toelaatbaar en is vergelijkbaar met de situatie bepaald met het heave-programma.

Literatuur:

- [10.1] Bligh, W.G., 'Dams Barrages and Weirs on Porous Foundations', 1910, Engineering News p. 708.
- [10.2] Lane, E.W., 'Security from Under-Seepage Masonary Dams on Earth Foundations', 1935, Transactions ASCE, Vol 100, Paper no. 1919.
- [10.3] Sellmeyer, J.B., 'On the mechanism of piping under impervious structures', thesis, 1988, LGM-Mededelingen No 96.
- [10.4] Calle, E.O.F. en Weijers, J.B.A., 'Technisch rapport voor controle op het mechanisme piping bij rivierdijken', 1994, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.
- [10.5] Rossum, F. van en Zanen, A. van, 'Onderloopsheid, onderzoek naar de aard van het verschijnsel en methode ter bepaling van de veiligheidscoëfficiënt', De Ingenieur No 20, 1959.
- [10.6] Paverd, M. van de, 'Kwelschermen onder rivierdijken', vooronderzoek 1994, Technische Universiteit Delft, Afstudeerwerk eerste deel, W-DWW-95-324.
- [10.7] Paverd, M. van de, 'Kwelschermen onder rivierdijken', onderzoek 1996, Technische Universiteit Delft Afstudeerwerk tweede deel, W-DWW-95-325.
- [10.8] Sellmeyer, J.B., 'Heave bij kunstwerken', 1995, CO-356020/7, Grondmechanica Delft en DWW
- [10.9] Drejer, J., 'Driedimensionale effecten bij heave', 1996, W-DWW-96-030, VU- Amsterdam en DWW
- [10.10] 'Handboek voor de dimensionering van gezette dijkbekledingen', 1991, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Civiel Technisch Centrum voor Regelgeving en Research.
- [10.11] Rijke, W. de, 'Overgangsconstructies', 1991, Waterloopkundig Laboratorium en Grondmechanica Delft.
- [10.12] Handleiding voor het ontwerpen van granulaire bodembeschermingen achter tweedimensionale uitstrotingsconstructies, 1995, Doc nr: BOD-R-95002, Rijkswaterstaat Bouwdienst/Dienst Weg- en Waterbouwkunde.
- [10.13] Handleiding 'MSEEP', 1994, Grondmechanica Delft.
- [10.14] TAW-Leidraad 'Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere constructies', juni 1997.
- [10.15] TAW-Technisch rapport 'Zandmeevoerende wellen', maart 1999.

Appendix 10.1 **Definities en begrippen**

Achterloopsheid

Een sluis is achterloops indien als gevolg van een waterstandsverschil tussen het hoge buitenwater en het lage binnenwater, water langs de sluis stroomt en grond meevoert.

Equipotentiaallijn

Een (denkbeeldige) lijn waarlangs de potentiaal van het stromende grondwater constant is.

Globaal verhang

Het globale verhang wordt gedefinieerd als het verval over de sluis gedeeld door de lengte van de sluis.

Heave

Van heave is sprake indien als gevolg van een waterstandsverschil tussen het hoge buitenwater en het lage binnenwater, water onder de sluis stroomt dat aan de benedenstroomse zijde van de sluis langs een damwand verticaal uitstroomt en daar een grondmoot over de volledige hoogte van de damwand in fluïdisatie brengt.

Kwel

Van kwel is sprake indien als gevolg van een waterstandsverschil tussen het hoge buitenwater en het lage binnenwater, water onder de sluis stroomt terwijl er geen grond wordt meegevoerd.

Onderloopsheid

Een sluis is onderloops indien als gevolg van een waterstandsverschil tussen het hoge buitenwater en het lage binnenwater, water onder de sluis stroomt en grond meevoert.

Piping of zandmeevoerende wellen

Van piping is sprake indien als gevolg van een waterstandsverschil tussen het hoge buitenwater en het lage binnenwater, water onder de sluis stroomt en er zand wordt meegevoerd waardoor er onder de sluis pijpvormige erosiekanalen ontstaan.

Preferente kanalen

Een kanaal in de grond waar het water bij voorkeur doorheen stroomt met het gevaar dat geconcentreerde erosie optreedt.

Stroomlijn

Een lijn waarlangs het debiet per eenheid van oppervlak van het stromende grondwater constant is.

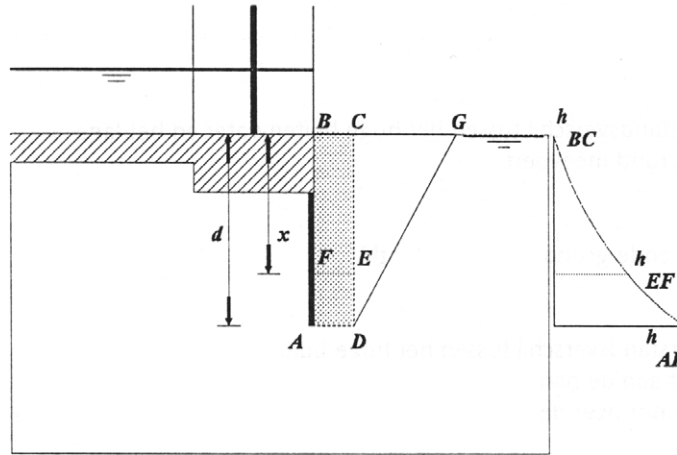
Verval

Het verschil in stijghoogte tussen de buitenwaterstand en de binnenwaterstand.

Gemiddeld verhang over de wand

Het over de wand gemiddelde verhang wordt gedefinieerd als het verschil in stijghoogte aan de bovenzijde en de benedenzijde van een damwand, die aan de benedenstroomse zijde van een sluis is geplaatst en het water daar verticaal doet uitstromen, gedeeld door de lengte van die damwand.

Appendix 10.2

Afleiding van het heave-criterium

Figuur 10.31 Afleiding van het heave-criterium

Het heave-criterium volgt uit een beschouwing van het evenwicht langs een wand geplaatst aan de benedenstroomse zijde van een kunstwerk (lit. [10.6]). Het grondprisma BCEF verkeert in evenwicht indien de overdruk op EF even groot is als het gewicht onder water van het grondprisma. De wrijving in de vlakken BF en CE wordt hierbij buiten beschouwing gelaten. De overdruk op EF is gelijk aan $\gamma_w h_{EF}$. Het gewicht van het grondprisma is gelijk aan $x(1-\epsilon)(\gamma_k - \gamma_w)$. Hierin is ϵ het poriënvolume en zijn γ_k en γ_w de volumegewichten van het korrelmateriaal en het water. Uit gelijkstellen volgt dat:

$$\Delta h_{\text{kritiek}} = x(1-\epsilon)(\gamma_k - \gamma_w) / \gamma_w$$

of dat:

$$\Delta h_{x \text{ kritiek}} / x = (1-\epsilon)(\gamma_k - \gamma_w) / \gamma_w$$

Voor alle waarden tussen 0 en x zou een kritieke situatie optreden als Δh_x evenredig met x zou toenemen. Dit is echter niet het geval. Uit grondwaterstromingsberekeningen blijkt Δh_x sterker toe te nemen bij een grotere waarde van x . Hieruit volgt dat voor $x = t$ het verhang het grootste zal zijn en daar zal de kritieke situatie het eerst optreden.

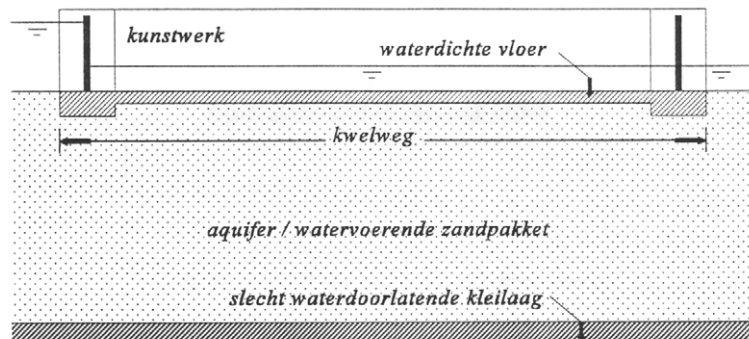
$$\Delta h_{\text{kritiek}} = t(1-\epsilon)(\gamma_k - \gamma_w) / \gamma_w$$

Voor $\gamma_k = 2,65 \text{ kN/m}^3$ vindt men bij $\epsilon = 0,3$ dat $h_{\text{kritiek}} = 1,555 \text{ t}$, bij $\epsilon = 0,4$ dat $\Delta h_{t \text{ kritiek}} = 0,990 \text{ t}$, bij $\epsilon = 0,5$ dat $\Delta h_{t \text{ kritiek}} = 0,825 \text{ t}$.

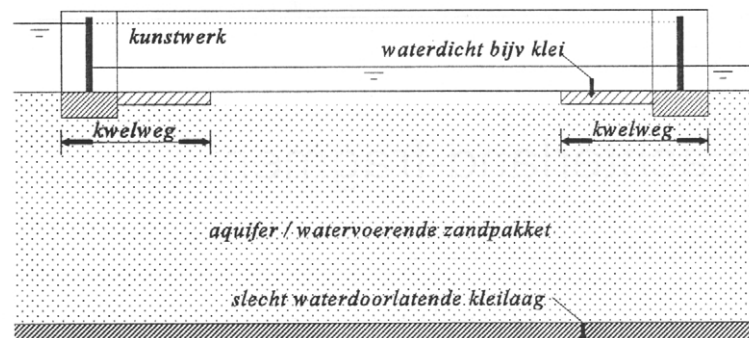
Hieruit volgt dat een veilige waarde voor $\Delta h_{t \text{ kritiek}} / t = 0,5$ zal zijn. De waarde $\Delta h_{t \text{ kritiek}} / t$ wordt verder aangeduid met het over de lengte van de wand gemiddelde verhang.

Appendix 10.3

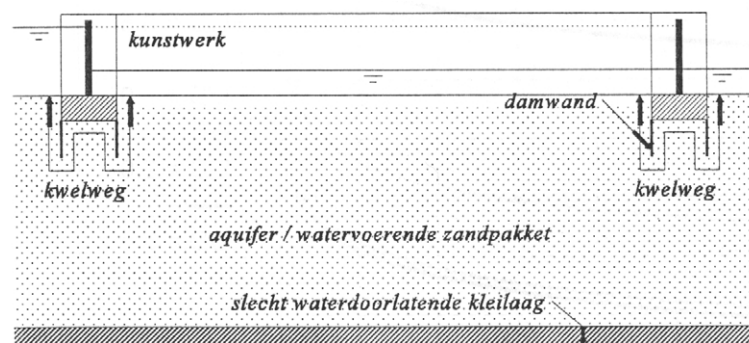
Bepaling van de kwelweglengte



Figuur 10.32 Bepaling van de kwelweglengte I

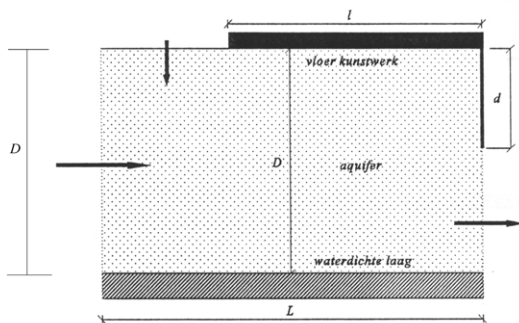


Figuur 10.33 Bepaling van de kwelweglengte II

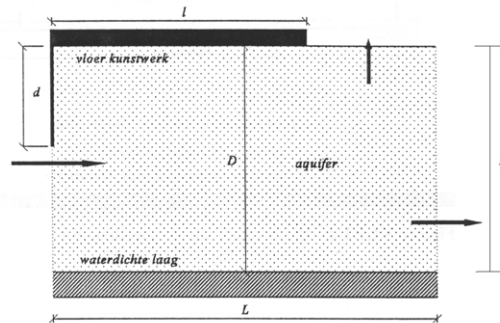


Figuur 10.34 Bepaling van de kwelweglengte III

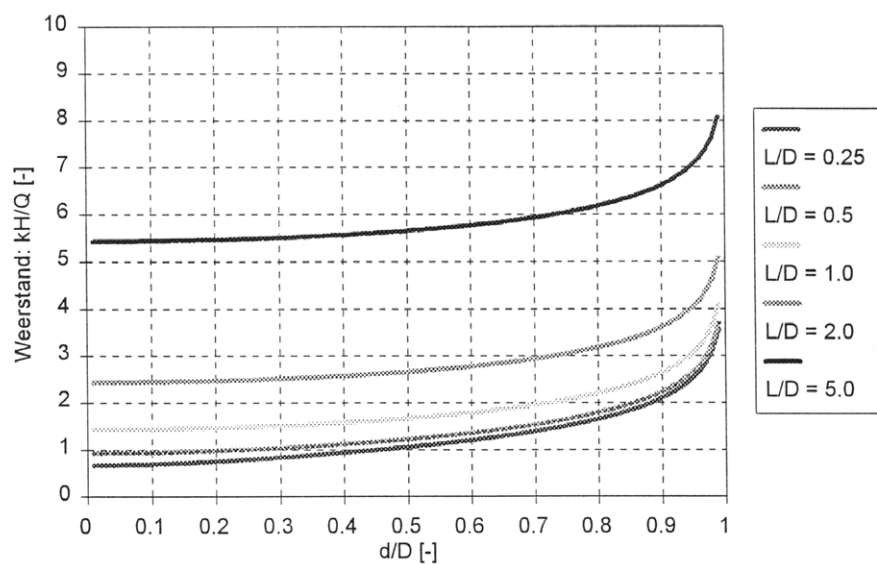
Appendix 10.4

Weerstanden bij heave-berekening met voor- en achterlandfragment

Figuur 10.35 Voorlandfragment

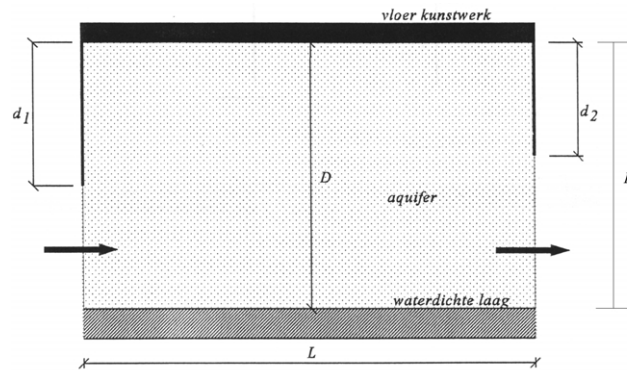


Figuur 10.36 Achterlandfragment

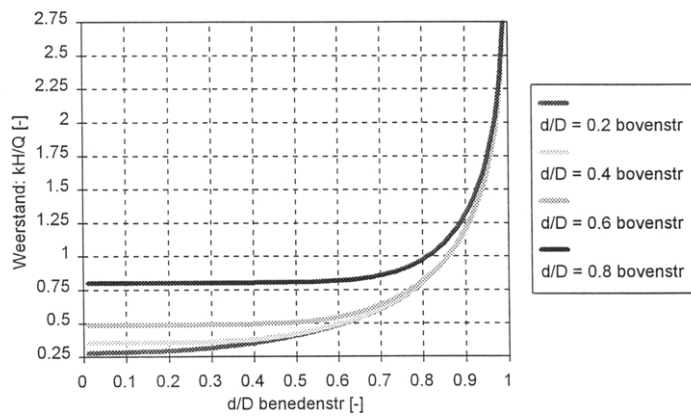
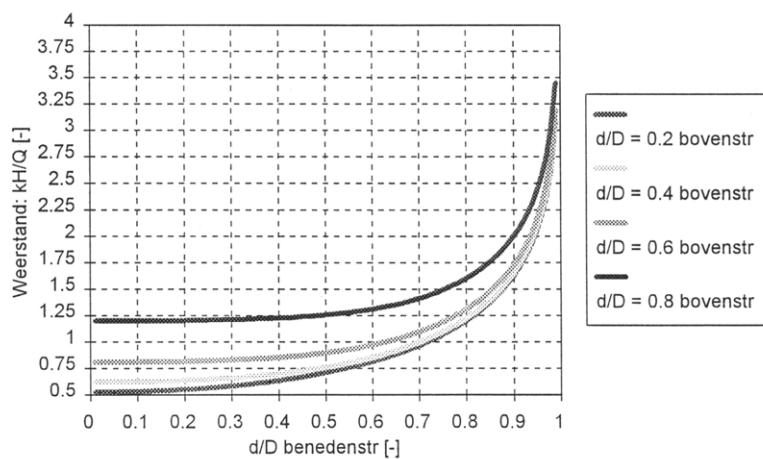


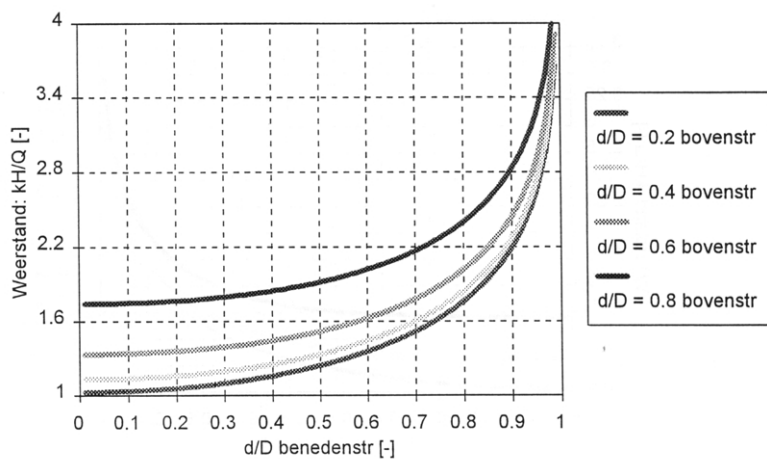
Figuur 10.37 Weerstand als functie van damwandlengte / dikte watervoerende laag

Appendix 10.5

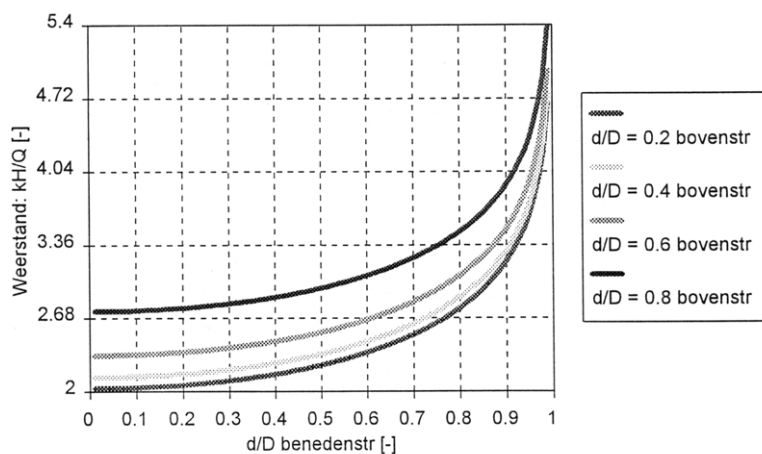
Weerstanden bij heave-berekening met tussen-fragment

Figuur 10.38 Tussenfragment

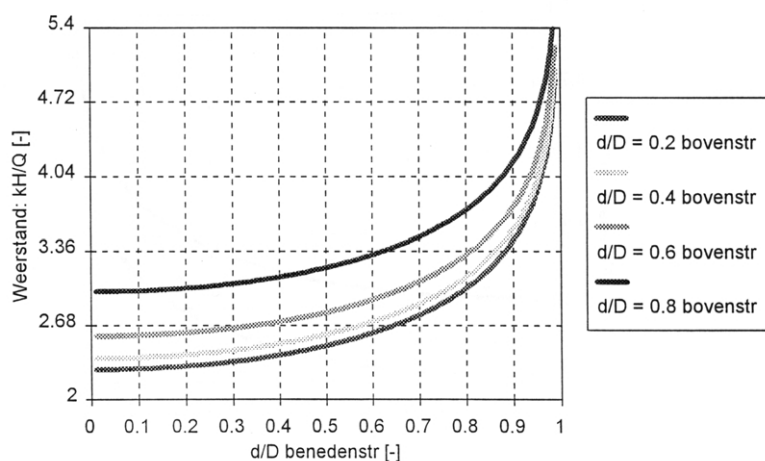
Figuur 10.39 Weerstand als functie van damwandlengte benedenstreams / dikte watervoerende laag
Tussenfragment $L/D=0.25$ Figuur 10.40 Weerstand als functie van damwandlengte benedenstreams / dikte watervoerende laag
Tussenfragment $L/D=0.5$



Figuur 10.41 Weerstand als functie van damwandlengte benedenstreams / dikte watervoerende laag Tussenfragment $L/D=1.0$



Figuur 10.42 Weerstand als functie van damwandlengte benedenstreams / dikte watervoerende laag Tussenfragment $L/D=2.0$



Figuur 10.43 Weerstand als functie van damwandlengte benedenstreams / dikte watervoerende laag Tussenfragment $L/D=5.0$



Foto 11.1 Om het leegstromen van het Eemskanaal te stoppen werd geprobeerd de ebdeuren van de zeesluis te Farnsum te sluiten. Ze sloten echter niet precies gelijk, hielden het water niet en braken uit hun ophanging (zie Appendix 11.2)

Hoofdstuk 11 **Hydraulische belastingen op sluisdeuren**

11.1 Inleiding

Bedoeling van dit hoofdstuk is het bepalen van de voornaamste hydraulische belastingen (d.w.z. krachten en momenten) op sluisdeuren in alle bedrijfsfasen. Deze belastingen zijn bepalend voor het ontwerp van de deur (sterkte, stijfheid, stabiliteit en geometrie), het ontwerp van het bewegingswerk met het deurprogramma en het ontwerp van de deurkas en -nis (geometrie).

Onderscheiden worden drie soorten in horizontale zin werkende *hydraulische belastingen* op de deur, te weten:

- belasting door het initieel verval (par. 11.2);
- belastingen door de deurbeweging, zowel in stilstaand als in stromend water en zowel voor de versnellende als de eenparige deurbeweging (par. 11.3);
- belastingen door externe oorzaken, zoals windgolven, translatiegolven en waterbeweging van schepen (par. 11.4).

Drie mogelijke *bedrijfsfasen* van de deuren worden beschouwd:

- deuren in gesloten stand;
- deuren tijdens het bewegen (openen en sluiten);
- deuren in geopende stand.

Als voornaamste *parameters* van de hydraulische belastingen kunnen - behalve de waterstandscombinaties - het deurprogramma, de geometrie van de deur en de geometrieën van deurkas en -nis worden aangemerkt.

Bij de gehele beschouwing wordt ervan uitgegaan dat de volgende zaken vooraf zijn bepaald en niet verder variëren:

- deurtype (punt-, enkele draai-, rol- en hefdeuren);
- initiële waterstanden, vervallen, debieten, dichtheden;
- geometrie voorhaven en sluis;
- wind, translatiegolven, schepen, diversen.

Het hoofdstuk bestaat uit afzonderlijke paragrafen voor de drie genoemde soorten hydraulische belastingen. Het hoofdstuk geeft vooral de grote lijnen aan met de fysische achtergrond en de toepassing voor de praktijk. Zo mogelijk worden ook formules, regels, aanbevelingen en voorbeelden gepresenteerd.

Voor een gedetailleerde uitleg van alle bovengenoemde belangrijke en minder belangrijke zaken wordt verwezen naar WL-verslag "Krachten op punt- en enkele draaideuren", Q1442 (Lit. [11.11]). Aangeraden wordt bij ingewikkelde zaken een deskundige op het gebied van hydraulica in te schakelen. Dit geldt vooral bij situaties van deurbewegingen in stromend water (openen met verval of sluiten in stromend water). Daarbij moet meestal ook gebruik gemaakt worden van speciaal ontwikkelde rekenprogramma's (LOCKGATE1, 2, 3, 4, Lit. [11.11] en SOBEK, Lit. [11.16]).

De grootste beperking van dit hoofdstuk is dat de krachten veroorzaakt door de *deurbeweging* van rol- en hefdeuren niet behandeld worden. Zie voor roldeuren het WL-verslag "Hydrodynamische krachten op roldeuren tijdens bewegen", Q491 (Lit. [11.3]). Overigens zijn de krachten die voor de gesloten stand worden afgeleid, zowel bruikbaar voor punt- en draaideuren als voor de rol- en hefdeuren.

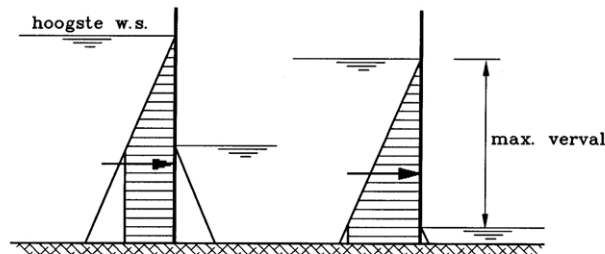
Verder wordt voor sluisdeuren niet ingegaan op minder voorkomende hydraulische belastingen met een externe oorzaak, zoals golfklappen, overtravel waterspiegel in de sluisolk, trillen van schuiven, aanva-

ren door schepen etc. De dynamische belastingen door botsing van de deur met zijn aanslagen of blokkeren van de deur door bijvoorbeeld een steen op de drempel worden evenmin behandeld. Hetzelfde geldt voor wind- en ijsbelastingen op de deuren. Het is op voorhand niet juist om te zeggen dat deze belastingen gering zijn of sporadisch voorkomen; bij twijfel moet hieraan zeker aandacht worden besteed.

11.2 Hydraulische belastingen door initieel verval

11.2.1 Randvoorwaarden

Voor het dimensioneren van de deur op sterkte, stijfheid en stabiliteit, is het van belang de *ontwerpwaterstanden* van de sluis te kennen. De ontwerpwaterstanden zijn die waterstanden die de maximale, horizontale kracht op de deur als geheel of per m' deurhoogte uitoefenen.



Figuur 11.1 Maximale kracht op de deur

Voor het bepalen van de maximale kracht op de deur als geheel kunnen de ontwerpwaterstanden samenvallen met de hoogste te keren waterstand, of met het grootste te keren verval over de deur (fig. 11.1). Voor de maximale kracht per m' deurhoogte is steeds het grootste te keren verval over de deur bepalend.

De hoogste te keren waterstand volgt uit de kansverdelingsfunctie van de waterstand van de aansluitende zee, bekken, rivier, boezem of dergelijke met een opgegeven overschrijdingskans.

Het grootste te keren verval kan bijvoorbeeld optreden bij de hoogste te keren waterstand, bij extreem laag water aan één zijde, bij (eventueel) droogzetten van de kolk of bij het leeglopen van een aansluitend pand. Bij een groot verval over de sluis wordt het verval soms over beide sluishoofden verdeeld.

Wanneer dit actueel is, is ook het *negatieve verval* over de deur van belang voor het ontwerp van het bewegingswerk, de deurvergrendeling en/of de deur zelf. Negatief verval wil zeggen het verval dat enkele draai- of puntdeuren kan doen openen. Het treedt bijvoorbeeld op bij extreem laag water aan de zeezijde of extreem hoog water aan de binnenzijde van een sluis.

Voor de dimensionering van het bewegingswerktuig (berekening vermogen en dergelijke) moet het *restverval* bekend zijn. Dit is het verval waarbij de deuren geopend gaan worden. Dit restverval is bijvoorbeeld 0,10 m. Het restverval moet tevens getoetst worden aan maximum toelaatbare krachten op de in de sluis gemeerd liggende schepen.

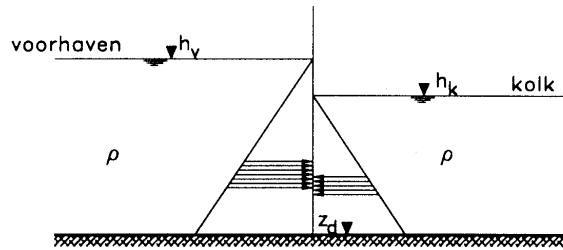
Dichtheidsverschillen van het water aan weerszijden van de deur en/of over de verticaal beïnvloeden de horizontale krachten op de deuren. Wanneer dichtheidsverschillen aanwezig zijn moeten deze ook in de berekening worden verwerkt.

Bij gesloten deuren of net voor het openen van de deuren kan de horizontale kracht op de deur verder toenemen door lokale zaken bij de sluis zoals windgolven, windopzet en lange golven. Dit wordt in de volgende paragrafen behandeld.

11.2.2 Hydrostatische kracht

De horizontale krachtberekening verloopt voor de ontwerpwaterstanden, het restverval of het grootste negatief verval over de deuren, op gelijke wijze. Hierbij is steeds sprake van stilstaand water met een hydrostatische drukverdeling. Een hydrostatische drukverdeling wil zeggen dat de druk lineair toeneemt met de diepte.

De totale, horizontale kracht op de deur wanneer geen dichtheidsverschillen aanwezig zijn, wordt bepaald uit de drukfiguren aan weerszijden van de deur. De horizontale kracht op de deur is gelijk aan (fig. 11.2):



Figuur 11.2 Hydrostatisch drukverloop bij een waterstandsverschil

$$F_h = \frac{1}{2} \rho g \{ (h_v - z_d)^2 - (h_k - z_d)^2 \} l_d \quad (11.1)$$

waarin:	F_h	= totale horizontale kracht op de deur	[N]
	ρ	= soortelijke massa water	[kg/m ³]
	g	= versnelling zwaartekracht	[9,81 m/s ²]
	h_v	= waterstand voorhaven	[m NAP]
	h_k	= waterstand kolk	[m NAP]
	z_d	= niveau onderkant deur	[m NAP]
	l_d	= deurlengte	[m]
en:	$h_v > z_d$ en $h_k > z_d$		

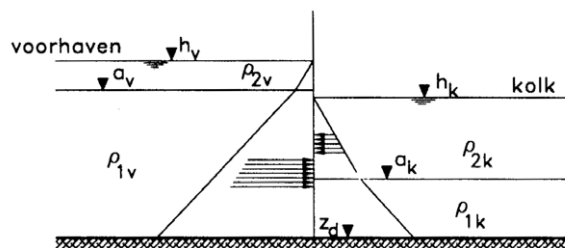
De maximale kracht per m' hoogte van de deur is gelijk aan:

$$f_h = \rho g (h_v - h_k) l_d \quad (11.2)$$

waarin:	f_h	= horizontale kracht op de deur per m' deurhoogte	[N/m]
---------	-------	---	-------

Bij puntdeuren en enkele draaideuren is voor de deurbeweging het moment om de draaiingsas van belang. Het moment wordt verkregen door de kracht te vermenigvuldigen met de halve deurlengte.

Bij dichtheidsverschillen aan weerszijden van de deur en een gelaagde situatie in de verticaal, wordt de horizontale kracht op de deur ook bepaald uit de drukfiguren aan weerszijden van de deur. De horizontale kracht op de deur is gelijk aan (fig. 11.3):



Figuur. 11.3 Hydrostatisch drukverloop bij een waterstands- en een dichtheidsverschil (gelaagd)

$$F_h = \left\{ \frac{1}{2} \rho_{2v} g (h_v - z_d)^2 + \frac{1}{2} (\rho_{1v} - \rho_{2v}) g (a_v - z_d)^2 - \frac{1}{2} \rho_{2k} g (h_k - z_d)^2 - \frac{1}{2} (\rho_{1k} - \rho_{2k}) g (a_k - z_d)^2 \right\} l_d \quad (11.3)$$

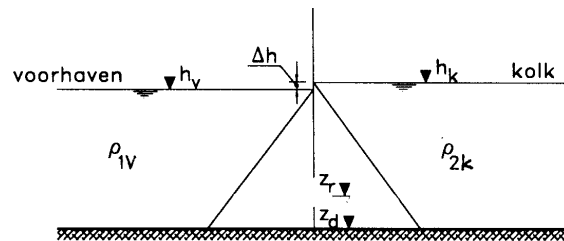
waarin:	ρ_{1v}	= soortelijke massa zout water voorhaven	[kg/m ³]
	ρ_{2v}	= soortelijke massa zoet water voorhaven	[kg/m ³]
	ρ_{1k}	= soortelijke massa zout water kolk	[kg/m ³]
	ρ_{2k}	= soortelijke massa zoet water kolk	[kg/m ³]
	a_v	= niveau grenslaag voorhaven	[m NAP]
	a_k	= niveau grenslaag kolk	[m NAP]

De maximale kracht per m' hoogte van de deur grijpt aan de onderzijde aan en is gelijk aan:

$$f_h = \{ \rho_{2v} g (h_v - z_d) + (\rho_{1v} - \rho_{2v}) g (a_v - z_d) - \rho_{2k} g (h_k - z_d) - (\rho_{1k} - \rho_{2k}) g (a_k - z_d) \} l_d \quad (11.4)$$

Een bijzonder geval van een restverval met dichtheidsverschillen wordt behandeld.

Gesteld wordt dat er dichtheidsverschillen over de deur maar niet in de verticaal aanwezig zijn. De kolk wordt door de nivelleeropeningen gevuld of geledigd. De vraag is nu welke horizontale kracht op de deur werkt, benodigd om de deur met het bewegingswerk te openen, wanneer het debiet door de deur-openingen gering is (fig. 11.4).



Figuur 11.4 Hydrostatisch drukverloop bij een dichtheidsverschil over de deur en een drukverschil op niveau z_r

Is op het niveau z_r (niveau nivelleeropeningen) een klein verschil in drukhoogte x (bijvoorbeeld $x = 0,10$ m voor een gering debiet) gewenst, dan geldt op dat niveau voor de drukken:

$$\rho_{1v} g (h_v - z_r) = \rho_{2k} g (h_k - z_r + x) \quad (11.5)$$

waarin:	x	= gewenst drukverschil op niveau z_r	[m]
	z_r	= niveau nivelleeropeningen	[m NAP]

Dit leidt tot een kolkwaterstand van:

$$h_k = h_v - x + (h_v - z_r)(\rho_{1v} - \rho_{2k})/\rho_{2k} \quad (11.6)$$

Bij een gegeven voorhavenwaterstand h_v volgt uit vergelijking (11.6) de kolkwaterstand h_k . Substitutie hiervan in vergelijking (11.3) en met $a_v = h_v$ en $a_k = z_d$ geeft de totale horizontale kracht op de deur.

Voor andere bijzondere gevallen van dichtheidsverschillen (bijvoorbeeld start openen deuren door middel van drukopnemers op bepaalde niveaus) wordt verwezen naar Lit. [11.11].

11.3 Hydraulische belastingen door de deurbeweging

11.3.1 Inleiding

In deze paragraaf worden alléén punt- en enkele draaideuren tijdens hun beweging beschouwd. De krachten die het water uitoefenen tijdens de deurbeweging, bepalen het ontwerp van het bewegingswerk van de deur. De krachten worden steeds omgerekend naar momenten om de draaiingsas van de deur en worden uitgedrukt in versnellings- en snelheidstermen.

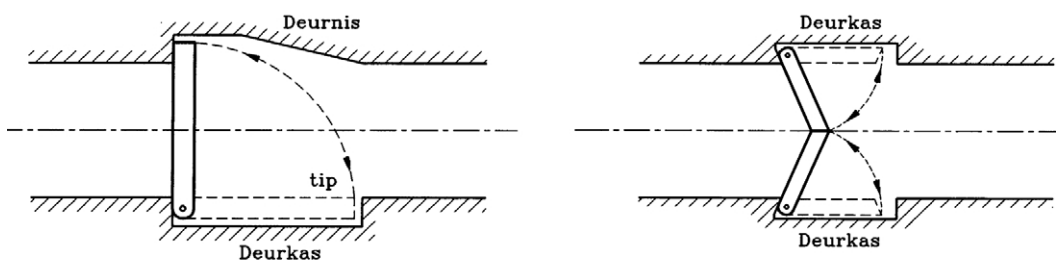


Foto 11.2 Stroming door deurbeweging en door restverval tijdens openen puntdeuren (Volkeraksluizen)

Belangrijke factoren zijn de opgelegde (hoek-)snelheid en de (hoek-)versnelling van de deur, de invloed van de deurkas en - voor enkele draaideuren - de invloed van de deurnis.

De randvoorwaarden beïnvloeden eveneens de momenten op de deur: stroomt het water voor het sluiten of staat dit stil, is tijdens het openen van de deur een initieel verval of een restverval over de deur aanwezig of niet.

Het type deur maakt ook veel uit (fig. 11.5). Bij gelijke sluisbreedte is de deurlengte van een enkele draaideur bijna het dubbele van een puntdeur waardoor de enkele draaideur veel meer water in beweging zet en grotere momenten op de deur genereert.



Figuur 11.5 Enkele draaideur en puntdeuren

In geopende stand bevindt de enkele draaideur of puntdeur zich in een uitsparing van de sluiswand - dit is de deurkas - waarin zich de verticale draaiingsas van de deur bevindt. Het zwaaiende uiteinde van de deur wordt deurtip genoemd. Puntdeuren sluiten onder een hoek van bijvoorbeeld 71° (= 3:1) met de sluisas tegen elkaar. Een enkele draaideur sluit onder een hoek van 90° met de sluisas. In gesloten stand bevindt de deurtip van de enkele draaideur zich in de deurnis, dit is een uitsparing in de tegenover de deurkas liggende sluiswand.

In deze paragraaf worden achtereenvolgens behandeld de momenten op de deur door de versnelde deurbeweging (par. 11.3.2), door de eenparige deurbeweging in stilstaand water (par. 11.3.3) en door de eenparige deurbeweging in stromend water (par. 11.3.4). In par. 11.3.5 staan de effecten van de deurbeweging op de in de kolk gemeerd liggende schepen. par. 11.3.6 geeft een samenvatting van de belangrijkste aandachtspunten.

11.3.2 Momenten door versnelde deurbeweging

11.3.2.1 Definitie toegevoegd massatraagheidsmoment

Wanneer een voorwerp in water wordt versneld, ondervindt het in de bewegingsrichting een kracht die evenredig is met de versnelling en met de snelheid van het voorwerp. In deze paragraaf wordt alleen het deel van de kracht door het water behandeld dat evenredig is met de *versnelling* van het voorwerp. In de volgende paragraaf (11.3.3.) wordt dit het deel van de kracht evenredig met de *snelheid* behandeld.

Als een punt- of draaideur bewogen wordt, is er sprake van een moment om zijn draaiingsas ten gevolge van het water. Tijdens een versnelde beweging van de deur om zijn draaiingsas ondervindt de deur een moment evenredig met de hoekversnelling van de deur. Voor de (hoek-)versnelling (of vertraging) geldt als moment door het water op de deur:

$$M_a = a_a d^2\varphi/dt^2 \quad (11.7)$$

waarin: M_a = moment om draaiingsas door hoekversnelling [Nm]
 $d^2\varphi/dt^2$ = (hoek-)versnelling [rad/s²]
 a_a = toegevoegd massatraagheidsmoment om draaiingsas [kgm²]

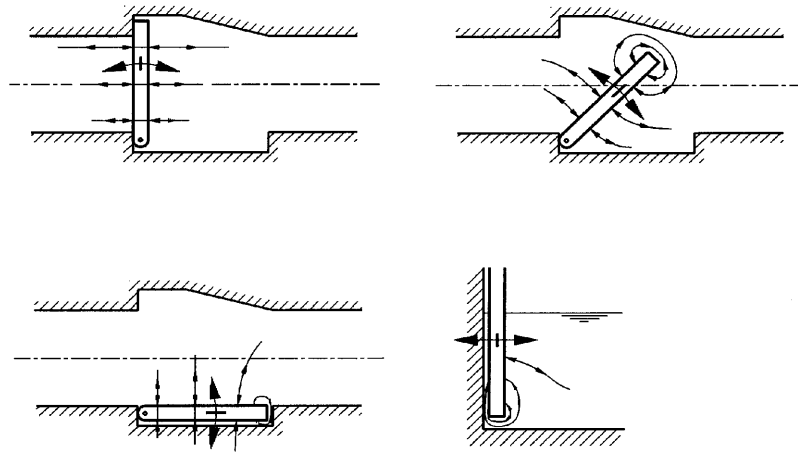
Het toegevoegd massatraagheidsmoment wordt berekend bij harmonische excitatie van de deur en is afhankelijk van de frequentie van de opgelegde beweging en van de geometrie van de deur in zijn omgeving. Dit toegevoegd massatraagheidsmoment is meestal vele malen groter dan het eigen massatraagheidsmoment van de deur. Met behulp van een 2-dimensionaal potentiaalstromingsmodel (bijvoorbeeld LOCKGATE1, Lit. [11.4] en [11.11]) zijn deze toegevoegde massatraagheidsmomenten te berekenen.

Opgemerkt wordt dat bij het versnellen en vertragen van de deur - dus tijdens het opgang komen en stoppen van de deur - de invloed van het moment als gevolg van de hoeksnelheid van de deur nog gering is.

11.3.2.2 Toegevoegd massatraagheidsmoment bij verschillende stromingssituaties

We onderscheiden drie stromingssituaties rondom de deur (fig. 11.6) te weten:

- a Deur is (vrijwel) gesloten
De stroming vindt voornamelijk plaats in een verticaal vlak loodrecht op de deur. Er is vrijwel geen lekstroom langs de deuropentrek.
- b Deur is deels geopend
De stroming vindt voornamelijk plaats in het horizontale vlak met een omstroming rondom de deurtip
- c Deur is (vrijwel) geopend, dus bij de deurkas
Bij veel ruimte onder de deur vindt de stroming voornamelijk plaats in het verticale vlak loodrecht de deur. Bij veel ruimte om de deurtip vindt de stroming juist in het horizontale vlak plaats.



Figuur 11.6 Stromingssituaties bij enkele draaideur

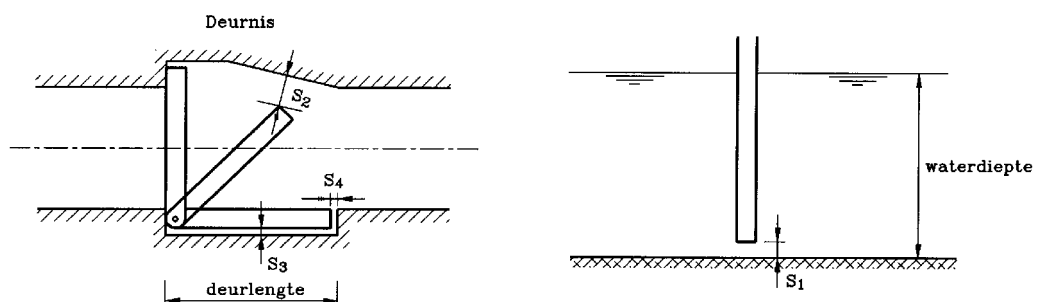
Het toegevoegd massa draagheidsmoment wordt uitgedrukt met een formule voor de stroming in een verticaal vlak loodrecht op de deur (11.8) of in een horizontaal vlak (11.9):

$$a_a = \rho (a_v' / 3) (h_k - z_d)^2 l_d^3 \quad (11.8)$$

$$a_a = \rho a_h' (h_k - z_d) l_d^4 \quad (11.9)$$

waarin:	a_a	= toegevoegd massa draagheidsmoment	[kgm ²]
	a_v'	= coëfficiënt toegevoegd massa draagheidsmoment verticaal vlak	[-]
	a_h'	= coëfficiënt toegevoegd massa draagheidsmoment horizontaal vlak	[-]
	$h_k - z_d$	= waterdiepte	[m]
	h_k	= niveau waterspiegel	[m NAP]
	z_d	= niveau bodem	[m NAP]
	l_d	= deurlengte	[m]

Met behulp van rekenprogramma LOCKGATE1 (Lit. [11.11]) zijn de volgende gegevens afgeleid (fig. 11.7).



Figuur 11.7 Spleten rondom de deur

Voor de (vrijwel) dichte deur wordt formule (11.8) gebruikt. De coëfficiënt a_v' bedraagt 1,09 zonder spleten rondom de deur en is 0,76 voor een verticale spleet s_1 onder de deur van 0,1 keer de waterdiepte.

Voor de deels geopende deur wordt formule (11.9) gebruikt. De coëfficiënt a_h' varieert van 0,63 tot 0,38 en wel voor een horizontale spleet s_2 tussen deurtip en wand (enkele draaideur) of tussen deurtip en sluisas (puntdeur) van 0,067 tot 0,5 keer de deurlengte.

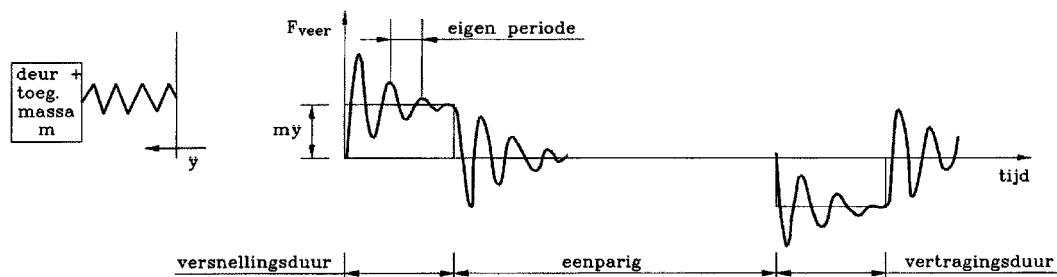
Voor de (vrijwel) geopende deur wordt formule (11.8) of (11.9) gebruikt waarbij de kleinste waarde van a_a aangehouden wordt (het water kiest de gemakkelijkste weg). De coëfficiënt a_v' varieert van 1,60 tot 1,13 voor een verticale spleet s_1 onder de deur van 0,1 keer de waterdiepte en een gemiddelde, horizontale afstand s_3 van deurbeplating tot deurkaswand van 0,1 tot 0,17 keer de waterdiepte. De coëfficiënt a_h' varieert van 0,73 tot 0,69 voor een gemiddelde, horizontale afstand s_3 van deurbeplating tot deurkaswand van 0,1 tot 0,17 keer de deurlengte en voor een horizontale spleet s_4 tussen deurtip en deurkas van 0,2 tot 0,3.

Uit het voorgaande blijkt dat als volgorde van groot naar klein toegevoegd massatraagheidsmoment geldt: geopende deur (deur in deurkas), gesloten deur en half open deur. Hoe meer de stroming om de deur heen door nauwe spleten rondom de deur gehinderd wordt des te groter is het toegevoegd massatraagheidsmoment en dus het moment op de deur.

Het moment op de deur door de deurversnellingen wordt beperkt door de volgende zaken:

- de deurversnellingen (en -vertragingen) klein houden voor de deur in de deurkas en voor de gesloten deur
- de deurkas ruim ontwerpen zonder dat nauwe verticale spleten tussen deur en deurkas ontstaan, evenzo voor de deurnis;
- de spleet onder de deur handhaven en nivelleeropeningen geopend houden tijdens de deur beweging.

11.3.2.3 Kracht in het bewegingswerk



Figuur 11.8 Eenmassa/veersysteem met voorgeschreven beweging van de ondersteuning

Het systeem van de deur met een bewegingswerk is te beschouwen als een eenmassa/veersysteem. De massa is de deur met de toegevoegde watermassa, het verende element is de stijfheid van het bewegingswerk (zoals een oliekolom) en eventueel de deur zelf. De ondersteuning van de veer ondergaat de voorgeschreven beweging. Deze beweging kan (bijvoorbeeld) bestaan uit drie trajecten, te weten een versnelde beweging, een eenparige beweging en een vertraagde beweging (fig. 11.8).

Het systeem komt door de opgelegde beweging in zijn eigen trillingsperiode terecht.

De gemiddelde kracht in de veer (dus het bewegingswerk) volgt uit het product van massa $\times$ versnelling en bestaat (bijvoorbeeld) uit een constante kracht (versnelde beweging), kracht nul en weer een constante kracht (vertraagde beweging).

De maximale kracht in de veer is maximaal een factor 2 hoger dan de gemiddelde waarde. Deze factor hangt af van het quotiënt van duur van de versnelling en de eigen periode van het systeem. Is het quotiënt kleiner dan 1/2 dan is de factor kleiner dan 2, is het quotiënt groter dan 1/2 dan is deze factor bij benadering 2.

Door allerlei dempende invloeden zal de maximale waarde van de kracht snel uitdempen naar de gemiddelde waarde.

Het is bovendien de vraag of de maximale kracht wel optreedt omdat het bewegingsmechanisme lang niet altijd in staat is precies de voorgeschreven beweging te volgen.

11.3.3 Momenten door eenparige deurbeweging in stilstaand water

11.3.3.1 Soorten weerstand

Water wordt beschouwd met oneindige afmetingen, dat wil zeggen zonder invloed van wanden, bodem of wateroppervlak, en zonder stroming. Bij een eenparige beweging van een lichaam in dit water ontstaat een stroming rondom het lichaam: aan de voorzijde van het lichaam wordt water weggedrukt, terwijl aan de achterzijde water aangezogen wordt. Doordat de stroming de contouren van het lichaam meestal niet kan volgen, ontstaan loslaatpunten van de stroming. De stroming verandert het drukveld rondom het lichaam - er treden drukverhogingen op aan de bovenstroomse en drukverlagingen aan de benedenstroomse zijde - waardoor een kracht op het voorwerp uitgeoefend wordt die evenredig is met het kwadraat van de snelheid van het lichaam. De kracht bestaat uit een vorm- en een wrijvingsweerstand die kortweg stromingsweerstand genoemd wordt.

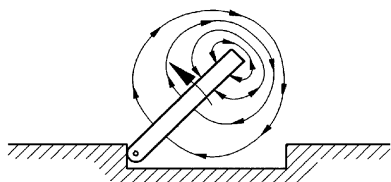
Bij een punt- of draaideur die in een sluis staat opgesteld en een stand heeft waarbij het water vrij om de deurtip heen kan stromen (half open deur), treedt een soortgelijke situatie op bij het eenparig bewegen van de deur. Het water wordt aan de voorzijde van de deur weggedrukt, stroomt horizontaal om de deurtip heen waarbij de stroming loslaat van de deurtip en vervolgens stroomt naar de achterzijde van de deur. Op de deur wordt een moment uitgeoefend dat afhangt van de hoeksnelheid van de deur. De weerstand wordt ook nu *stromingsweerstand in vrij water* genoemd. Het aandeel van de wrijving hierin is bij deuren gering.

In een bijna gesloten stand van de deur (begin openen of einde sluiten) kan het water niet vrij om de deurtip heen stromen. Bij het eenparig bewegen van de deur is alleen stroming om de deur mogelijk via de verticale spleet tussen de deurtip en de sluiswand (enkele draaideur) of tussen de deurtippen onderling (puntdeuren). Omdat de stroming rondom de deur sterk wordt gehinderd, wordt het water dat de deur verplaatst, via translatiegolven aan- en afgevoerd. De drukverschillen over de deur nemen hierdoor toe waardoor het moment op de deur ook toeneemt. De weerstand die de deur ondervindt wordt de golfmakende weerstand of kortweg *golfweerstand* genoemd.

Als de deur zich in de deurkas bevindt (begin sluiten of einde openen), zijn de spleten tussen deur en wand nog geringer. Draait de deur met een eenparige snelheid in de deurkas dan wordt het volume water tussen deur en deurkaswand deels opgesloten. Het door de deur verplaatste water kan deels ontsnappen via de verticale spleet tussen deur en deurkas en geeft de waterspiegel in de deurkas een verticale beweging. De waterdruk op de deur varieert hiermee, wat resulteert in een moment op de deur. De weerstand die de deur ondervindt wordt de *kasweerstand* genoemd.

In de volgende paragrafen worden achtereenvolgens de stromingsweerstand, de golfweerstand en de kasweerstand behandeld (zie Lit. [11.6] en [11.11]). Opgemerkt wordt nog dat de invloed van de aanwezigheid van schepen in de kolk op de deurbelastingen niet wordt meegenomen hoewel dit tot hoge belastingen kan leiden.

11.3.3.2 Stromingsweerstand in vrij water



Figuur 11.9 Stromingsweerstand bij deuren

De stromingsweerstand van de eenparig roterende deur wordt afgeleid voor water met ruime horizontale afmetingen zonder dat de horizontale stroming rondom de deurtip beperkt wordt (fig. 11.9). Aan de voorzijde van de deur ontstaat een drukverhoging, de stroming laat los bij de deurtip waarbij wervels ontstaan. Aan de achterzijde is een drukverlaging aanwezig. Het moment op de deur hangt af van het kwadraat van de hoeksnelheid en is als volgt te definiëren:

$$M_p = a_p \rho (d\phi/dt)^2 (h_k - z_d) l_d^4 \quad (11.10)$$

waarin:	M_p	= moment door stromingsweerstand	[Nm]
	a_p	= coëfficiënt stromingsweerstand	[-]
	$d\phi/dt$	= hoeksnelheid deur	[rad/s]
	h_k	= niveau waterspiegel	[m NAP]
	z_d	= niveau onderkant deur	[m NAP]
	l_d	= deurlengte	[m]

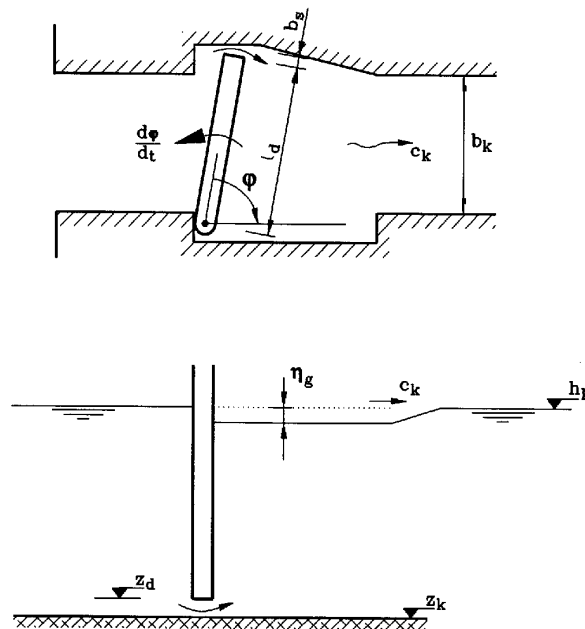
De factor a_p is vermeld in de literatuur (Lit. [11.11]) en ligt tussen 0,16 en 0,25.

Als voorbeeld wordt een enkele draaideur (deurlengte $l_d = 12,50$ m) in 5 m diep water ($h_k - z_d = 5,00$ m) genomen met een deursnelheid van $d\phi/dt = 1,5^\circ/s$ of $0,0262$ rad/s. Met $a_p = 0,25$ geeft dit een moment $M_p = 20$ kNm.

Openstaande nivelleeropeningen zullen het moment doen verkleinen. Gezien de verhouding in oppervlakten van nivelleeropeningen en deurvlak en gezien de onzekerheid in de waarde van de factor a_p , heeft het weinig zin dit verkleinende effect van nivelleeropeningen in rekening te brengen.

11.3.3.3 Golfweerstand

Eerst wordt de situatie in een sluis beschouwd waarbij een enkele draaideur eenparig roteert in de buurt van zijn gesloten stand. De deur bevindt zich aan het uiteinde van de sluis en draait in de richting van de voorhaven (fig. 11.10).



Figuur 11.10 Golfweerstand bij deuren

Aan de voorhavenszijde van de deur wordt een positieve golf opgewekt die een geringe hoogte heeft door de relatief brede voorhaven. Aan de kolkzijde van de deur wordt een negatieve golf opgewekt die de kolk inloopt. Door de opgewekte golven ontstaat een verval over de deur waardoor water naar de

kolk toe stroomt door de (verticale) spleet tussen deurtip en sluiswand. Wanneer een spleet onder de deur aanwezig is of de nivelleeropeningen staan open stroomt ook hier het water doorheen.

De continuïteitsvergelijking wordt opgesteld tussen de spleten/nivelleeropeningen en de kolk. Het door de enkele draaideur opgewekte debiet wordt gelijkgesteld aan het debiet in de translatiegolf plus het debiet door de spleten/nivelleeropeningen (om, onder en door de deur). De golfhoogte aan de voorhavenszijde wordt verwaarloosd ten opzichte van die aan de kolkzijde.

$$^{1/2} d\varphi/dt (h_k - z_d) l_d^2 = \eta_g b_k c_k + A_g \sqrt{2g \eta_g} \quad (11.11)$$

waarin:	$d\varphi/dt$	= hoeksnelheid deur	[rad/s]
	h_k	= niveau waterspiegel	[m NAP]
	z_d	= niveau onderkant deur	[m NAP]
	l_d	= deurlengte	[m]
	η_g	= translatiegolfhoogte in kolk	[m]
	b_k	= breedte kolk	[m]
	c_k	= $\sqrt{g (h_k - z_k)}$	
		= translatiegolfsnelheid in kolk	[m/s]
	z_k	= niveau kolkbodem	[m NAP]
	A_g	= $m_s b_s (h_k - z_k) + m_o l_d (z_d - z_k) + m_o A_o$	
		= totale oppervlakte van spleten en nivelleeropeningen (om, onder en door deur)	[m ²]
	m_s	= afvoer-coëfficiënt spleten	[-]
	b_s	= breedte verticale spleet tussen deurtip en wand	[m]
	m_o	= afvoer-coëfficiënt nivelleeropeningen	[-]
	A_o	= oppervlakte openstaande nivelleeropeningen	[m ²]

Met de breedte van de verticale spleet b_s wordt bedoeld de minimale, horizontale afstand tussen deurtip en sluiswand (loodlijn vanuit deurtip op sluiswand). De totale oppervlakte van spleten en nivelleeropeningen (A_g) is hiermee een (bekende) functie van tijd.

Uit vergelijking (11.11) kan de golfhoogte η_g worden opgelost:

$$\eta_g = \{(-B + \sqrt{B^2 - 4AC}) / (2A)\}^2 \quad (11.12)$$

$$\begin{aligned} \text{met:} \quad A &= b_k c_k \\ B &= A_g \sqrt{2g} \\ C &= -^{1/2} d\varphi/dt (h_k - z_d) l_d^2 \end{aligned}$$

Bij de brede voorhaven die direct aansluit op de deur, geldt bovenstaande golfhoogte η_g als gemiddeld verval over de enkele draaideur. De lokale waterspiegelverlaging ter plaatse van de deurtip (dit is in de spleet tussen deurtip en deurniswand) wordt voor de momentberekening verwaarloosd. Wanneer bovendien aangenomen wordt dat de drukverdeling hydrostatisch is (ook dit is een benadering) dan is het moment op de deur om z'n draaiingsas:

$$M_g = ^{1/2} \rho g \eta_g (h_k - z_d) l_d^2 \quad (11.13)$$

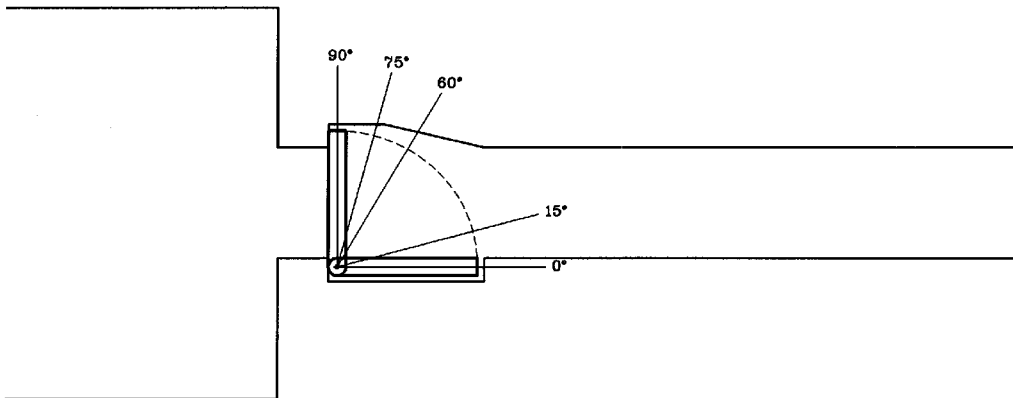
$$\text{waarin:} \quad M_g = \text{moment door golfweerstand} \quad [\text{Nm}]$$

Het moment op de deur neemt toe bij een grotere deursnelheid en neemt ook toe bij het afnemen van de oppervlakten van de spleten rondom de deur en van de nivelleeropeningen.

De vergelijkingen voor het deurmoment bij een eenparige deurbeweging (11.12) en (11.13) zijn bruikbaar voor enkele draaideuren aan het uiteinde van de sluis met een brede voorhaven, voor elke stand van de deur behalve als de deur zich in de deurkas bevindt. Overigens zal het moment alleen in de bijna gesloten stand van de deur (begin openen of einde sluiten) groot zijn. Nog enkele opmerkingen:

- het moment op de deur uitgeoefend door het water werkt steeds tegen de bewegingsrichting van de deur in;
- de breedte van de spleet tussen deurtip en wand varieert met de stand van de deur. Bij een hoek tussen de enkele draaideur en de sluisas van 70° tot 90° is de spleet bij de deurtip bijvoorbeeld gering en het moment groot, bij de deur in half geopende stand is de spleet groot en het moment klein;
- bij een smalle voorhaven of een deur die niet aansluit op de voorhaven (bijvoorbeeld tussenhoofd) is het moment op de deur groter omdat de translatiegolfhoogte aan de voorhavenszijde niet gering is. In vergelijking (11.11) wordt het verval maximaal $2 \eta_g$ i.p.v. η_g en in vergelijking (11.12) wordt B maximaal $\sqrt{2}$ keer groter. Het moment op de deur neemt in het ongunstigste geval met een factor 2 toe;
- bij langzame deurbewegingen komt de bij de het andere uiteinde van de kolk gereflecteerde translatiegolf na enige tijd weer bij de bewegende deur terug, dit levert een extra moment op de deur op;
- bij puntdeuren kunnen de vergelijkingen (11.12) en (11.13) eveneens worden toegepast, maar in vergelijking (11.12) moet voor de sluisbreedte de helft van de echte sluisbreedte gesubstitueerd worden. De spleet bij de deurtip betreft die tussen de deurtip en de sluisas.

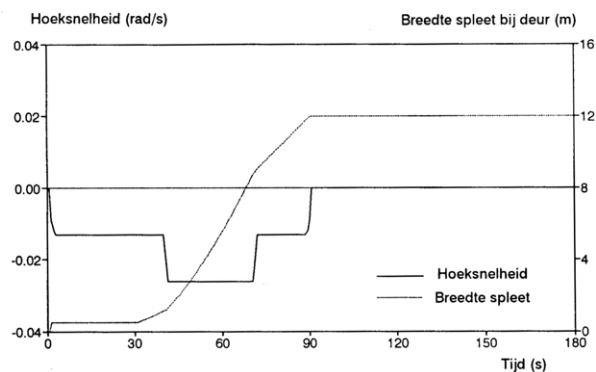
Het rekenprogramma LOCKGATE2 (Lit. [11.11]) en berekent de deurmomenten door de golfweerstand als functie van de tijd bij een op te geven deurprogramma. Hierbij wordt gebruikt gemaakt van uitgebreide versies van vergelijkingen (11.11) en (11.13) en er wordt rekening gehouden met reflecties van de golven in de kolk en de voorhaven. De resultaten zijn getoetst aan modelmetingen.



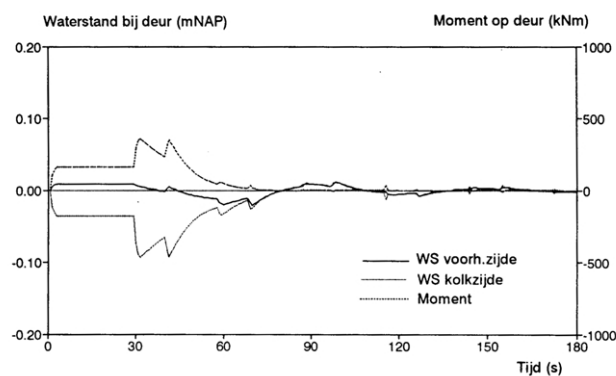
Figuur 11.11 Voorbeeld

In figuren 11.12 t/m 11.15 staan resultaten van berekeningen met LOCKGATE2 voor een enkele draaideur die wordt geopend (fig. 11.12 en 11.13) en gesloten (fig. 11.14 en 11.15).

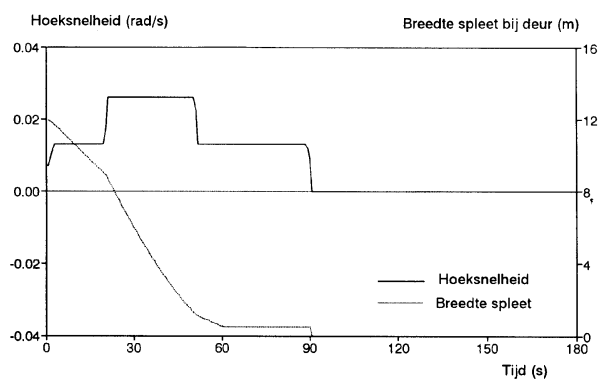
Het betreft een enkele draaideur (deurlengte $l_d = 12,50$ m) in 5 m diep water ($h_k - z_k = 5,00$ m), zie figuur 11.11. De spleet tussen deurtip en deurnis is voor deurhoeken tussen $\varphi = 90$ en 75° constant ($b_s = 0,50$ m), de spleet onder de deur is $0,10$ m ($z_d - z_k = 0,10$ m) en de nivelleeropeningen staan dicht. De invloed van de voorhavenbreedte (breedte $b_v = 50$ m) is niet verwaarloosbaar, de sluiscolklengte is $l_k = 100$ m en de breedte is $b_k = 12$ m. Voor deurhoeken tussen $\varphi = 90$ en 60° en tussen $\varphi = 15$ en 0° is de deursnelheid $0,75^\circ/\text{s}$, voor deurhoeken tussen $\varphi = 60$ en 15° is de deursnelheid $1,50^\circ/\text{s}$. De gehele deurbeweging duurt 90 s.



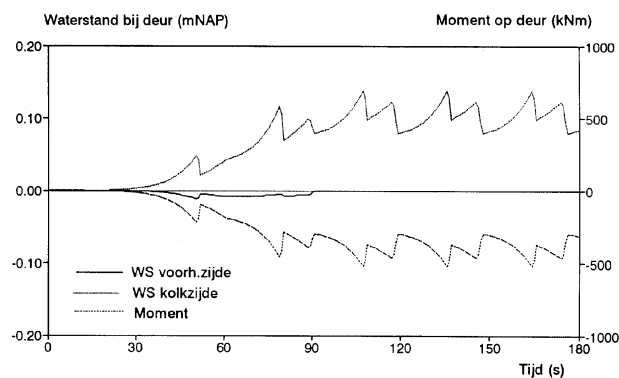
Figuur 11.12 Hoeksnelheid deur en breedte spleet, Openen enkele draaideur in stilstaand water



Figuur 11.13 Waterstanden en moment op deur, Golfweerstand, Openen enkele draaideur in stilstaand water



Figuur 11.14 Hoeksnelheid deur en breedte spleet, Sluiten enkele draaideur in stilstaand water



Figuur 11.15 Waterstanden en moment op deur, Golfweerstand, Sluiten enkele draaideur in stilstaand water

Als de spleet tussen deurtip en deurnis gering is, blijkt het verval over de deur en (dus) het moment op de deur groot te zijn. De verandering van de deursnelheid en de reflecties tegen het gesloten einde van de kolk zijn zichtbaar in de waterstanden en momenten. Na het sluiten van de deur blijft een moment op de deur aanwezig omdat de gemiddelde waterstand in de kolk is verhoogd door de deurbeweging.

Uit het voorgaande blijkt dat in de regel de maximumwaarde van het moment optreedt nabij de dichte stand van de deur, omdat de spleten bij de deurtip en onder de deur klein zijn. Wanneer de nivelleeropeningen dicht staan (dus b_s en A_o zijn nul) dan is voor het openen van de enkele draaideur (ook A_g is nul) het maximum moment af te leiden uit de vergelijkingen (11.12) en (11.13):

$$M_g = \frac{1}{4} \rho g \frac{d\varphi}{dt} (h_k - z_d)^2 l_d^4 / (b_k c_k) \quad (11.14)$$

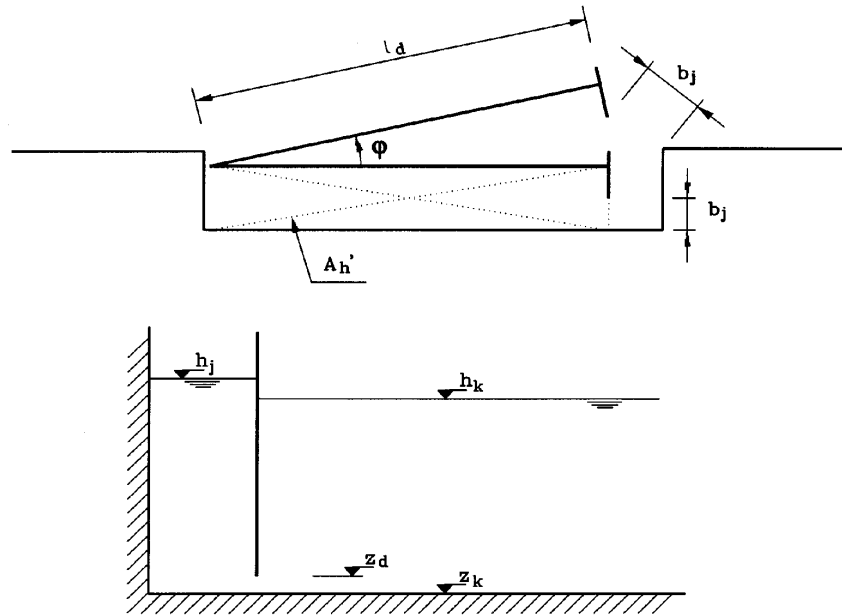
Zoals vermeld, is dit moment maximaal een factor 2 groter indien de breedte van de voorhaven in de buurt ligt van die van de kolk. Bij puntdeuren moet voor de sluisbreedte b_k de helft van de echte sluisbreedte worden ingevuld. Vergelijking (11.14) geldt niet voor het sluiten van de deur omdat de gemiddelde waterstand dan verhoogd wordt; dan is een berekening met LOCKGATE2 nodig.

11.3.3.4 Kasweerstand



Foto 11.3 Strooming rondom de deurtip bij einde openen puntdeuren (Volkeraksluizen)

Als het openen van de deur bijna voltooid is (deurhoek φ bijvoorbeeld van 10 naar 0°) drukt de deur een hoeveelheid water in de deurkas waardoor in korte tijd de gemiddelde waterspiegel in de deurkas stijgt. Het horizontaal oppervlak van het water tussen deur en deurkaswand neemt af. Door de verhoogde waterspiegel stroomt er water uit de spleten rondom de deur en de (eventueel) openstaande deuropeningen richting sluisenkolk. Aan de kolkzijde van de deur wordt een negatieve translatiegolf opgewekt die vanwege de wijde kolk echter gering van hoogte is.



Figuur 11.16 Kasweerstand

De continuïteitsvergelijking tussen de deurspleten/nivelleeropeningen en de deurkas is als volgt (fig. 11.16). Het door de enkele draaideur of puntdeur opgewekte debiet is gelijk aan het debiet benodigd voor de verticale beweging van de waterspiegel in de deurkas en het debiet door de spleten en de openingen. De golfhoogte aan de kolkzijde wordt verwaarloosd ten opzichte van de waterstandsverhoging in de deurkas.

$$1/2 \, d\phi/dt \, (h_k - z_d) \, l_d^2 = dh_j/dt \, A_h + A_j \sqrt{2g \, (h_j - h_k)} \quad (11.15)$$

waarin:	$d\phi/dt$	= hoeksnelheid deur	[rad/s]
	h_k	= niveau waterspiegel in sluiskolk	[m NAP]
	z_d	= niveau onderkant deur	[m NAP]
	l_d	= deurlengte	[m]
	dh_j/dt	= verticale snelheid wateroppervlak deurkas	[m/s]
	A_h	= horizontaal oppervlak deurkas	[m ²]
		$= A_h' + 1/2 \, d\phi/dt \, (t_e - t) \, l_d^2$	
	A_h'	= minimale, horizontale oppervlakte deurkas	[m ²]
	t_e	= tijdstip einde openen	[s]
	t	= tijd	[s]
	A_j	$= \mu_s \, b_j \, (h_k - z_k) + \mu_o \, l_d \, (z_d - z_k) + \mu_o \, A_o$	
		= totale oppervlakte van spleten en nivelleeropeningen	[m ²]
	z_d	= niveau onderkant deur	[m NAP]
	z_k	= niveau kolkbodem	[m NAP]
	μ_s	= afvoer-coëfficiënt spleten	[-]
	b_j	= breedte verticale spleet tussen deurtip en deurkas)*	[m]
	μ_o	= afvoer-coëfficiënt nivelleeropeningen	[-]
	A_o	= oppervlakte openstaande nivelleeropeningen	[m ²]
	h_j	= niveau waterspiegel in deurkas	[m NAP]
	)* deze spleet varieert dus per deurstand		

Het moment op de deur is dan (bij benadering):

$$M_j = 1/2 \, \rho \, g \, (h_j - h_k) \, (h_k - z_d) \, l_d^2 \quad (11.16)$$

waarin:	M_j	= moment door invloed deurkas	[Nm]
---------	-------	-------------------------------	------

Met breedte van de verticale spleet b_j wordt bedoeld de minimale, horizontale afstand tussen deurtip en deurkas. Deze spleetbreedte kan afhangen van de hoek die de deur met de sluiswand maakt. De totale oppervlakte van spleten en nivelleeropeningen (A_j) is een (bekende) functie van tijd.

Vergelijking (11.15) met als onbekende de waterspiegel in de deurkas (h_j) heeft geen analytische oplossing en moet daarom met een computerprogramma opgelost worden. Het rekenprogramma LOCKGATE3 (Lit. [11.11]) bepaalt de momenten op de deur als functie van tijd bij een op te geven deurprogramma. Hierbij wordt gebruikt gemaakt van een uitgebreide versie van vergelijking (11.15). De resultaten zijn getoetst aan modelmetingen.

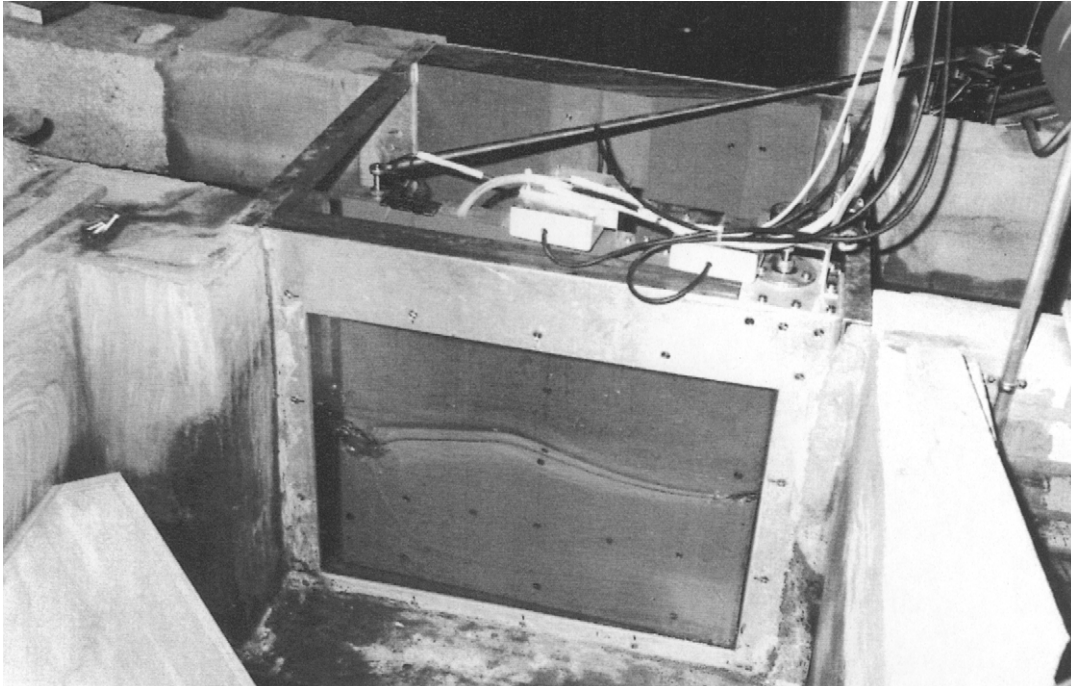
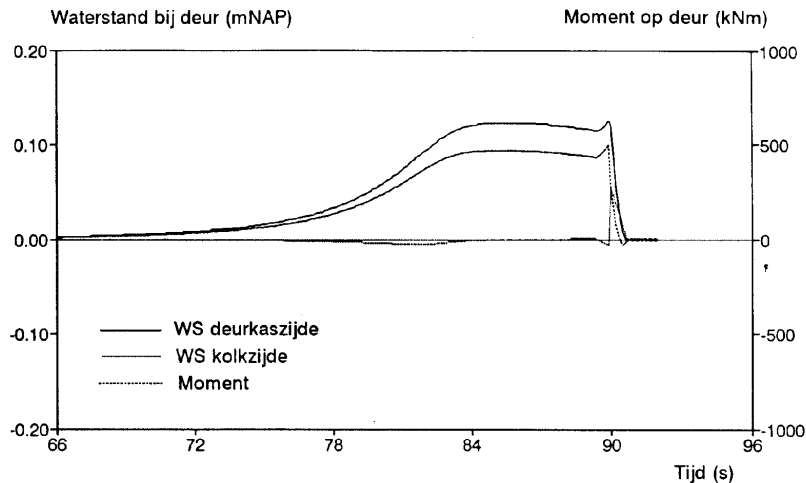


Foto 11.4 Waterbeweging in de deurkas bij begin sluiten enkele draaideur (Modelproeven WL)

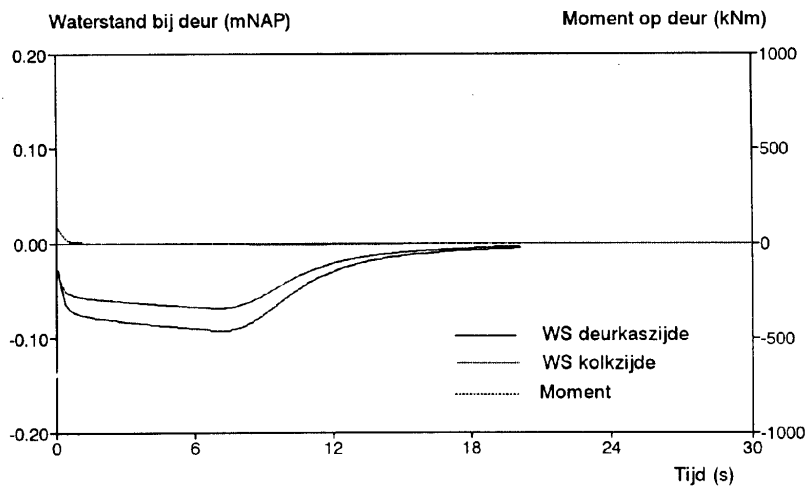
In de figuren 11.17 en 11.18 staan de resultaten van berekeningen met LOCKGATE3 voor een enkele draaideur die wordt geopend (fig. 11.17) en gesloten (fig. 11.18). Het gaat om een enkele draaideur (deurlengte $l_d = 12,50$ m) in 5 m diep water ($h_k - z_k = 5,00$ m). De minimale spleet tussen deurtip en deurkas treedt op bij de geheel geopende stand en is $b_j = 0,40$ m, de spleet onder de deur is $0,10$ m ($z_d - z_k = 0,10$ m) en de nivelleeropeningen staan dicht. Voor deurhoeken tussen $\varphi = 15$ en 0° is de deursnelheid constant: $d\varphi/dt = 0,75^\circ/s$.

Het moment is steeds tegen de bewegingsrichting van de deur in. Het blijkt dat het openen van de deur hogere momenten oplevert dan het sluiten. De oorzaak daarvan is de volgende. De waterspiegel in de deurkas bouwt zich in korte tijd op naar een maximumwaarde wanneer de deur in de deurkas beweegt. Deze waarde wordt bij het openen van de deur bereikt als het horizontaal oppervlak van de deurkas klein is, zoals bij einde openen. Bij het sluiten van de deur wordt deze waarde bereikt als het horizontaal oppervlak van de deurkas veel groter is (deur bijna uit deurkas).

Een zo maximaal (of minimaal) mogelijke waarde van de waterstand in de deurkas (en dus moment op de deur) kan afgeschat worden. In een aantal gevallen kan dit bij het openen van de deur ook bereikt worden (dus niet in alle gevallen en niet bij sluiten deur). Dit maximum treedt op wanneer de verticale snelheid van het wateroppervlak nul is ($dh_j/dt = 0$) en het horizontaal oppervlak van de deurkas minimaal is (met $A_j = A_j'$, oftewel de deur is net geheel open). Het maximaal mogelijke verval over de deur is, afgeleid uit (11.15):



Figuur 11.17 Waterstanden en moment op deur, Kasweerstand, Einde openen enkele draaideur in stilstaand water



Figuur 11.18 Waterstanden en moment op deur, Kasweerstand, Begin sluiten enkele draaideur in stilstaand water

$$h_j - h_k = (D_1 / D_2)^2 \quad (11.17)$$

met:

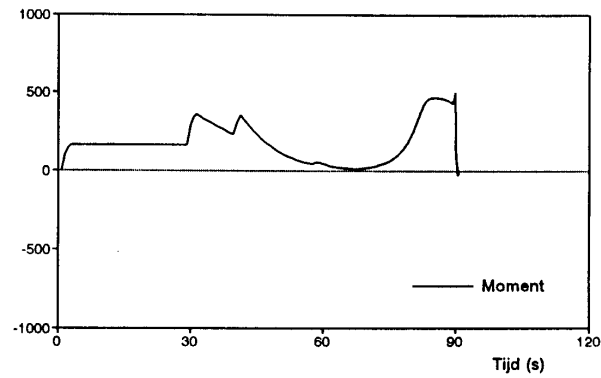
$$D_1 = \frac{1}{2} \frac{d\phi}{dt} (h_k - z_d) l_d^2$$

$$D_2 = (\mu_s b_j (h_k - z_k) + \mu_o A_o) \sqrt{2g}$$

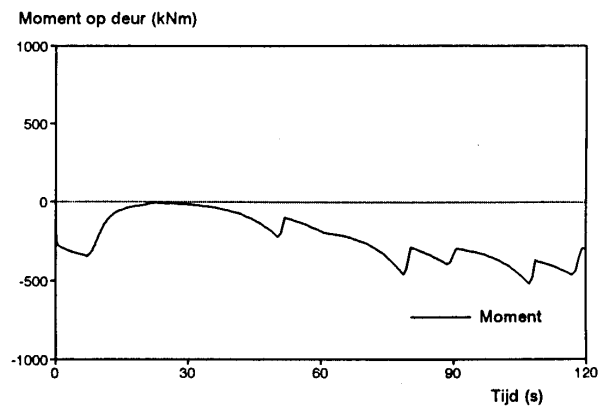
Het maximaal mogelijke moment op de deur kan verkregen worden door substitutie van het resultaat van vergelijking (11.17) in vergelijking (11.16). Dit moment wordt dan onder de volgende omstandigheden bereikt: bij einde openen deur, wanneer het minimale, horizontaal oppervlak van de deurkas beperkt is en wanneer over een relatief lang traject van de deurbeweging een nauwe spleet tussen deur en deurkas aanwezig is.

11.3.3.5 Totale weerstand

Uit de voorbeelden blijkt dat de stromingsweerstand in vrij water (par. 11.3.3.2) verwaarloosbaar is ten opzichte van de golfweerstand en de kasweerstand. De golfweerstand treedt vooral op nabij de gesloten stand van de deur en de kasweerstand treedt op nabij de geopende stand van de deur: dus op verschillende tijdstippen. Sommatie van beide golf- en kasweerstand, levert het totale moment op de deur door de eenparige deurbeweging voor de in par. 11.3.3.3 en par. 11.3.3.4 gegeven voorbeelden (fig. 11.19 en 11.20). Extra momenten door deurversnellingen (effect toegevoegde watermassa) zoals genoemd in par. 11.3.2, zijn hier niet bij inbegrepen.



Figuur 11.19 Moment op deur, Totale weerstand, Openen enkele draaideur in stilstaand water

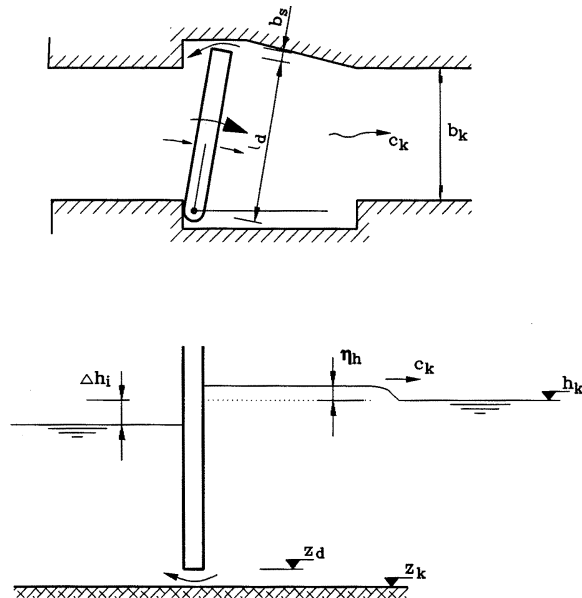


Figuur 11.20 Moment op deur, Totale weerstand, Sluiten enkele draaideur in stilstaand water

11.3.4 Momenten door eenparige deurbeweging in stromend water

11.3.4.1 Openen bij een initieel verval

In een sluis wordt de situatie beschouwd waarbij een enkele draaideur met een eenparige (hoek-)snelheid tegen het initiële verval in wordt opengedraaid (fig. 11.21).



Figuur 11.21 Openen bij een initieel verval

Vergelijking (11.11) beschrijft de continuïteit van de stroming tussen de spleten/deuropeningen en de kolk bij een eenparige deurbeweging in stilstaand water. Een soortgelijke vergelijking kan worden opgesteld waarbij het verval over de deur vergroot wordt met het initiële verval:

$$1/2 \, d\phi/dt \, (h_k - z_d) \, l_d^2 = \eta_h \, b_k \, c_k + A_g \sqrt{2g \, (\Delta h_i + \eta_h)} \quad (11.18)$$

waarin: η_h = translatiegolfhoogte [m]
 Δh_i = initieel verval [m]

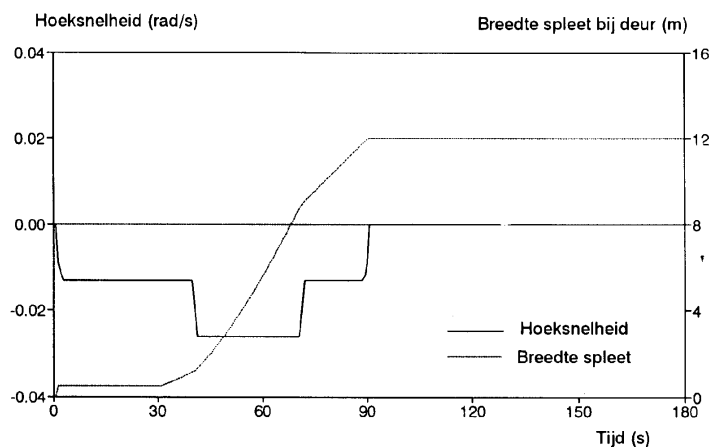
Het totale oppervlak van spleten en deuropeningen A_g is een gegeven functie van tijd (par. 11.3.3.3). Uit vergelijking (11.18) kan de translatiegolfhoogte η_h in de kolk als functie van tijd worden opgelost. Het moment op de deur volgt dan uit:

$$M_h = 1/2 \, \rho \, g \, (\Delta h_i + \eta_h) \, (h_k - z_d) \, l_d^2 \quad (11.19)$$

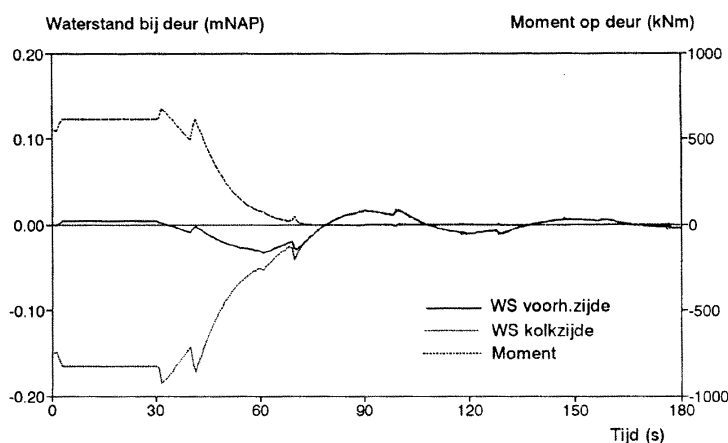
waarin: M_h = moment door golfweerstand en initieel verval [Nm]

Het rekenprogramma LOCKGATE2 (Lit. [11.11]) berekent de golfhoogtes en momenten op de deur bij het openen van de deur met een initieel verval over de deur. Daarbij is tevens rekening gehouden met reflecties van de golven in de kolk en de voorhaven.

In de figuren 11.22 en 11.23 staan de resultaten voor een enkele draaideur die tegen een initieel verval van $\Delta h_i = 0,15$ m in, wordt opengedraaid. De verdere gegevens komen overeen met die van het voorbeeld uit par. 11.3.3.3. Het maximumverval over de deur wordt bij het begin van openen verhoogd met het initieel verval. Zodra de spleten rondom de deur groter worden, verdwijnt het verval over de deur snel.



Figuur 11.22
Hoeksnelheid deur en breedte spleet, Openen enkele draaideur bij initieel verval



Figuur 11.23
Waterstanden en moment op deur, Golfweerstand, Openen enkele draaideur bij initieel verval

Het maximummoment op het tijdstip dat de enkele draaideur wordt geopend, is af te leiden met vergelijking (11.18) en is bij dichte nivelleeropeningen gelijk aan:

$$M_h = 1/4 \rho g d\varphi/dt (h_k - z_d)^2 l_d^4 / (b_k c_k) + 1/2 \rho g \Delta h_i (h_k - z_d) l_d^2 \quad (11.20)$$

Het volgende wordt nog opgemerkt:

- De factor 1/4 in de eerste term (achter het = teken) is bestemd voor een brede voorhaven en neemt toe tot hooguit 1/2 voor een voorhavenbreedte gelijk aan de sluisbreedte.
- Bij puntdeuren moet in de eerste term voor de sluisbreedte b_k de helft van de echte sluisbreedte ingevuld worden.
- De eerste term levert steeds een moment tegen de bewegingsrichting in. De tweede term levert een moment tegen de bewegingsrichting in als de deur geopend wordt tegen het verval in, of met de bewegingsrichting mee als de deur wordt geopend met het verval mee.

11.3.4.2 Sluiten in stromend water

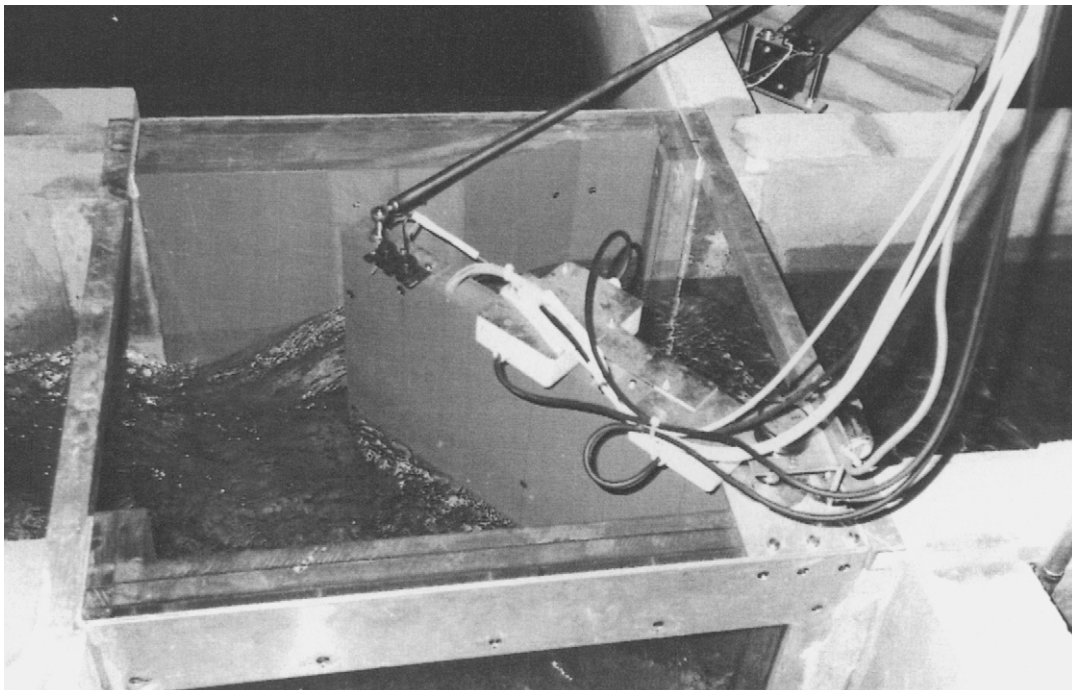
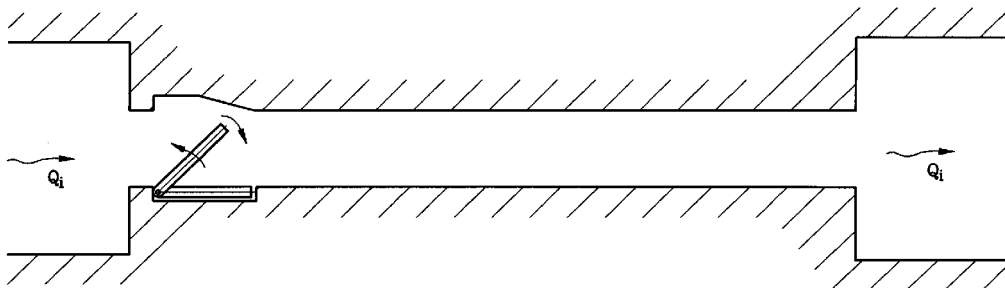


Foto 11.5 Sluiten van enkele draaideur onder stroomcondities (Modelproeven WL)

Verondersteld wordt een openstaande schutsluis met aan de uiteinden enkele draaideuren en een permanent debiet in de sluis.



Figuur 11.24 Sluiten in stromend water

Wanneer de deur aan de ene zijde (bijvoorbeeld) tegen de stroomrichting in gesloten wordt (fig. 11.24), zullen translatiegolven opgewekt worden die met name in de sluis merkbaar zijn. Het verval over de nog deels openstaande deur en de stroomsnelheden in de spleet tussen deurtip en sluiswand zullen hierbij toenemen. Belangrijk in het geheel is het openstaande andere einde van de sluis, waar de translatiegolven negatief gereflecteerd worden en weer terugkomen bij de zich sluitende deur. Hierdoor wijzigt zich het verval over de zich sluitende deur.

Daarnaast wordt, zoals reeds in par. 11.3.2.2 is vermeld, door de sluitende deur ook water in beweging gebracht wat eveneens een verval over de deur geeft.

De continuïteitsvergelijking tussen de spleten/openingen bij de deur en de kolk luidt nu (uitbreiding van vergelijking (11.11)):

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \frac{d\phi}{dt} (h_k - z_d) l_d^2 + Q_i \\ &= \eta_s b_k c_k + \eta_t b_k c_k + A_g \sqrt{2g (\eta_s + \eta_t)} \end{aligned} \quad (11.21)$$

waarin: Q_i = initieel debiet [m³/s]
 η_s = translatiegolfhoogte opgewekt bij sluitende deur [m]
 η_t = translatiegolfhoogte opgewekt bij open einde sluis [m]

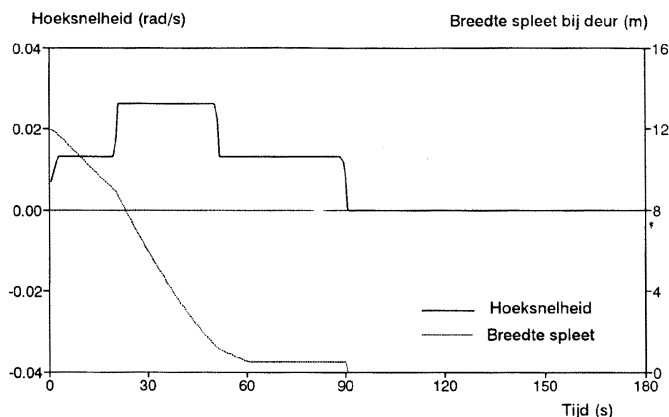
De translatiegolfhoogten kunnen een positief of een negatief teken hebben. De termen van vergelijking (11.21) stellen het volgende voor:

- 1^e term: het door de deurbeweging verplaatste water
- 2^e term: het initiële debiet
- 3^e term: translatiegolven die bij de sluitende deur opgewekt worden
- 4^e term: translatiegolven afkomstig van het open, andere einde van de sluis
- 5^e term: debiet door de spleten en openingen bij de sluitende deur

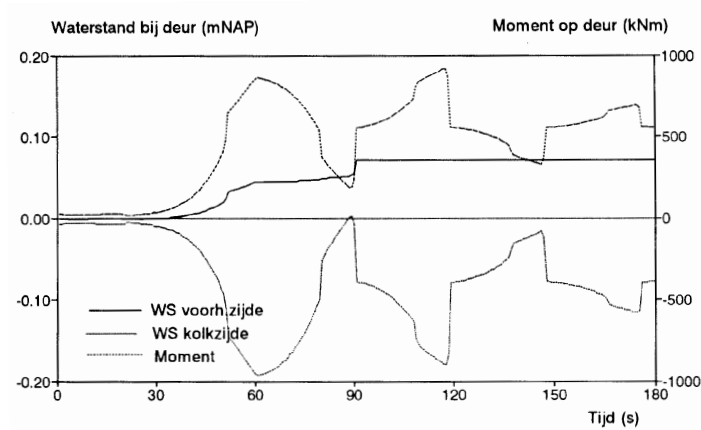
Het rekenprogramma LOCKGATE2 berekent de golfhoogtes en momenten op de deur bij het sluiten van de deur met een initieel debiet door de sluis. Daarbij wordt rekening gehouden met reflecties van de golven in de kolk en de voorhaven en met wrijvings- en uitstroomverliezen in de sluis, kolk.

In de figuren 11.25 en 11.26 staan de resultaten voor een enkele draaideur die tegen een initieel debiet van $Q_i = 25 \text{ m}^3/\text{s}$ gesloten wordt. De verdere gegevens komen overeen met die van het voorbeeld uit par. 11.3.3.3. De momenten op de deur zijn veel groter dan zonder initieel debiet.

Het verval en het moment over de deur hangen nauw samen met de sluitsnelheid van de deur en met de lengte van de sluis. Door de ingewikkelde stromings situatie is het toepassen van een rekenprogramma (zoals LOCKGATE2) meestal noodzakelijk, zeker als het initiële debiet niet gering is. Tevens kan hiermee onderzocht worden of het beter is de sluis aan beide einden tegelijk te sluiten of op nog andere wijze. Ook kan het rekenprogramma SOBEK (Lit. [11.16]) worden toegepast.

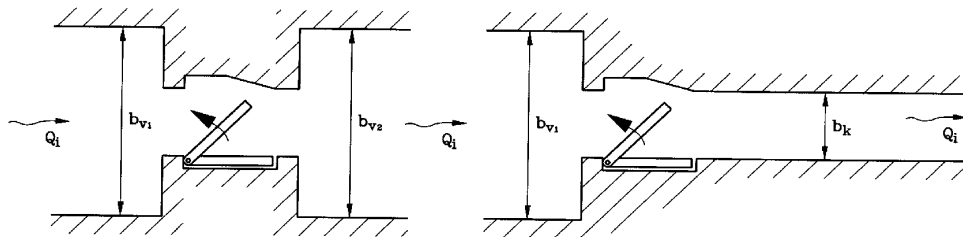


Figuur 11.25 Hoeksnelheid deur en breedte spleet, Sluiten enkele draaideur in stromend water



Figuur 11.26 Waterstanden en moment op deur, Golfweerstand, Sluiten enkele draaideur in stromend water

Wel kunnen een soort minimum- en een maximumwaarde van het verval en het moment geschat worden voor een sluis die heel kort is en erg langzaam gesloten wordt en een sluis die zeer lang is en uiterst snel gesloten wordt (fig. 11.27).



Figuur 11.27 Langzaam sluiten korte sluis en snel sluiten lange sluis

Is de sluis erg kort (bijv. keersluis) en wordt de enkele draaideur zeer langzaam gesloten dan is het minimum verval over de deur gelijk aan:

$$\Delta h_q = Q_i / (b_{v2} c_{v2}) + Q_i / (b_{v1} c_{v1}) \quad (11.22)$$

waarin:	Δh_q	= verval over de deur door debietblokkering	[m]
	b_{v1}	= breedte voorhaven 1	[m]
	c_{v1}	= $\sqrt{(g (h_k - z_{v1}))}$	[m/s]
	h_k	= gemiddelde kolkwaterstand	[m NAP]
	z_{v1}	= bodemniveau voorhaven 1	[m NAP]
	b_{v2}	= breedte voorhaven 2	[m]
	c_{v2}	= $\sqrt{(g (h_k - z_{v2}))}$	[m/s]
	z_{v2}	= bodemniveau voorhaven 2	[m NAP]

Als de sluis zeer lang is en de deur wordt zeer snel gesloten, dan ontstaat vanwege het blokkeren van het debiet het maximum verval over de deur dat gelijk is aan:

$$\Delta h_q = Q_i / (b_k c_k) + Q_i / (b_{v1} c_{v1}) \quad (11.23)$$

Het moment over de deur door de deurbeweging en de debietblokkering is dan bij benadering:

$$M_q = 1/4 \rho g d \phi / dt (h_k - z_d)^2 l_d^4 / (b_k c_k) + 1/2 \rho g \Delta h_q (h_k - z_d) l_d^2 \quad (11.24)$$

waarin: M_q = moment door golfweerstand en initieel debiet [Nm]

Opgemerkt wordt weer hierbij:

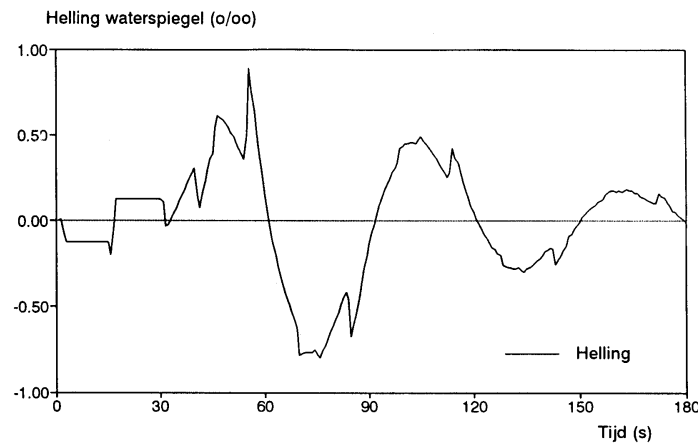
- de factor 0,25 in de eerste term van vergelijking (11.24) (achter het = teken) neemt toe tot hooguit 0,50 voor een voorhavenbreedte gelijk aan de sluisbreedte;
- voor puntdeuren moet in vergelijking (11.23) voor de sluisbreedte de echte sluisbreedte ingevuld worden en in vergelijking (11.24) de helft van de echte sluisbreedte;
- de eerste term van vergelijking (11.24) levert steeds een moment tegen de bewegingsrichting in. De tweede term levert een moment tegen de bewegingsrichting in, als de deur wordt gesloten tegen de stroomrichting in, of met de bewegingsrichting mee als de deur gesloten wordt met de stroomrichting mee.

11.3.5 Krachten op schepen door de deurbeweging

Voor een veilige ligging van schepen in de sluis mogen de krachten, uitgeoefend op de schepen, niet te groot worden (zie hoofdstuk 6, Vul- en ledigingssystemen). Als criterium voor een veilige ligging van schepen in sluisen wordt voor de binnenvaart een maximum langskracht van bijvoorbeeld 1‰ van het gewicht van het verplaatste water aangehouden. Dit impliceert een maximum helling in de waterspiegel van 1‰.

Door het openen en sluiten van de deur (of deuren) worden translatiegolven in de sluis opgewekt, zie par. 11.3.3.3 (golfweerstand bij openen en sluiten) en par. 11.3.4.1 (openen deur bij een initieel verval). Na korte tijd bereiken de golven de in de kolk gemeerd liggende schepen en oefenen krachten uit op deze schepen (zie Lit. [11.9]).

Door de gedeeltelijke reflectie van de golven tegen de boeg van het schip en de langzame passage van de translatiegolven langs het schip, nemen de golfhoogten en dus de hellingen van de waterspiegel in de kolk toe. Dit is met name het geval na het ledigen van de sluis wanneer de waterdiepte in de sluis beperkt is. Het gebeurt ook bij schepen die het dwarsprofiel voor een groot deel blokkeren.



Figuur 11.28 Hellingen waterspiegel tijdens openen met een initieel verval en zonder aanwezigheid schip

In fig. 11.28 zijn de gemiddelde hellingen van de waterspiegel in de kolk uitgezet voor het in par. 11.3.4.1 genoemde voorbeeld van het openen van een enkele draaideur tegen een initieel verval in van 0,15 m. Bij de berekening is geen rekening gehouden met de aanwezigheid van een schip. Het blijkt dat de hellingen in de buurt liggen van een maximale waarde van 1‰. Bij aanwezigheid van een schip dat het dwarsprofiel behoorlijk blokkeert, kunnen deze hellingen zeker met een factor 2 of 3 toenemen en dus te groot zijn.

Uit het voorbeeld kan het volgende worden geleerd.

De maximaal optredende momenten tijdens het bewegen van de deuren zijn nodig om het bewegingswerk van de deur te kunnen dimensioneren. Verder moet worden nagegaan of de langskrachten op de schepen te groot zijn voor de door de deur opgewekte golven. Zijn deze te groot, dan moeten de deursnelheid en het initiële verval verkleind worden. Bij gelijke sluisbreedte is een enkele draaideur sterk in het nadeel van puntdeuren omdat enkele draaideuren veel grotere deurmomenten en golven opwekken.

11.3.6 Aanbevelingen

De deurbeweging moet zodanig plaatsvinden dat de momenten op de deur en hiermede de krachten door het bewegingswerk, zijn op te brengen. Bovendien moeten de benodigde tijden voor het sluiten en openen van de deuren beperkt zijn en de krachten op de schepen aanvaardbaar blijven.

Hiertoe worden de volgende aanbevelingen gedaan.

- Deursnelheid en deurversnellingen beperkt houden zolang de deurtip zich in de buurt van de deurnis bevindt (enkele draaideuren) of nabij de dichte stand (puntdeuren).
- Deurniswand een stuk rechtdoor zetten (bijvoorbeeld halve deurkaslengte) en vervolgens afschuiven tot aan einde tegenoverliggende deurkas. Hiermee blijft de verticale spleet tussen deurtip en deurnis in de buurt van de dichte stand zo ruim mogelijk.
- Deursnelheid en deurversnellingen beperkt houden zolang de deur zich in de deurkas bevindt.
- De minimale verticale spleet tussen de deurtip en de gehele deurkaswand (dus zowel in als loodrecht op de richting sluisas) zo ruim mogelijk houden. De ruimte tussen deur (dat wil zeggen deurbeplating) en deurkas voldoende groot aanhouden.
- Nivelleeropeningen steeds geopend houden tijdens deurbeweging en de spleet onder de deur zo ruim mogelijk maken.

Toepassing van puntdeuren in plaats van een enkele draaideur bij gelijke sluisbreedte en deursnelheid geeft veel kleinere momenten op de deuren en krachten op de schepen. Dit komt omdat puntdeuren veel minder water in beweging brengen en omdat de verticale spleet in de bijna gesloten stand voor puntdeuren steeds groter is dan bij een enkele draaideur (behalve dan in geheel gesloten stand).

11.4 Hydraulische belastingen door externe oorzaken

11.4.1 Inleiding

In deze paragraaf worden sluisdeuren beschouwd die belast worden door externe oorzaken, te weten quasi-statische windgolfbelastingen (par. 11.4.2), translatiegolven van buiten en binnen de sluis (par. 11.4.3) en de waterbeweging door varende schepen (par. 11.4.4).

Voor de windgolven en translatiegolven betreft het de gesloten stand van de deur, of de positie kort na begin openen of kort voor einde sluiten van de deur (kleine deuropening). Bij grote deuropeningen zullen wind- en translatiegolven weinig effect op de deur hebben.

De waterbeweging door varende schepen is van belang voor de deur bij geopende stand, als een schip dicht langs de deur vaart of in gesloten stand als het schip de kolk invaart.

De drie te behandelen belastingtypen (windgolven, translatiegolven en schepen) zullen meestal niet tegelijkertijd optreden. Bij hevige storm zullen de schepen niet extreem hard varen en er zullen geen grote translatiegolven aanwezig zijn. Wel is het mogelijk dat elk van deze drie belastingtypen gelijktijdig optreedt met de belastingen door het initieel verval (par. 11.2) of door de deurbeweging (par. 11.3).

11.4.2 Quasi-statische windgolfbelasting

11.4.2.1 Introductie

In deze paragraaf wordt de quasi-statische windgolfbelasting op de sluisdeur gepresenteerd. Quasi-statisch wil zeggen dat de deur zelf momentaan de extra krachten en momenten veroorzaakt door de windgolven opneemt, maar zonder dynamische effecten. Hierbij breken de golven niet en er treden geen golfklappen op de deur op.

De quasi-statische windgolfbelasting is zowel van belang voor de gesloten als voor de bewegende deur. De gesloten deur wordt ontworpen om de hoogste waterstand en het grootste verval te keren, de windgolfbelasting komt daar nog bovenop. Voor het bewegingswerk is het van belang dat de deur ook tijdens een windgolfbelasting zijn voorgeschreven deurbeweging afmaakt.

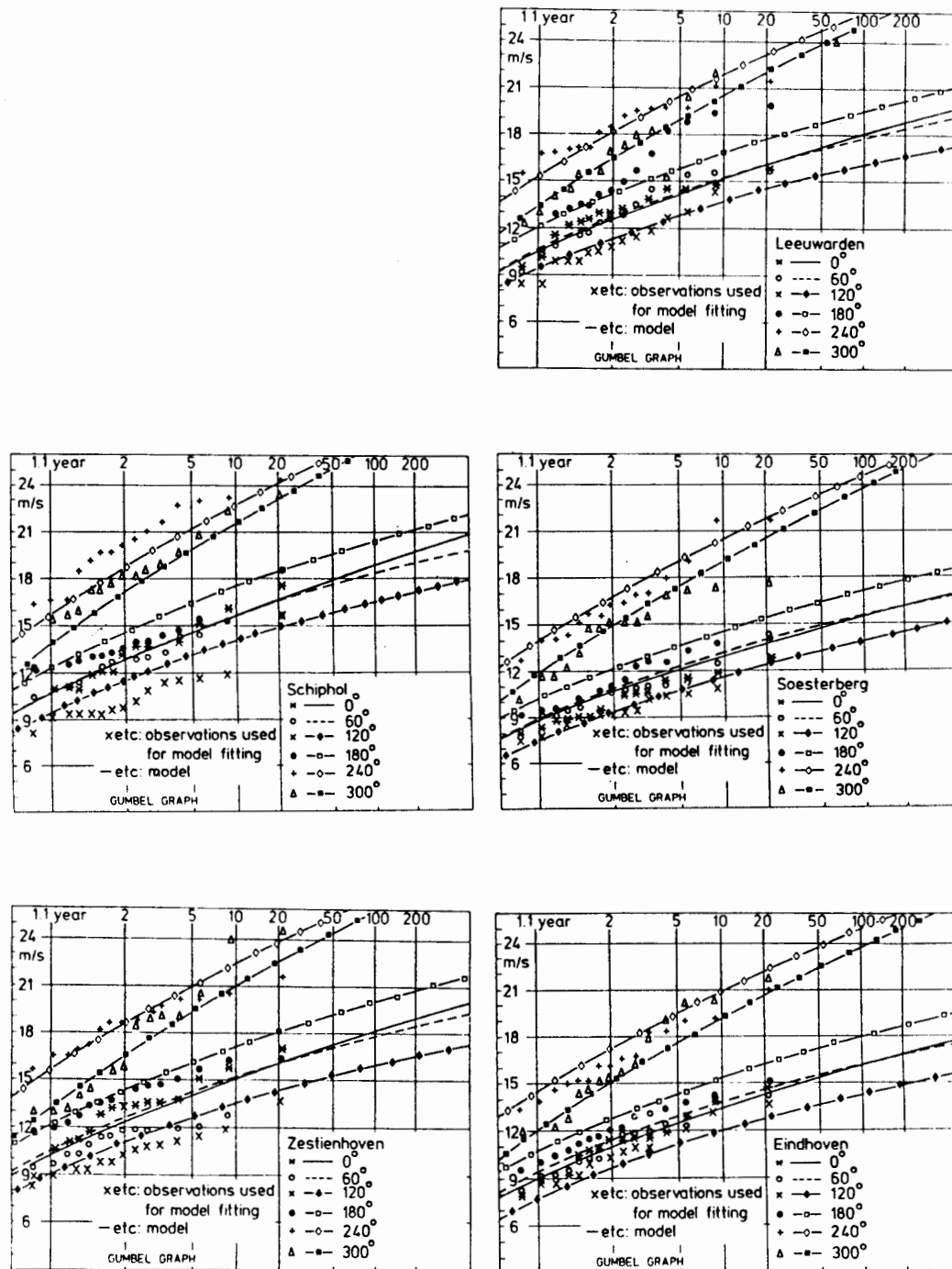
In par. 11.4.2.2 worden de mogelijk optredende windsnelheden vastgesteld. In par. 11.4.2.3 worden de bijbehorende opgewekte golven bepaald. Par. 11.4.2.4 gaat in op de reflectie van windgolven voor een rechte wand en par. 11.4.2.5 bespreekt de speciale aspecten bij een sluis. De uiteindelijke krachten en momenten op de deur worden in par. 11.4.2.6 behandeld. Appendix 11.1 geeft een voorbeeldberekening.

11.4.2.2 Windsnelheid

De opwekking van windgolven hangt af van de windsnelheid en -richting. In Lit. [11.7] en [11.13] wordt het begrip potentiële, uur-gemiddelde windsnelheid ($= U_p$) gehanteerd. Deze windsnelheid is de windsnelheid, gemeten op 10 m hoogte, boven open terrein zonder obstakels en gemiddeld over een uur. Met behulp van lange reeksen waarnemingen en kansverdelingsfuncties (Rijkoort-Weibull model) zijn extreme waarden van de potentiële, uur-gemiddelde windsnelheden afgeleid. Deze extreme waarden zijn een functie van de windrichting, de locatie en (uiteraard) de kans van voorkomen. De figuren 11.29 t/m 11.33 zijn overgenomen uit Lit. [11.7] en geven de potentiële, uur-gemiddelde windsnelheid U_p als functie van de kans van voorkomen voor diverse windrichtingen en locaties in Nederland. De 240° (ongeveer WZW) windrichting levert de hoogste windsnelheden. Voor kustlocaties wordt verwezen naar Lit. [11.7] en [11.11].

De snelheidsprofielen van de wind hangen samen met de ruwheid van het terrein. Omrekening naar de ruwheid van het te onderzoeken terrein is daarom noodzakelijk. De classificatie van terreinruwheid loopt in oplopende ruwheid van 1 tot 8. Klasse 1 (zee) geldt voor open zee of meer, klasse 2 (glad) voor wad- of vlakke zonder begroeiing of obstakels, klasse 3 (open) voor open terrein zonder obstakels. Voor klasse 1

geldt voor de windsnelheid op 10 m hoogte $U_{10} = 1,12 U_p$, voor klasse 2 is $U_{10} = 1,06 U_p$ en voor klasse 3 is $U_{10} = U_p$.



Figuur 11.29 t/m 11.33 Extreme, uurgemiddelde windsnelheid voor 5 locaties, Naar Rijkoort, 1983, KNMI

In voorhavens van schutsluizen gelden voor de uur-gemiddelde windsnelheid meestal de klassen 1 en 2 van terreinruwheid. In een te onderzoeken situatie worden om de windsnelheid U_{10} te berekenen de volgende zaken bepaald: de meest overeenkomende locatie (fig. 11.29 t/m 11.33), de hoofdrichting van de voorhaven, de terreinruwheid en de kans van optreden. Voor windgolven die optreden tijdens het bewegen van de sluisdeur kan (bijvoorbeeld) gekozen worden voor een kans van één in de 5 jaar, voor de gesloten sluisdeur één in de 50 jaar.

11.4.2.3 Golfopwekking

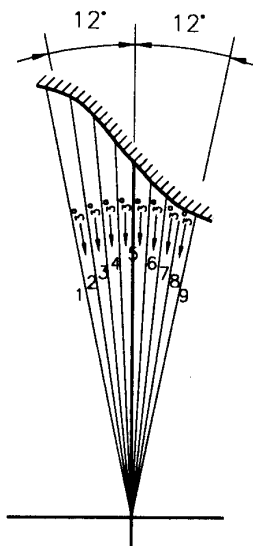
Windgolven ontstaan doordat de wind langs het wateroppervlak strijkt en dit in beweging brengt. Initieel ontstaan er rimpelingen in het water door wrijving van de wind over het water. Wanneer zich kleine golfjes gevormd hebben gaat de golfvorm een rol spelen in het opwekkingsproces doordat aan de loefzijde van de golf een overdruk en aan de lijzijde een onderdruk ontstaat. De golfhoogte neemt toe en ook de golflengte en -periode. De periode van windgolven ligt in het gebied tot ca. 10 s; op binnenwateren met een beperkte strijklengte (Nederlandse situatie) is deze periode veelal niet groter dan 3 à 5 s.

Bij windgolven wordt het begrip significante golfhoogte gebruikt. De significante golfhoogte is de topdal waarde van een golf met een nuldoorgang ertussen die het golfveld karakteriseert. Deze golf heeft een hoogte die gelijk is aan het gemiddelde van het hoogste 1/3 deel van de golfhoogten. Bij aanname van een Rayleigh-verdeling van de golven wordt de significante golfhoogte door ongeveer 13,5% van de golven overschreden. Een golf die 1,5 keer hoger is dan de significante golfhoogte wordt door ongeveer 1% van de golven overschreden. Gebruikelijk is zowel de significante golfhoogte als de golfhoogte gelijk aan 1,5 x de significante golfhoogte te hanteren voor de berekeningen van de belastingen.

Hoogte, lengte en periode van de opgewekte golven worden bepaald door een aantal factoren. Deze factoren zijn het beschouwde gebied waar de golven opgewekt worden, de windsnelheid, de lengte waarover de wind aangrijpt (zgn. strijklengte), de waterdiepte en de duur van de storm. Wat de duur van de storm betreft wordt ervan uitgegaan dat voor sluizen de gebieden waar de golven worden opgewekt zo beperkt zijn, dat de golven volledig tot wasdom komen.

Bij sluizen is een aantal gebieden te traceren waar golfopwekking door de wind kan plaatsvinden. Sluit een sluis aan op een voorhaven en een kanaal, dan vindt de golfvorming vooral plaats in de voorhaven. Sluit een voorhaven aan op een wijd watergebied, dan kan in dit wijde gebied golfvorming plaatsvinden. De golven zullen indirect naar de voorhaven en de sluis doordringen. In een geheel open gebied voor de sluis (geen beschutting van een voorhaven) vindt de golfvorming in dit open gebied tot aan de sluis plaats.

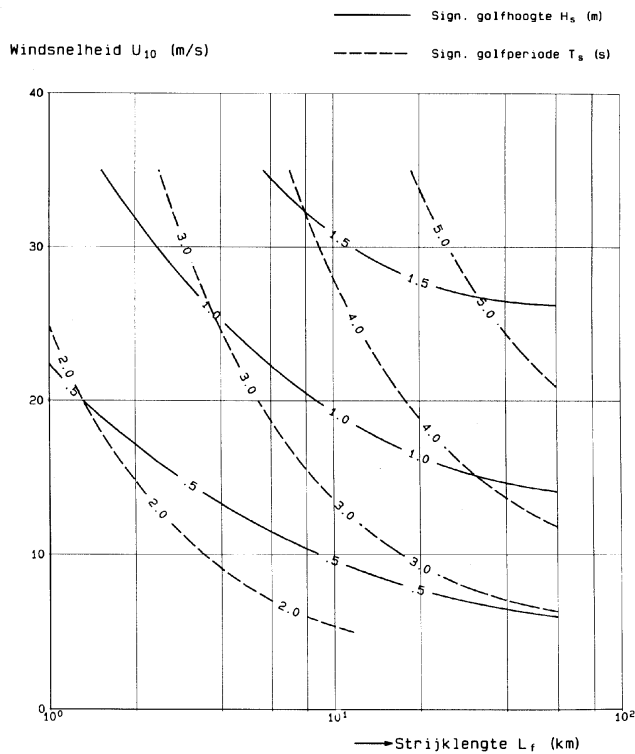
Eén of meerdere windrichtingen zullen samenvallen met de hoofdrichtingen van het gebied waar de golven worden opgewekt. Met de gegevens van par. 11.4.2.2 kan de uur-gemiddelde windsnelheid op 10 m hoogte (U_{10}) met een bepaalde kans van optreden afgeleid worden.



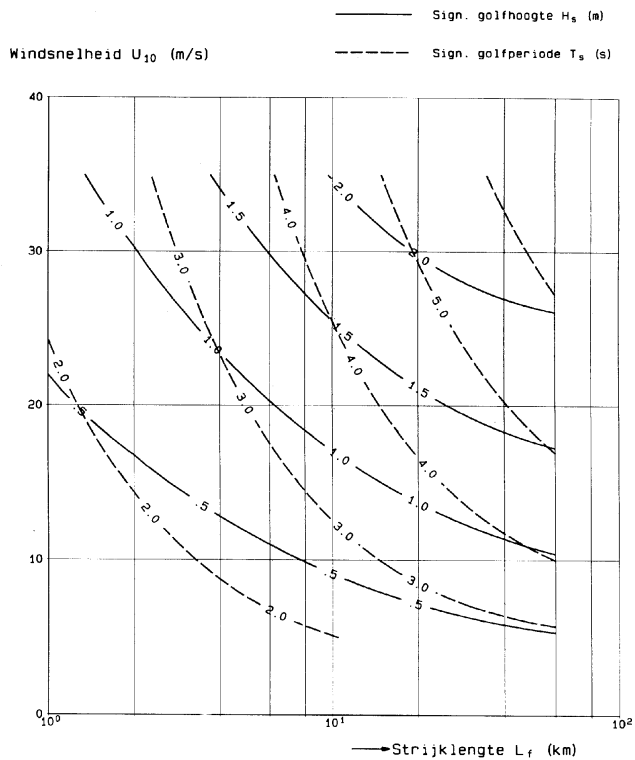
Figuur 11.34 Voorbeeld strijklengte

De strijklengte van de wind (fig. 11.34) wordt bepaald uit de geometrie van het gebied en de windrichting(-en) en wordt uitgedrukt in m. Er worden 9 radialen vanaf het beschouwde punt getrokken met intervallen van 3°; de middelste radiaal is de hoofdrichting, 4 radialen liggen links en 4 radialen liggen rechts hiervan. De lengte van elke radiaal is de afstand van het beschouwde punt tot waar de radiaal de oever snijdt. De strijklengte L_f is het gemiddelde van de 9 radialen.

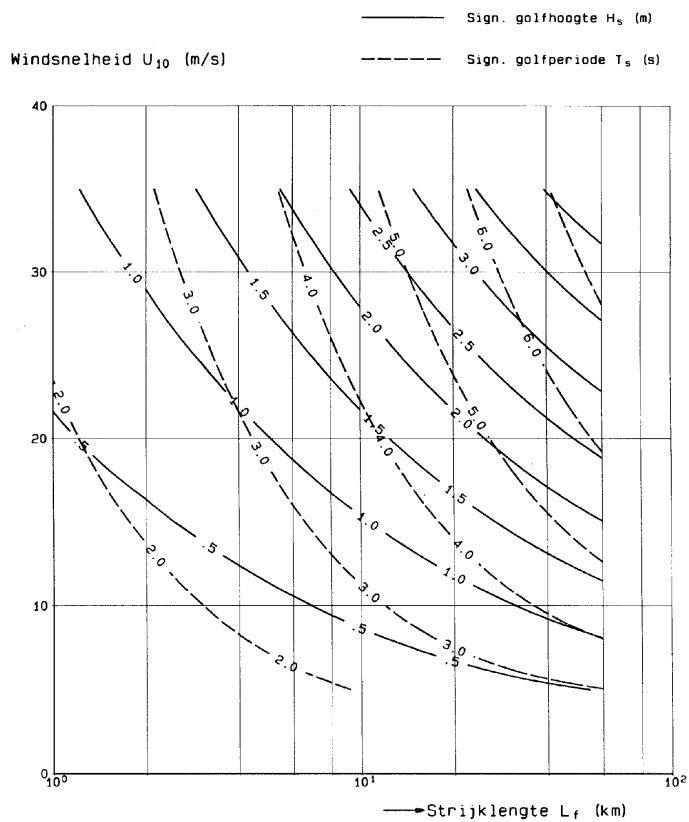
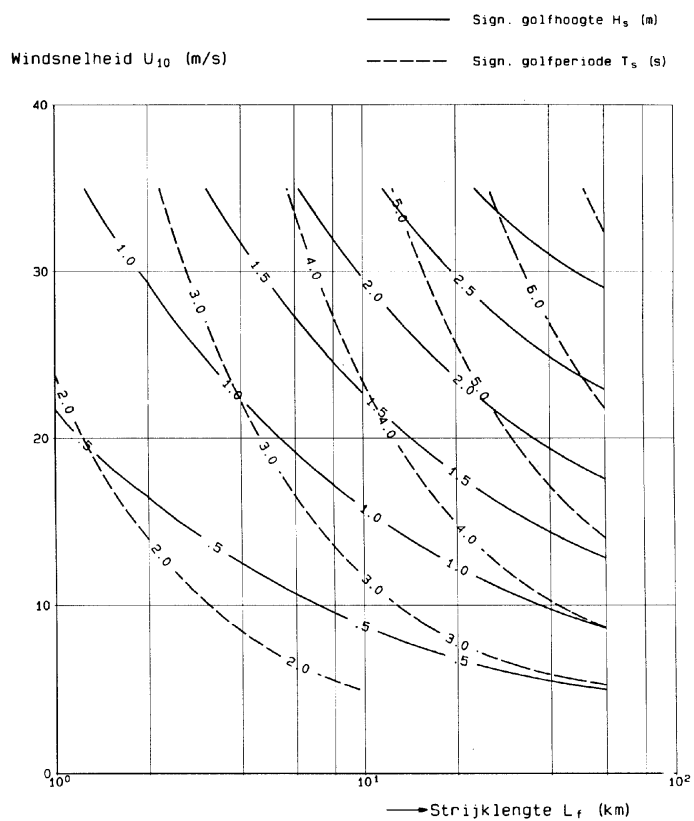
Uit de windsnelheid en de strijklengte kan met behulp van de figuren 11.35 t/m 11.38 (bewerking van Lit. [11.13]) de significante golfhoogte H_s en -periode T_s worden afgeleid voor waterdiepten van 4, 6, 10 en 15 m. Genoemde methode geeft een betrouwbare schatting voor de golfvorming, hoewel zonder rekening te houden met invloeden zoals variërende bodemruwheid, variabele bodemligging, refractie (bijdraaien golfkammen door variërende bodemligging) en breking op ondiepten. Naarmate de waterdiepte en/of strijklengte en/of windsnelheid toenemen, nemen de significante golfhoogte en -periode ook toe.



Waterdiepte 4 m.



Waterdiepte 6 m



Figuur 11.35 t/m 11.38 Significante golfhoogte en -periode als functie van strijklengte en waterdiepte

Met fig. 11.39 kan met de gevonden periode T_s en de gemiddelde waterdiepte d , de golflengte L_s bepaald worden. De golflengte neemt toe met het groter worden van de golfperiode en/of de waterdiepte. De voortplantingssnelheid van de golven is gelijk aan $c_s = L_s / T_s$.

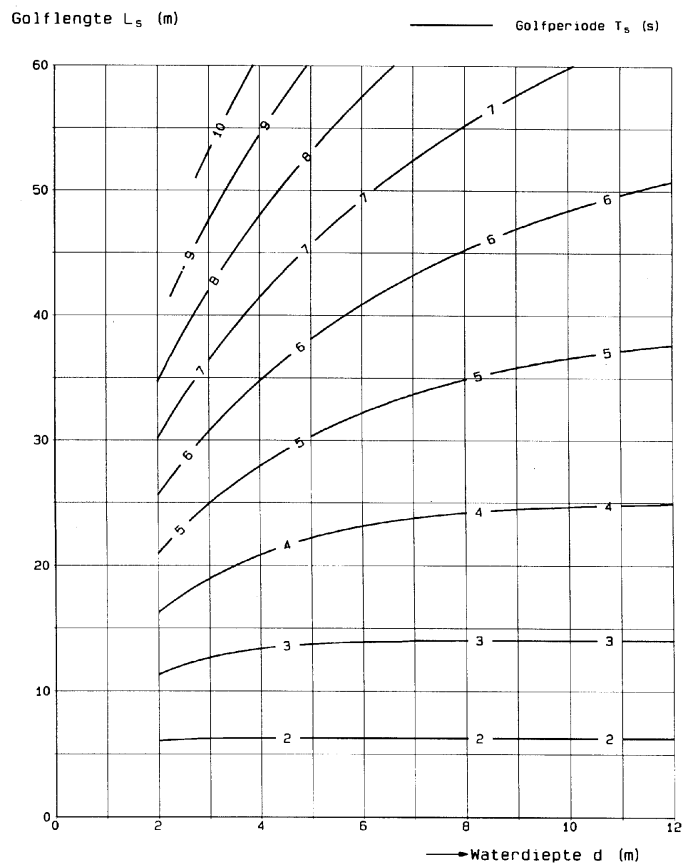
Wat de waterdiepte in de voorhaven betreft, er moet rekening gehouden worden met verhoogde gemiddelde waterstanden door de wind.

Ligt de sluis nabij de kust dan moet voor de gemiddelde waterstand van het gebied waar de golven opgewekt worden, rekening gehouden worden met de stormvloedstand en (eventueel) seiches die het bekken binnenlopen.

In afgesloten bekken (zoals meren) kan door de schuifspanning van de wind over het water sprake zijn van een windopzet. Als vuistregel voor de maximumwindopzet voor een afgesloten bekken is in Lit. [11.13] de volgende formule gegeven:

$$\Delta S = C U_{10}^2 L_f / d \quad (11.25)$$

waarin:	ΔS	= windopzet (verschil tussen beide oevers)	[m]
	U_{10}	= windsnelheid	[m/s]
	L_f	= lengte bekken = strijlengte	[m]
	d	= waterdiepte	[m]
	C	= coëfficiënt = $3,5 \cdot 10^{-7}$	[s ² /m]

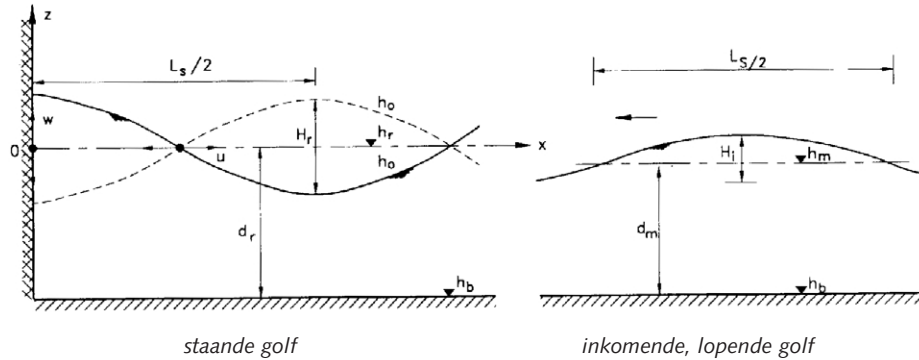


Figuur 11.39 Golflengte als functie van waterdiepte en golfperiode

11.4.2.4 Windgolven voor een rechte wand

Wanneer regelmatige golven tegen een gesloten, verticale wand in de richting loodrecht op deze wand lopen, dan ontstaat, mits de golven niet breken, door reflectie een staande golf voor de wand (fig.

11.40). Hierbij is een regelmatig patroon van knopen (plaatsen zonder verticale waterbeweging) en buiken (plaatsen met maximale verticale bewegingen) aanwezig; ter plaatse van de wand is een buik. Op open water is de golfhoogte van de staande golf ongeveer het dubbele van de inkomende golf, de golfperiode en de golflengte wijzigen hierbij niet. Tevens verhoogt na langere tijd het gemiddeld niveau van de golven ten opzichte van de oorspronkelijke gemiddelde waterstand door de concentratie van energie nabij de wand.



Figuur 11.40 Situatie van een staande golf voor rechte wand

De golfhoogte na reflectie tegen de rechte wand is (fig. 11.40):

$$H_{rr} = (1 + C_r) H_i \quad (11.26)$$

waarin:	H_{rr}	= golfhoogte na reflectie rechte wand (dubbelamplitude)	[m]
	C_r	= reflectie-coëfficiënt	[-]
	H_i	= inkomende golfhoogte (dubbelamplitude)	[m]

De inkomende golf H_i is de golf die in par. 11.4.2.3 is beschreven en kan bijvoorbeeld gelijk zijn aan 1 of 1,5 keer de significante golfhoogte H_s . De reflectiecoëfficiënt is voor een rechte wand bijvoorbeeld 1 of 0,9. Aangeraden wordt deze coëfficiënt voor een rechte wand nooit lager dan 0,9 te nemen, tenzij er golfoverslag is.

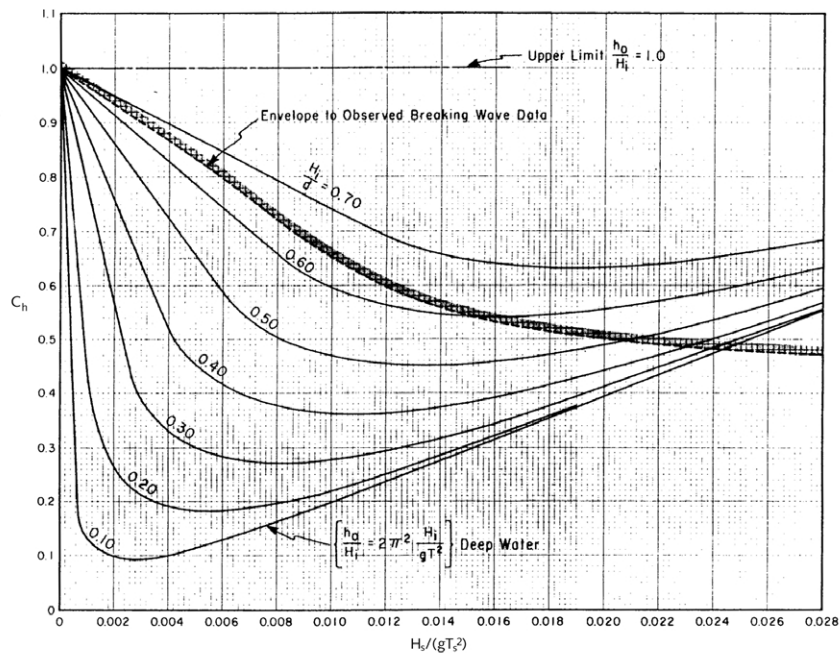
De gemiddelde waterstand en waterdiepte na reflectie zijn:

$$h_r = h_m + C_h H_s \quad (11.27)$$

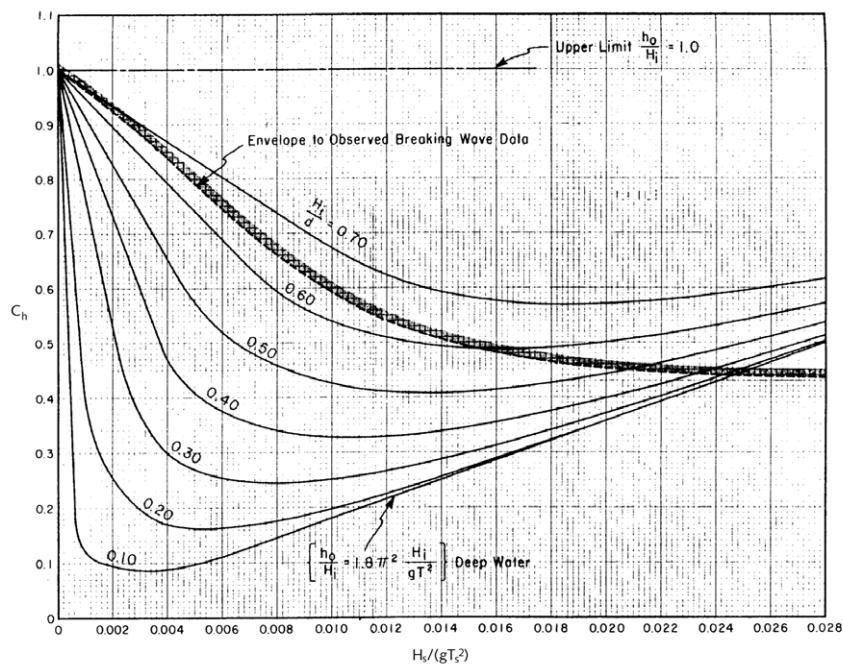
$$d_r = d_m + C_h H_s \quad (11.28)$$

waarin:	h_r	= gemiddelde waterstand na reflectie	[m NAP]
	h_m	= gemiddelde waterstand voor reflectie	[m NAP]
	C_h	= coëfficiënt verhoging waterstand	[-]
	d_r	= gemiddelde waterdiepte na reflectie	[m]
	d_m	= $h_m - z_b$ = gemiddelde waterdiepte voor reflectie	[m]
	z_b	= niveau bodem	[m NAP]
	H_s	= significante golfhoogte (dubbelamplitude)	[m]

De gemiddelde waterstandsverhoging is afhankelijk van de inkomende golfhoogte, de golfperiode, de waterdiepte en de reflectiecoëfficiënt. Voor de inkomende golf wordt steeds de significante golfhoogte genomen aangezien deze de waterstandsverhoging bepaalt. Uit Lit.[11.7] zijn de figuren 11.41 en 11.42 overgenomen voor $C_r = 1$ resp. $C_r = 0,9$. Deze figuren leveren de coëfficiënt C_h als functie van het $H_s/(gT_s^2)$ voor diverse waarden van H_s/d_m .



Figuur 11.41 Coëfficiënt verhoging waterstand, $C_r = 1,0$



Figuur 11.42 Coëfficiënt verhoging waterstand, $C_r = 0,9$

De grootte H/L wordt de steilheid van de golven genoemd; de steilheid heeft een bovengrens. Boven die grens breken de golven. Bij het voorgaande wordt er impliciet vanuit gegaan dat de staande golven voor de wand niet breken. In Lit. [11.1] staat als voorwaarde voor het niet-breken van een staande golf voor een wand:

$$H_i < 0,20 \tanh(2\pi d_r/L_s) L_s \quad (11.29)$$

In diep water ($d_r/L_s > 0,5$) reduceert deze niet-breken voorwaarde tot $H_i < 0,20 L_s$, in ondiep water ($d_r/L_s < 0,05$) reduceert dit tot $H_i < 1,25 d_r$.

11.4.2.5 Invloed diverse aspecten op de golfhoogte voor sluisdeuren

In de vorige paragraaf zijn de golfhoogten behandeld van een geheel open situatie voor een rechte wand met loodrecht invallende, regelmatige golven. Dit ideaal-beeld treedt meestal niet op. De sluisdeur ligt teruggelegen ten opzichte van het front van de sluis. De sluis sluit veelal op een fuikvormig stuk kanaal aan. De golven zullen niet altijd loodrecht invallen. Er treedt richtingspreiding van de golven op. Al deze zaken beïnvloeden de voor de deuren optredende golfhoogten.

Het WL-rekenprogramma PHAROS berekent voor een bepaalde inkomende golf met een aangenomen richting de golfdoordringing in een gebied met willekeurige, gegeven vorm. Dit levert de golfhoogten in het gebied zelf en aan de randen hiervan op. Voor de bepaling van de golfdoordringing in het gebied voor een sluisdeur is in Lit. [11.11] gebruik gemaakt van dit rekenprogramma. Hierbij zijn onder meer de geometrie van het gebied voor de sluisdeuren, de golfperiode en de richting van de inkomende golven gevarieerd. Tevens staan in Lit. [11.11] resultaten vermeld die - met de nodige voorzichtigheid - ook algemener toepasbaar zijn op de situatie voor de sluisdeuren. Bij gecompliceerde situaties voor een sluis of bij hoge golven zijn echter altijd afzonderlijke PHAROS-berekeningen nodig.

Om de invloed van diverse aspecten in rekening te brengen, wordt de golfhoogte na reflectie tegen een rechte wand (H_{rr} , vergelijking (11.26) uit par. 11.4.2.4) vermenigvuldigd met een aantal coëfficiënten om de echte golfhoogte voor de deur te verkrijgen. Deze coëfficiënten zijn bepaald uit de resultaten van de PHAROS-berekeningen. De golfhoogte voor de deur wordt als volgt uitgedrukt:

$$H_r = C_{gg} C_{kl} C_{si} H_{rr} \quad (11.30)$$

waarin:	H_r	= golfhoogte na reflectie sluisdeur (dubbelamplitude)	[m]
	C_{gg}	= coëfficiënt geometrie gebied	[-]
	C_{kl}	= coëfficiënt voor kamlengte	[-]
	C_{si}	= coëfficiënt voor scheve golfval	[-]
	H_{rr}	= golfhoogte na reflectie rechte wand (dubbelamplitude)	[m]

Over de diverse aspecten en coëfficiënten kan het volgende worden gezegd.

a Geometrie gebied voor de sluis

De golfhoogten voor de deur (en krachten op de deur) nemen door een fuikvormige toegang (uitgevoerd met gesloten wanden) onder 1:5 naar de sluis met 35 % toe ten opzichte van een rechte wand. Fuikvormige remmingwerken bestaande uit drijvende, horizontale, buisvormige liggers en aangehangen schorten zullen de golfhoogten bij de deur eveneens doen vergroten. Dit geeft:

$$\begin{aligned} C_{gg} &= 1,00 \text{ (geen fuik)} \\ C_{gg} &= 1,20 \text{ (geschat, met half-open, fuikvormige remmingwerken)} \\ C_{gg} &= 1,35 \text{ (met gesloten fuik)} \end{aligned}$$

b Kamlengte / richtingspreiding

De golflengte komt ongeveer overeen met de kamlengte. Bij een golflengte die overeenkomt met de breedte van de slusingang treedt geen reductie van de golfhoogte voor de deur (en de kracht) op. Bij een golflengte gelijk aan de halve breedte van de slusingang wordt de kracht met minimaal 30% gereduceerd. Dit geeft:

$$C_{kl} = (0,6 * L_s / b_k + 0,4) \text{ en } 0,7 < C_{kl} < 1,0 \quad (11.31)$$

waarin:	C_{kl}	= coëfficiënt voor kamlengte	[-]
	b_k	= breedte slusingang	[m]
	L_s	= lengte significante golf	[m]

c Scheve golfinval

Bij scheve golfinval en een golflengte die overeenkomt met de halve breedte van de sluisopening verandert de kracht niet ten opzichte van de golfinval evenwijdig aan de sluisas. Bij een golflengte die gelijk is aan de breedte van de sluisopening, neemt de kracht (en de gemiddelde golfhoogte voor de deur) met maximaal 30% toe. Dit geeft een coëfficiënt die betrokken wordt op de inkomende golfhoogte:

$$\begin{aligned} C_{si} &= 1,0 \quad (\text{golfinval evenwijdig sluisas}) \\ C_{si} &= (-0,6 b_k/L_s + 1,6) \quad \text{en} \quad 1,0 < C_{si} < 1,3 \quad (\text{golfinval } 30^\circ) \end{aligned} \quad (11.32)$$

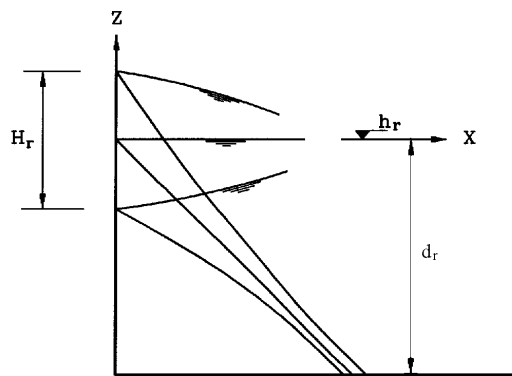
De gemiddelde waterstand (h_r) en waterdiepte (d_r) voor de sluisdeur na reflectie zijn overeenkomstig de vergelijkingen (11.27) en (11.28) uit par. 11.4.2.4.

11.4.2.6 Horizontale kracht en moment op de deur

Een x, z-assenstelsel wordt aangenomen met x als horizontale coördinaat, z als verticale coördinaat en met als oorsprong de gemiddelde waterstand h_r bij de deur. De druk in de golf kan bij toepassing van de lineaire golftheorie als functie van x, z en t beschreven worden (Lit. [11.5], fig. 11.43):

$$p = -\rho g z + \frac{\rho g H_r \cosh(k(d_r+z)) \cos(\omega t) \cos(kx)}{2 \cosh(kd_r)} \quad (11.33)$$

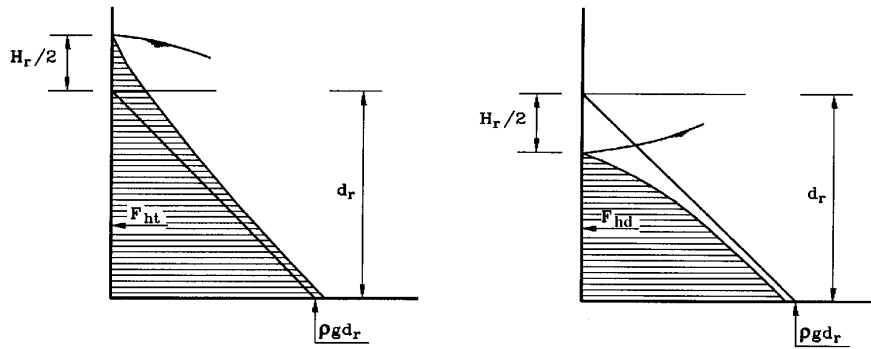
waarin:	p	= druk	[N/m ²]
	ρ	= dichtheid water	[kg/m ³]
	z	= hoogte beschouwd punt ten opzichte van gemiddelde waterstand h_r	[m]
	H_r	= golfhoogte na reflectie sluisdeur (dubbelamplitude)	[m]
	k	= $2\pi/L_s$	[1/m]
	ω	= $\sqrt{g k \tanh(k d_r)}$ = golffrequentie	[1/s]
	d_r	= waterdiepte	[m]
	t	= tijd	[s]
	x	= horizontale afstand beschouwd van punt tot wand	[m]



Figuur 11.43 Drukverloop in een staande golf voor een deur

Door de tweede term in vergelijking (11.33) plant de druk zich niet-lineair naar beneden toe voort. De invloed van deze term neemt naar beneden toe af.

De kracht op de deur kan worden bepaald door integratie van de druk volgens vergelijking (11.33) over het deuroppeervlak met $x = 0$. De periode van de kracht komt overeen met die van de golfperiode (fig. 11.44).



Figuur 11.44 Kracht op de deur

De eenzijdige kracht op de deur bij de golftop en het golfdal wordt als volgt gedefinieerd (NB. Aan de andere zijde van de deur is geen waterdruk aangehouden):

$$F_{ht} = 1/2 C_{ht} \rho g d_r^2 l_d \quad (11.34)$$

$$F_{hd} = 1/2 C_{hd} \rho g d_r^2 l_d \quad (11.35)$$

waarin:	F_{ht}	= (eenzijdige) horizontale kracht op deur bij golftop	[N]
	F_{hd}	= (eenzijdige) horizontale kracht op deur bij golfdal	[N]
	C_{ht}	= krachtcoëfficiënt bij golftop	[-]
	C_{hd}	= krachtcoëfficiënt bij golfdal	[-]
	d_r	= gemiddelde waterdiepte na reflectie	[m]
		= $h_r - z_d$	
	h_r	= gemiddelde waterstand na reflectie	[m NAP]
	z_b	= niveau bodem = niveau onderkant deur	[m NAP]
	l_d	= lengte deur	[m]
	ρ	= soortelijke massa water	[kg/m ³]

Aangenomen is hierbij dat de onderkant van de deur samenvalt met de bodem. In fig. 11.45 zijn de kracht-coëfficiënten voor de golftop (C_{ht}) en voor het golfdal (C_{hd}) als functie van $H_r/(gT_s^2)$ voor diverse waarden van H_r/d_r uitgezet.

De krachtcoëfficiënt drukt de verhouding uit tussen de horizontale kracht volgens de lineaire golftheorie en de hydrostatische kracht op de deur bij de gemiddelde waterstand na reflectie. Voor het golfdal is de kracht-coëfficiënt altijd kleiner dan 1, voor de golftop is deze altijd groter dan 1. Wanneer de waterpiegel boven de bovenkant van de deur kan reiken zodat golven over de deur slaan, wordt de bovenste driehoek van de drukfiguur als een hydrostatische kracht afgetrokken.

Voor de berekening van het moment op de deur ten opzichte van de draaiingsas wordt veiligheidshalve ervan uitgegaan dat de resultante van de kracht zich halverwege de deurlengte bevindt. Bovendien wordt bij de momentberekening de situatie beschreven kort voor begin openen of kort voor einde sluiten, wanneer de deur vrijwel gesloten is. Dit geeft:

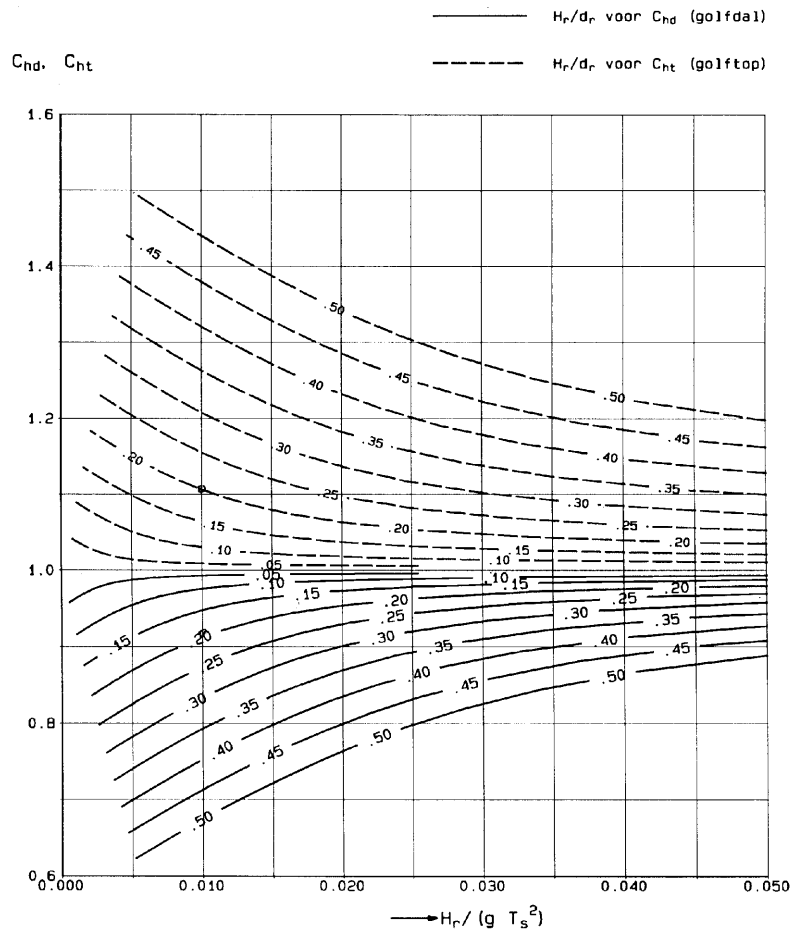
$$M_{ht} = 1/4 C_{ht} \rho g d_r^2 l_d^2 \quad (11.36)$$

$$M_{hd} = 1/4 C_{hd} \rho g d_r^2 l_d^2 \quad (11.37)$$

waarin:	M_{ht}	= (eenzijdig) moment op deur bij golftop	[Nm]
	M_{hd}	= (eenzijdig) moment op deur bij golfdal	[Nm]

Voor een gedeeltelijk geopende deur liggen de (eenzijdige) momenten en krachten op de deur bij golftop en -dal dicht bij elkaar. Dit wordt hier echter niet verder behandeld.

Appendix 12.1 geeft een voorbeeldberekening van de quasi-statische windgolfbelasting.



Figuur 11.45 Coëfficiënt horizontale kracht volgens lineaire golftheorie

11.4.3 Translatiegolven

11.4.3.1 Translatiegolven van buiten de sluis

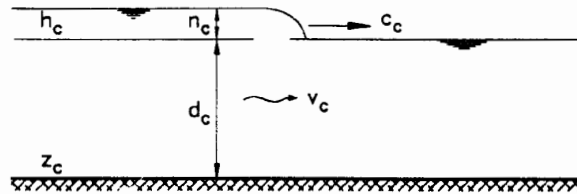
Translatiegolven zijn éédimensionale golven die gepaard gaan met een netto watertransport. Deze golven ontstaan wanneer in korte of langere tijd een hoeveelheid water bijvoorbeeld op een kanaalpand terecht komt of eraan onttrokken wordt. De drukverdeling in de verticaal kan bij de passage van een translatiegolf hydrostatisch aangenomen worden. Vanuit het pand bereiken de translatiegolven de voorhaven met de sluis. Belangrijk is hierbij de steilheid van het front van de golf. De oorzaken van translatiegolven zijn bijvoorbeeld:

- vullen of ledigen van een sluis bij het andere kanaaleind;
- vullen of ledigen van een naastgelegen sluis;
- regelen van stuwen of spuisluizen, aan- of afslaan van gemalen of waterkrachtcentrales en dergelijke;
- seiches in half-open bekkens nabij zee;
- passage van schepen in nabij gelegen kruisingen van de vaarweg met bijbehorende waterspiegelverlagingen met boeg- en hekgolf.

Wanneer een of meerdere van de bovenstaande situaties zich voordoen, zal voor die gevallen het debiet in het pand geschat moeten worden. Naast het maximumdebiet is ook de op- en afbouw van dit debiet (oftewel het debiet als functie van de tijd of $Q = f(t)$) van groot belang.

Veelal is het pand gecompliceerd van vorm (bijvoorbeeld aansluiting op rivier, vertakkingen, kruisingen, zijhavens, discontinuïteiten), de golfvorm is ingewikkeld of de golfhoogte is erg groot. In dat geval is het noodzakelijk om met een ééndimensionaal waterbewegingsmodel (SOBEK, Lit. [11.16]) de golfhoogtes in de voorhaven nabij de sluis door een deskundige te laten berekenen.

Voor eenvoudige geometrische situaties is het wel mogelijk handmatig een schatting te geven.



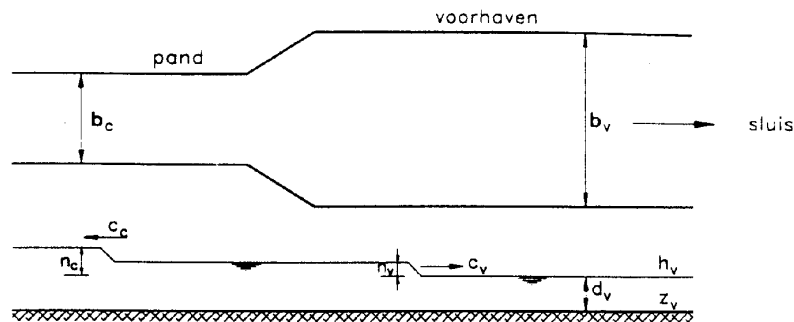
Figuur 11.46 Translatiegolf (geschematiseerd, normaliter is het front veel flauwer)

De golfhoogte in een rechthoekig, prismatisch kanaalpand is bij het gegeven debiet als volgt te bepalen (met verwaarlozing van de wrijving en eventueel permanentie-stroming, fig. 11.46):

$$\eta_c = Q / (b_c c_c) \quad (11.38)$$

waarin:	η_c	= golfhoogte in pand	[m]
	Q	= debiet	[m ³ /s]
	b_c	= breedte pand	[m]
	c_c	= voortplantingsnelheid golf in pand	[m/s]
		= $\sqrt{(g d_c)}$	
	d_c	= waterdiepte pand	[m]
		= $h_c - z_c$	
	h_c	= waterstand pand	[m NAP]
	z_c	= bodemniveau pand	[m NAP]

Het debiet Q is hierbij een invoergegeven als functie van tijd.



Figuur 11.47 Overgang pand / voorhaven

Sluit het pand aan op een bredere of diepere voorhaven voor de sluis, dan zal de golfhoogte in de voorhaven afnemen (fig. 11.47). De inkomende golfhoogte in de voorhaven kan als volgt worden geschat:

$$\eta_v = \eta_c (2 b_c c_c) / (b_c c_c + b_v c_v) \quad (11.39)$$

waarin:	η_v	= inkomende golfhoogte in voorhaven	[m]
	b_v	= breedte voorhaven	[m]
	c_v	= voortplantingssnelheid golf in voorhaven	[m/s]
		= $\sqrt{(g d_v)}$	
	d_v	= waterdiepte voorhaven	[m]

	$= h_v - z_v$	
h_v	= waterstand voorhaven	[m NAP]
z_v	= bodemniveau voorhaven	[m NAP]

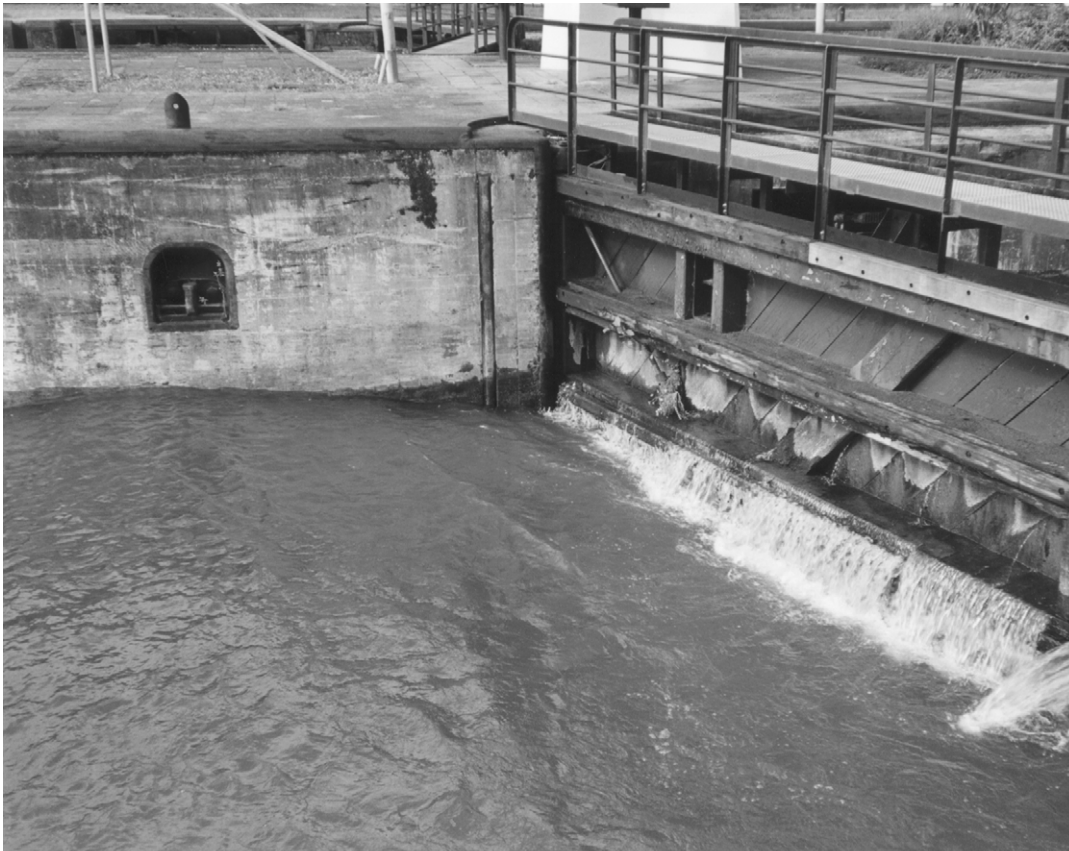


Foto 11.6 Golfbelasting op puntdeuren als gevolg van langsvarende schepen en een fuikvormige sluisdoegang (Noordersluis te Utrecht bij kruising Merwedekanaal / Amsterdam-Rijnkanaal)

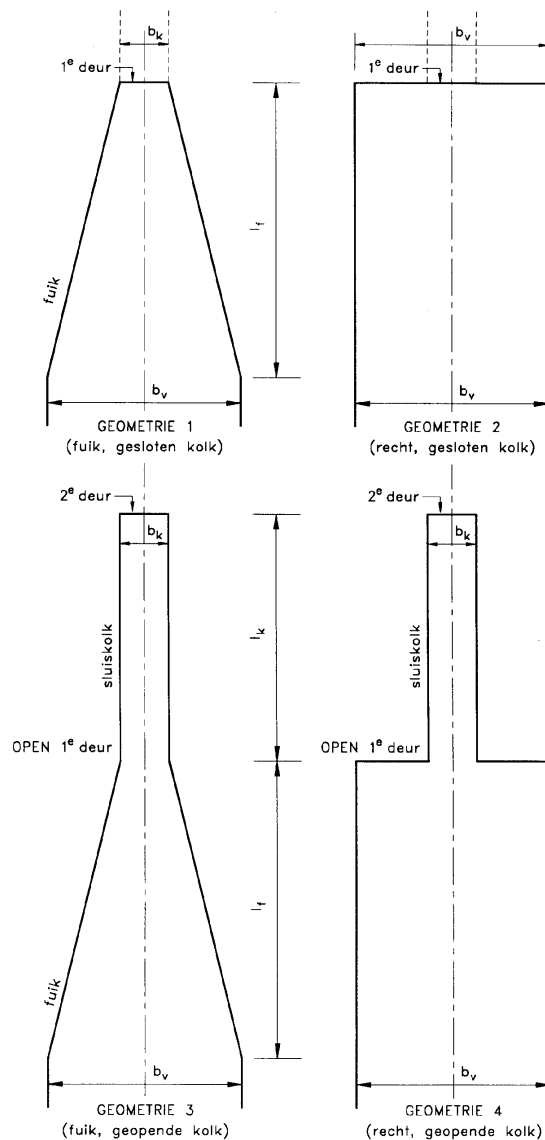
11.4.3.2 Waterstandsveranderingen aan de buitenzijde van de deuren

Translatiegolven kunnen vanuit de voorhaven de sluis bereiken. Wanneer op dat ogenblik de sluisdeuren net geopend worden, kan dit problemen opleveren voor de deurbeweging, aangezien dan een groot moment op de deur werkt. Verder is het denkbaar dat door onverwachte translatiegolven puntdeuren geopend gaan worden.

De vorm van de voorhaven en het feit of de sluiskolk open of dicht staat, bepalen in sterke mate de waterstandsverandering bij de deuren. In fig. 11.48 zijn vier geometrieën geschetst met twee mogelijke voorhaven-vormen en met een gesloten en een geopende sluis met gelijke waterdiepten:

- 1 fuikvormige toegang tot de sluis met gesloten sluiskolk (dichte 1^e deur);
- 2 rechte toegang tot de sluis met gesloten sluiskolk (dichte 1^e deur);
- 3 fuikvormige toegang tot de sluis met geopende sluiskolk (geopende 1^e deur, dichte 2^e deur);
- 4 rechte toegang tot de sluis met geopende sluiskolk (geopende 1^e deur, dichte 2^e deur).

Met "1^e deur" wordt de deur bedoeld die direct grenst aan de beschouwde voorhaven, met "2^e deur" wordt de deur bij de andere voorhaven bedoeld. De wanden van de voorhaven en de kolk zijn verticaal en dicht. Ook de fuikvormige toegang heeft dichte wanden (NB. Een fuikvormig open remmingwerk is geen dichte wand.)



Figuur 11.48 Lay-out voorhavens met aansluitende sluiskolk

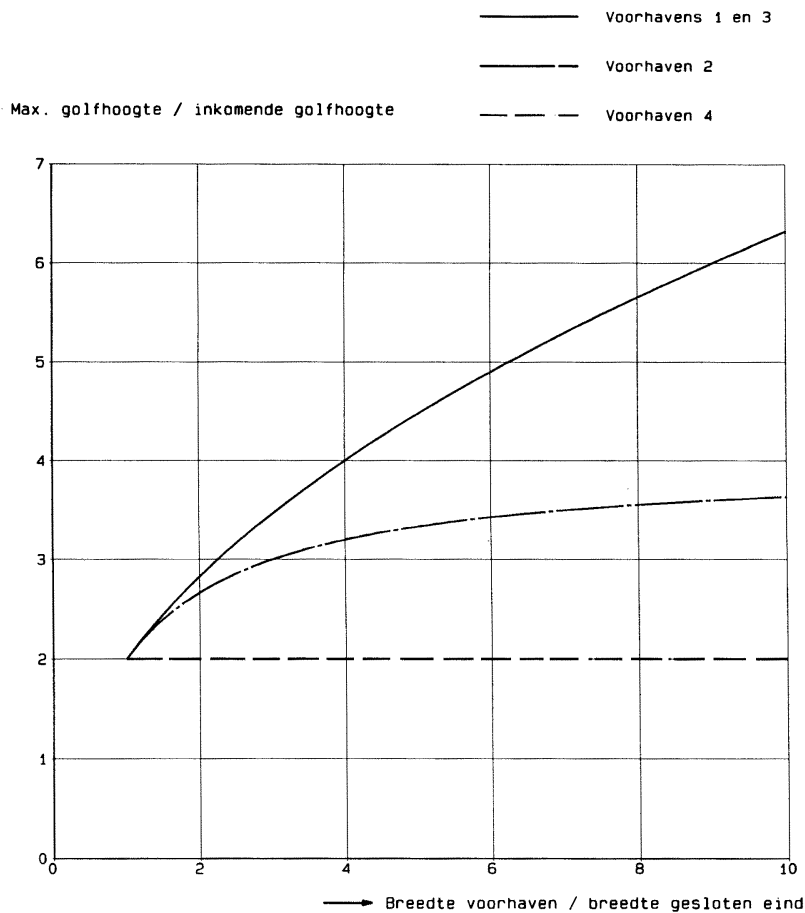
De verhouding van de maximale waterstandsverhoging bij het gesloten eind (dus bij de gesloten deur) en de inkomende golfhoogte, wordt als volgt gesteld:

$$\lambda = \eta_d / \eta_v \quad (11.40)$$

waarin:

λ	= verhouding max. waterstandsverhoging bij gesloten deur en inkomende golfhoogte	[-]
η_d	= maximale waterstandsverhoging bij gesloten deur	[m]
η_v	= inkomende golfhoogte voorhaven	[m]

Bij een translatiegolf met een relatief steil front kan deze verhouding bepaald worden voor de vier geometrieën. De fuikvormige toegang vereist een aparte berekening (Lit. [11.11]). Steil betekent hierbij dat de lengte van het front kort is ten opzichte van de fuiklengte. In fig. 11.49 is de verhouding van maximale waterstandsverhoging en inkomende golfhoogte ($\lambda = \eta_d / \eta_v$) voor de vier geometrieën uitgezet als functie van de verhouding van de breedte van voorhaven en kolk (b_v / b_k). Uit fig. 11.49 blijkt dat vooral bij fuikvormige geometrieën (1 en 3) de verhouding λ toeneemt met de breedteverhouding. Bij fuikvormige voorhavens zijn daarom hogere waterstandsvarianties bij de deur te verwachten dan bij rechte voorhavens.



Figuur 11.49 Verhouding max. waterstandsverhoging gesloten eind en inkomende translatiegolfhoogte

Wanneer de translatiegolf veel uitgerechter is en het front aanzienlijk langer dan de lengte van de fuik, is voor alle geometrieën de verhouding van maximale waterstandsverhoging en inkomende golfhoogte λ gelijk aan 2. De fuikvormige voorhaven geeft hetzelfde resultaat als een rechte voorhaven.

Met het rekenprogramma LOCKGATE4 (Lit.[11.11]) kunnen de waterstandsvariëaties (en dus λ) berekend worden bij de deur bij een willekeurig op te geven vorm van translatiegolf en een van de vier geometrietypen. Een fuik wordt hierbij opgedeeld in een groot aantal stapjes die elk een eigen reflectie leveren.

Voor de fuik met openstaande sluis (geometrie 3) en constante waterdiepte is een eigen periode van de golven te definiëren volgens:

$$T = 2 (l_{fu} + l_k) / c_v \quad (11.41)$$

waarin:	T	= periode	[s]
	l_{fu}	= lengte fuik	[m]
	l_k	= lengte kolk	[m]

Uit berekeningen voor een fuikvormige voorhaven met openstaande sluis (geometrie 3) blijkt het volgende. Is de tijdsduur van de debietvariëaties van het inkomende debiet (zoals benodigde tijd voor de debietopbouw of -afbouw) kleiner dan of gelijk aan de eigen periode voor de fuik met openstaande sluis, dan nemen de waterstandsveranderingen bij de deur duidelijk toe. De factor λ ligt dan tussen 2 en de waarde in fig. 11.49 (geometrie 3). Duurt een debietvariëatie veel langer dan de eigen periode dan nadert λ 2.

Tot slot: De krachten en momenten op de gesloten deuren ten gevolge van de waterstandsveranderingen moeten volgens de hydrostatische beschouwing plaatsvinden (vergelijking (11.1), par. 11.2).

11.4.3.3 Voorbeeld waterstandsvariëaties aan de buitenzijde van de deuren

Het voorbeeld betreft de vier voorhavenvormen van fig. 11.48.

De waterdiepte is constant voor het gehele gebied ($d_v = 4$ m).

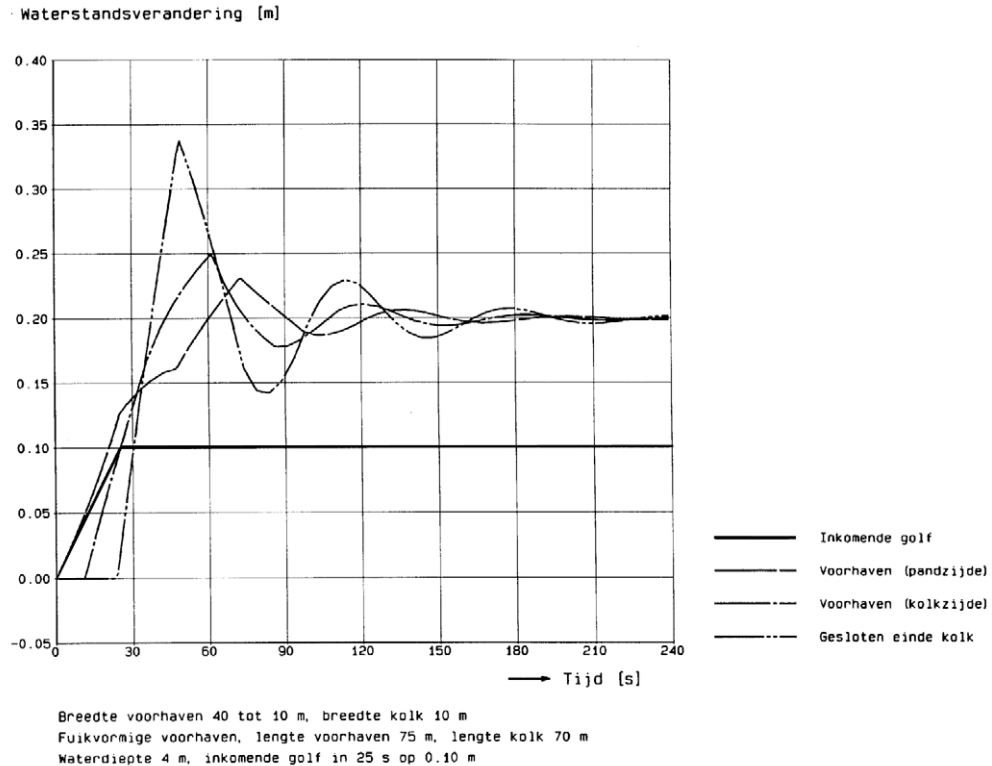
Voor geometrieën 1 en 3 (fui) is de lengte van de fui $l_{fu} = 75$ m (helling 1:5) en varieert de voorhavenbreedte van 40 tot 10 m. Voor geometrieën 2 en 4 (recht) is de voorhavenbreedte constant $b_v = 40$ m.

Voor geometrieën 3 en 4 (aan de voorhavenszijde geopende kolk) is de kolk lengte $l_k = 70$ m en de kolkbreedte $b_k = 10$ m, dit geeft $b_v/b_k = 4$.

Geometrie	Waterstandsverhoging η_d bij gesloten deur [m]	
	front als sprong	front langgerekt
1	0,40	0,20
2	0,20	0,20
3	0,40	0,20
4	0,32	0,20

Het inkomende debiet $Q = 25$ m³/s geeft een inkomende golfhoogte van $\eta_v = Q / (b_v c_v) = 0,10$ m. Het front is of een sprongfunctie ($Q = 0$ tot 25 m³/s in enkele s) of is zeer langgerekt ($Q = 0$ tot 25 m³/s in 1000 s). Volgens fig. 11.49 zijn dan de maximale waterstandsverhogingen die bij het gesloten eind (gesloten deur) bereikt worden:

In fig. 11.50 zijn de waterspiegelvariëaties uitgezet voor geometrie 3 uit genoemd voorbeeld maar dan met een debietopbouw van $Q = 0$ tot 25 m³/s in 25 s. Het front is dan 157 m lang ($c_v t = 6,25 \times 25$). De maximale waterspiegelverhoging bij de gesloten deur is $\eta_d = 0,33$ m.



Figuur 11.50 Waterstandsveranderingen bij fuihvormige voorhaven met geopende kolk

11.4.3.4 Translatiegolven aan de kolkzijde van de deuren

Door het niet-permanente karakter van het debiet door de openingen tijdens het vullen of ledigen worden translatiegolven bij deze openingen gegenereerd die zich voortplanten in de kolk. De golven reflecteren volledig tegen de deuren van de beide kolkeinden en gedeeltelijk tegen de boeg en het hek van het schip. Door de blokkering van het dwarsprofiel door het schip, neemt de golfsnelheid naast het schip af ten opzichte van het dwarsprofiel zonder schip. Als gevolg daarvan zal de golfhoogte naast het schip toenemen. De waterspiegel krijgt door de translatiegolven in langsrichting van de kolk een oscillerende beweging in de eigen periode van de kolk. (Lit. [11.11]).

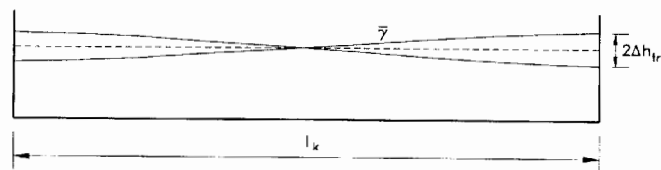
Het niveleersysteem wordt voor binnenvaartsluizen zo ontworpen dat de krachten op de schepen niet meer dan 1% bedragen van het gewicht van het grootste, geladen schip. Globaal gesproken zijn dan de hellingen van de waterspiegel in langsrichting van de kolk - voornamelijk als gevolg van genoemde translatiegolven - ook niet meer dan 1%. Deze hellingen zijn aanwezig tijdens het gehele vul- of ledigingsproces maar zijn aan het eind hiervan niet geheel verdwenen.

Vooraf bij het ledigen ontstaan de grootste krachten op de schepen - en dus ook de grootste hellingen van de waterspiegel - aan het einde van het ledigingsproces, omdat de waterstand dan laag is. Zelfs na het moment van gelijkwater zijn nog translatiegolven aanwezig zolang de deuren gesloten blijven; de golven dempen slechts langzaam uit. Aan het eind van het ledigingsproces moet daarom nog rekening worden gehouden met hellingen van bijvoorbeeld 1% van de waterspiegel.

Aan het eind van een vulproces zijn de krachten op de schepen en de hellingen van de waterspiegel veel minder, orde-grootte 0,3%.

Voor het bewegingswerk van de deur moet gerekend worden met deze waterstandsvariaties die op het moment van openen van de deuren kunnen optreden.

11.4.3.5 Waterstandvariaties aan de kolkzijde van de deur



Figuur 11.51 Translatiegolven in de kolk

Indien wordt uitgegaan van een helling van de waterspiegel van γ over de gehele kolklengthe (fig. 11.51), is de maximale (enkel-)amplitude van het wateroppervlak:

$$\Delta h_{tr} = 1/2 \gamma l_k \quad (11.42)$$

waarin:	Δh_{tr}	= (enkel-)amplitude waterspiegel door translatiegolven [m]
	γ	= helling waterspiegel [-]
	l_k	= lengte kolk [m]

De waterstanden werken als een hydrostatische druk naar de bodem toe. De krachten op de deur moeten als zodanig berekend worden.

De periode van de beweging is:

$$T_k = 2 \left((l_k - l_s) / c_k - l_s / c_s \right) \quad (11.43)$$

waarin:	T_k	= eigen periode translatiegolven in kolk [s]
	c_k	= voortplantingsnelheid translatiegolf zonder schip [m/s]
		= $\sqrt{g (h_k - z_k)}$
	h_k	= waterstand kolk [m NAP]

z_k	= niveau kolkbodern	[m NAP]
c_s	= voortplantingsnelheid translatiegolf met schip = $\sqrt{(g (A_k - A_s)/b_k)}$	[m/s]
A_k	= dwarsoppervlak kolk = $b_k (h_k - z_k)$	[m ²]
l_k	= lengte kolk	[m]
b_k	= breedte kolk	[m]
A_s	= dwarsoppervlak schip = $b_s d_s$	[m ²]
l_s	= lengte schip	[m]
b_s	= breedte schip	[m]
d_s	= diepgang schip	[m]

11.4.3.6 Voorbeeld waterstandvariaties aan de kolkzijde van de deur

Als voorbeeld wordt de situatie beschouwd aan het eind van een ledigingsproces van een binnenvaartsluis op het moment dat de gemiddelde waterstand in de kolk overeenkomt met de waterstand in de voorhaven. De gemiddelde waterstand in de kolk is $h_k = 0,00$ m NAP, de maximale helling van de waterspiegel in de kolk is $\gamma = 0,001$. De kolkafmetingen zijn $l_k = 220$ m, $b_k = 24$ m en $z_k = -4,00$ m NAP. De scheepsafmetingen zijn $l_s = 153$ m, $b_s = 22,80$ m en $d_s = 3,00$ m.

Dit geeft met de vergelijkingen (11.42) en (11.43) $\Delta h_{tr} = 0,11$ m en $T_k = 113$ s. Zonder schip is de periode $T_k = 70$ s. Wanneer de deuren nog gesloten zijn en de gemiddelde kolkwaterstand overeenkomt met die van de voorhaven (NAP 0,00 m), varieert de waterstand in de kolk bij de te openen deuren maximaal van NAP +0,11 tot -0,11 m. Met schip zit er tussen de top en het dal 56 s, zonder schip is dit 35 s.

11.4.4 Waterbeweging door varende schepen

11.4.4.1 Introductie

Bij het snel in- en uitvaren van sluizen wekken de schepen golven op in de sluis die reflecteren tegen de gesloten deur(en). Hierdoor zullen veranderingen in de waterstand bij de gesloten deuren optreden. Bij het langsvaren van de geopende deur(en) in de sluis ontstaan door de waterstandsverlaging naast het schip vervallen over de geopende deur(en), aangezien de waterspiegel in de deurkas de waterspiegel in de kolk niet direct kan volgen. De waterspiegelvariaties bij de deuren veroorzaken krachten en momenten op de deuren waarmee voor het ontwerp rekening gehouden moet worden. De hinder van de waterbeweging door varende schepen is sterk afhankelijk van de vaarsnelheid en de blokkering van het sluisprofiel door het schip.

In par. 11.4.4.2 worden de in- en uitvaarsnelheden van schepen in sluizen behandeld. De golven die hierbij worden opgewekt, worden in par. 11.4.4.3 voor het invaren en in par. 11.4.4.4 voor het uitvaren gepresenteerd. De vervallen over de deuren worden in par. 11.4.4.5 voor de geopende deuren en in par. 11.4.4.6 voor de gesloten deuren besproken.

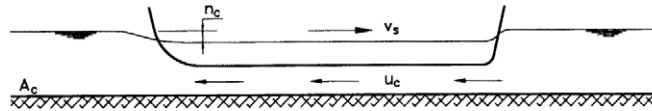
Steeds wordt uitgegaan van de eenvoudigste vormgeving van de sluis, dus een rechte toegang, een constante waterdiepte voor voorhaven en sluis, geen hoge sluisdrempel en een gesloten eind. Wijzigingen hierin leveren andere resultaten op dan de hier gepresenteerde.

In deze paragraaf wordt aanvaringen van schepen tegen deuren niet behandeld. Evenmin wordt ingegaan op schroefstraalkrachten tegen gesloten deuren (zie voor deze aspecten Lit. [11.11]).

11.4.4.2 Scheepssnelheden bij het in- en uitvaren van sluizen

Waterspiegelverlaging en grenssnelheid

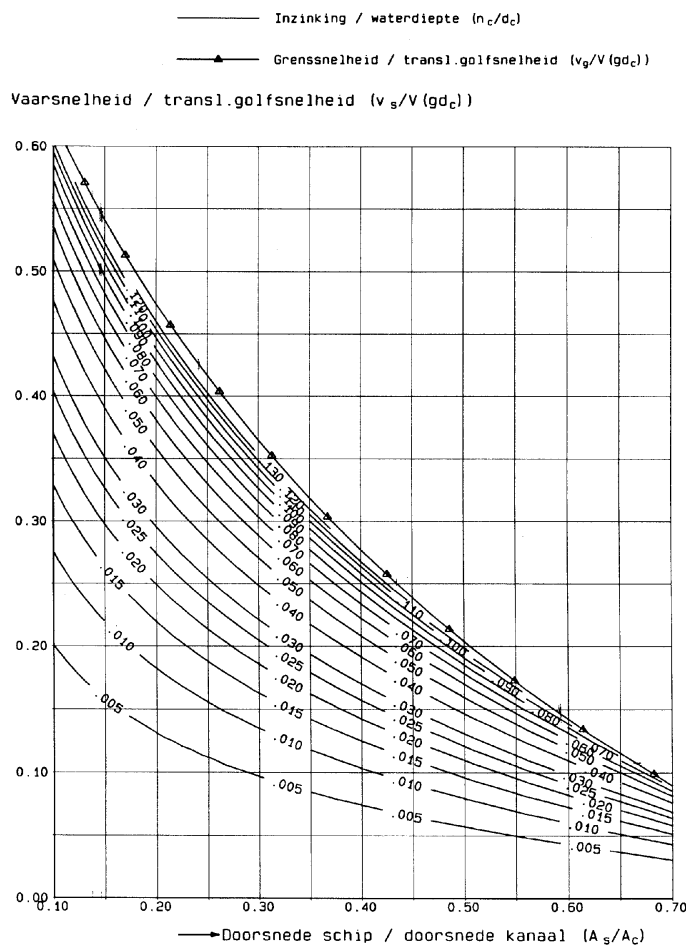
Alvorens ingegaan wordt op de scheepssnelheden bij het in- en uitvaren van sluizen, worden eerst enige begrippen geïntroduceerd van een met constante snelheid varende schip in een kanaal.



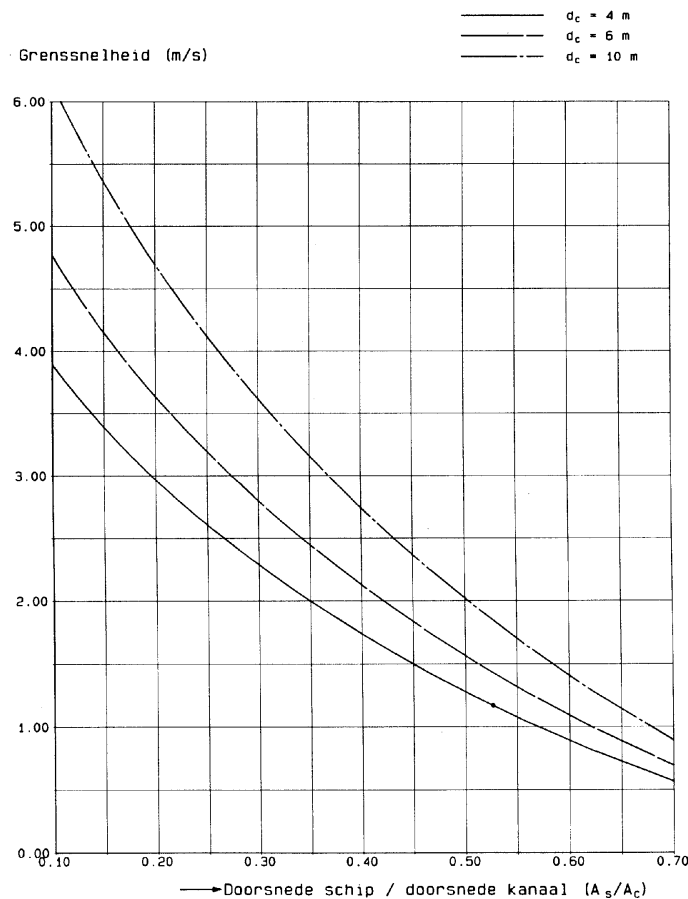
Figuur 11.52 Stationair varend schip

De eenparige vaart in een prismatisch kanaal gaat gepaard met een retourstroom en een waterspiegelverlaging naast het schip (fig. 11.52). Het water dat door de boeg wordt weggezet, stroomt als retourstroom naar het hek van het schip toe. Door de snelheid van de retourstroom naast het schip verlaagt de waterstand over de gehele lengte van het schip. Het schip bevindt zich in de waterspiegelverlaging en verkrijgt een inzinking overeenkomstig deze waterspiegelverlaging. Met behulp van berekeningen voor een prismatische vaarweg (Lit. [11.11]) is in fig. 11.53 de waterspiegelverlaging n_c (of inzinking van het schip) dimensieloos uitgezet als functie van zowel de verhouding van dwarsdoorsnede van schip (A_s) en vaarweg (A_c) als van de verhouding van de vaarsnelheid (v_s) en translatiegolfsnelheid ($c_c = \sqrt{g d_c}$). De inzinking is dimensieloos gemaakt met de waterdiepte (d_c).

Wanneer de vaarsnelheid wordt opgevoerd nemen de retourstroom en de waterspiegelverlaging steeds grotere waarden aan omdat het natte dwarsprofiel naast het schip steeds kleiner wordt. Op zeker moment nemen retourstroom en waterspiegelverlaging onbegrensd toe wanneer de zgn. grenssnelheid bereikt wordt. Deze grenssnelheid behoort bij een bepaald dwarsprofiel van schip en vaarweg en waterdiepte. In een prismatische vaarweg wordt de grenssnelheid normaliter niet bereikt omdat dit een zeer groot motorvermogen vereist. De grenssnelheid kan tijdelijk wel overschreden worden bij de overgang van een ruim in een nauw vaarwegprofiel, zoals een sluis. In fig. 11.54 is de grenssnelheid (v_g) uitgezet als functie van de verhouding van dwarsdoorsnede van schip (A_s) en vaarweg (A_c) voor verschillende waterdiepten.



Figuur 11.53 Waterspiegelverlaging en inzinking van eenparig varend schip



Figuur 11.54 Grenssnelheid van eenparig varende schip

In- en uitvaarsnelheden

Uit Lit. [11.11] is het volgende gebleken. De in- en uitvaarsnelheden van schepen bij een sluis vertonen in de regel sterke variaties. Er treden zowel lage, gemiddelde als hoge snelheden op. Voor klasse IV- tot VI-sluizen (binnenvaart) ligt bijvoorbeeld de gemiddelde invaarsnelheid op 50 m van de sluisingang op 1,7 m/s met een standaardafwijking van 0,65 m/s.

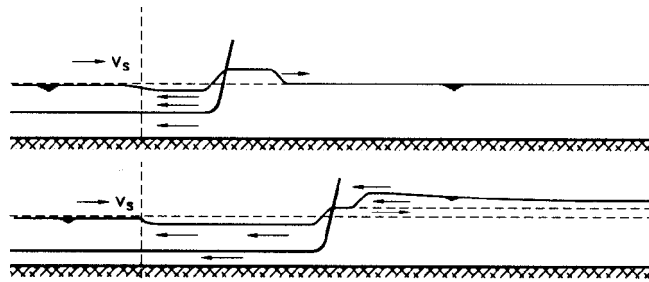
Geladen schepen varen gemiddeld genomen wat langzamer in of uit dan ongeladen schepen. Grotere schepen varen gemiddeld genomen niet echt langzamer dan kleinere schepen maar grotere schepen hebben wel een kleinere variatie in snelheid dan kleinere schepen. De in- en uitvaarsnelheden bij ruime sluisen liggen aanmerkelijk hoger dan bij nauwe sluisen. Dwarswind kan aanleiding geven tot hogere vaarsnelheden.

De snelheid van in- en uitvaren is aan de bovenkant begrensd. In Lit. [11.11] is aangetoond dat in- en uitvaarsnelheden boven de grenssnelheid (behorend bij het sluis- en scheepsdwarsprofiel) sporadisch optreden, bijvoorbeeld minder dan 1 op 100. Dit komt omdat in- en uitvaarsnelheden boven de grenssnelheid aanleiding geven tot hoge golven in de kolk met grote vaarvertragingen en -versnellingen van het schip en hinder voor andere, gemeerd liggende schepen. Bovendien kan gezegd worden dat in- en uitvaarsnelheden boven 4 à 4,5 m/s vrijwel nooit optreden.

Is bijvoorbeeld de verhouding van dwarsprofiel van schip en sluis (zgn. blokkering) 0,45, de waterdiepte 6 m en de vaarsnelheid 1,2 maal de grenssnelheid van het schip in de sluis, dan blijkt uit fig. 11.54 dat de vaarsnelheid gelijk is aan 2,28 m/s ($=1,2 \cdot 1,9$). (NB. De factor 1,2 is gekozen op grond van het gestelde in de vorige alinea.)

11.4.4.3 Golfhoogten in sluizen tijdens het invaren

Fysische verschijnselen



Figuur 11.55 Waterbeweging bij invaren van een sluis

Wanneer een schip vanuit een voorhaven een sluis binnenvaart, wekt het schip een positieve translatiegolf op die zich voortplant in de kolk (fig. 11.55). De retourstroom naast het schip wordt gedeeltelijk verhinderd weg te stromen naar het hek van het schip door het nauwe dwarsprofiel in de sluis naast het schip. De stroomsnelheden naast het schip zijn hoog ten gevolge van het verval tussen de boeg en de voorhaven. Door de hoge stroomsnelheden naast het schip in de sluis verlaagt de waterspiegel langs het schip in de sluis.

Bij de boeg is een sprong in de waterstand aanwezig die gelijk is aan de som van de translatiegolfhoogte en de waterspiegelverlaging naast de boeg; deze sprong loopt met de vaarsnelheid van het schip de kolk in. De lengte waarover de sprong zich uitstrekt is hooguit enkele meters, dus zeer steil.

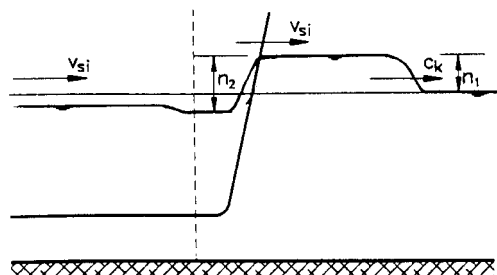
Na enige tijd bereikt het front van de translatiegolf het gesloten hoofd en kaatst terug. In korte tijd neemt de waterstand bij de gesloten deur met tweemaal de translatiegolfhoogte toe.

Omdat het schip tijdens het invaren een positieve translatiegolf opwekt vertraagt het schip bij de verdere invaart, wat aanleiding geeft tot een vermindering van zowel de translatiegolfhoogte als de waterspiegelverlaging naast het schip.

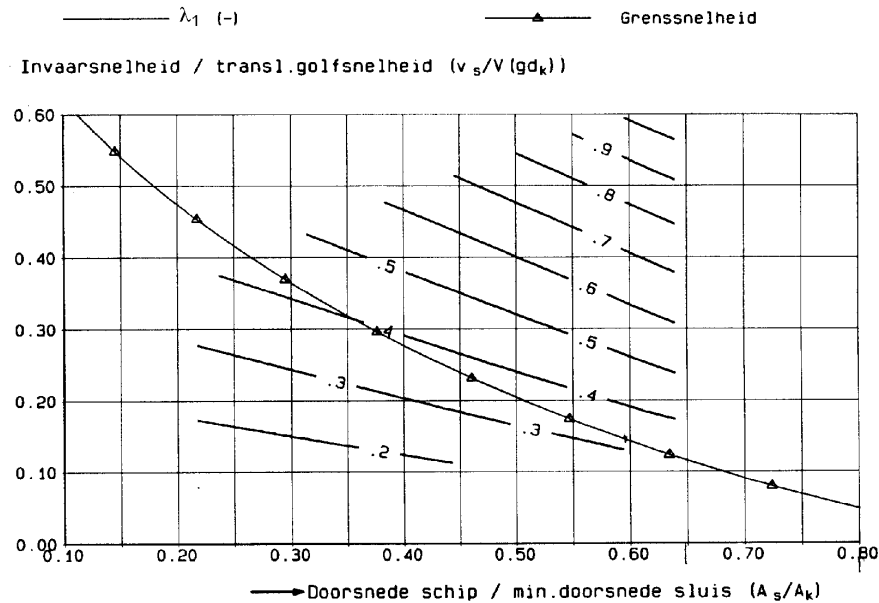
Genoemde fysische verschijnselen nemen in hevigheid toe naarmate de invaarsnelheid groter is en naarmate de verhouding van het dwarsprofiel van schip en kolk groter is.

Golfhoogten

In Lit. [11.10] is het rekenmodel WAROS gepresenteerd dat de water- en scheepsbewegingen tijdens de invaart bij gegeven schroefgebruik berekent. Vaarsnelheid, golfhoogte, stroomsnelheden en verticale scheepsbewegingen worden hierbij berekend. Met behulp van een geschematiseerde versie van dit rekenmodel zijn in Lit. [11.10] de translatiegolfhoogte en de sprong in de waterstand bij de boeg berekend op het moment dat de boeg de sluis invaart (fig. 11.56).



Figuur 11.56 Golfhoogten bij invaren van een sluis



Figuur 11.57 Initiële golfhoogte tijdens invaren kolk

In fig. 11.57 is de coëfficiënt voor de initiële translatiegolfhoogte (λ_1) uitgezet als functie van de verhouding van dwarsprofiel van sluis en schip (blokkering sluisprofiel) en van de verhouding van invaarsnelheid en translatiegolfsnelheid. De golf loopt met de translatiegolfsnelheid de kolk in. Er geldt:

$$n_1 = \lambda_1 v_{si} A_s / (b_k \sqrt{(g d_k)}) \quad (11.43)$$

waarin:	n_1	= initiële golfhoogte	[m]
	λ_1	= coëfficiënt	[-]
	v_{si}	= invaarsnelheid	[m/s]
	A_s	= doorsnede schip	[m ²]
	b_k	= breedte kolk	[m]
	d_k	= waterdiepte kolk	[m]

De plotseling waterstandsverhoging bij de gesloten deur bedraagt dan $2 n_1$ waarbij n_1 afgeleid wordt uit formule (11.43). Tijdens de verdere invaart neemt de waterstandsverhoging af om zelfs even negatief te kunnen worden.

In fig. 11.58 is de initiële sprong bij de boeg (λ_2) uitgezet voor een klasse Va-vaarweg, op het tijdstip van invaart. De sprong is de som van initiële translatiegolfhoogte en waterspiegelverlaging naast het schip en loopt met de vaarsnelheid mee. Er geldt:

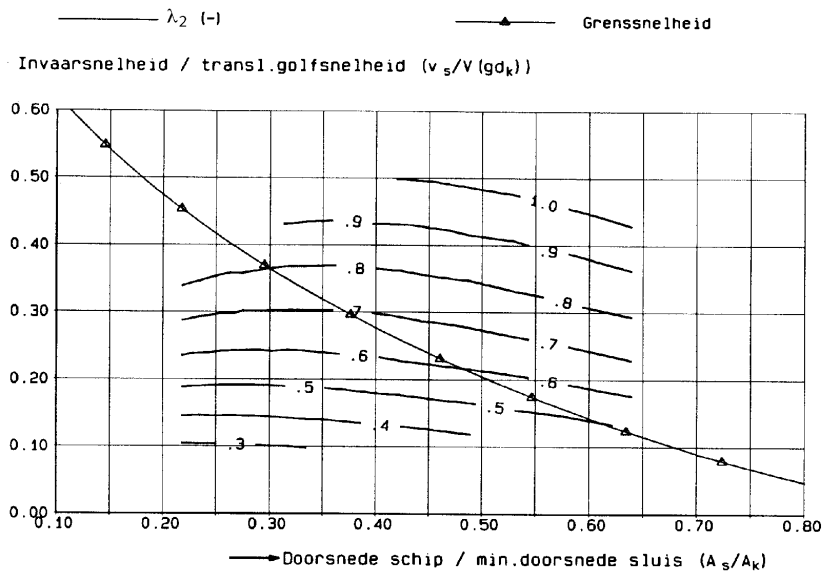
$$n_2 = \lambda_2 v_{si} A_s / (b_k \sqrt{(g d_k)}) \quad (11.44)$$

waarin:	n_2	= initiële sprong	[m]
	λ_2	= coëfficiënt	[-]

Als voorbeeld wordt genomen de invaarsnelheid van 1,2 maal de grenssnelheid. Met een blokkering van 0,45 en een waterdiepte van $d_k = 6$ m geeft dit een invaarsnelheid van 2,28 m/s. Aangenomen wordt een kolkbreedte $b_k = 16$ m. Dan is het dwarsprofiel van de kolk $A_k = 96$ m² en van het schip $A_s = 43,2$ m².

Uit fig. 11.57 blijkt dat $\lambda_1 = 0,42$. Met vergelijking (11.43) is de initiële translatiegolfhoogte n_1 gelijk aan 0,39 m. De plotselinge waterstandsverhoging bij de gesloten deur bedraagt dan 0,78 m.

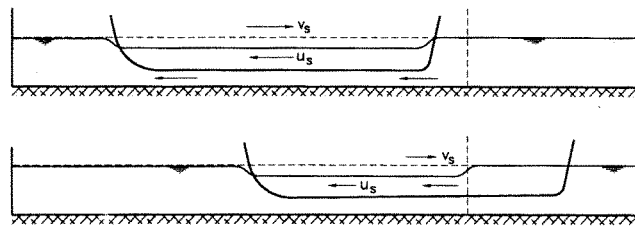
Uit fig. 11.58 blijkt dat $\lambda_2 = 0,50$. Dit geeft met vergelijking (11.44) een initiële sprong in de waterspiegel bij de boeg van $n_2 = 0,46$ m.



Figuur 11.58 Sprong in waterstand achter boeg tijdens invaren sluis

11.4.4.4 Golfhoogten in sluizen tijdens het uitvaren

Fysische verschijnselen



Figuur 11.59 Waterbeweging bij uitvaren van een sluis

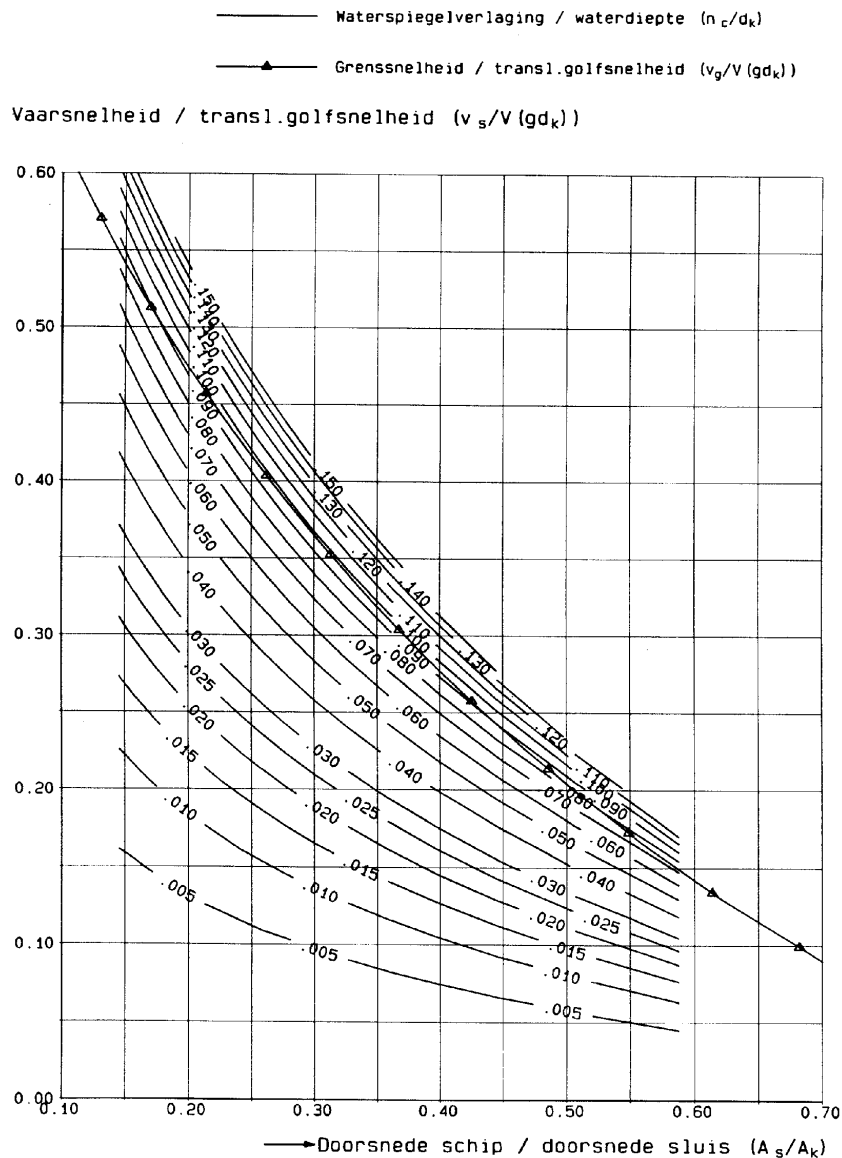
Om uit de sluis te varen start een schip de motor en versnelt langzaam vanwege de grote weerstand van het nauwe profiel van de kolk (fig. 11.59). Naast het schip ontwikkelt zich een retourstroom en een waterspiegelverlaging waardoor het schip evenveel naar beneden zakt (inzinking) als de waterspiegelverlaging. De waterbeweging is te vergelijken met die van een eenparige vaart in een nauw kanaal. Het schip zal de grenssnelheid behorend bij dwarsprofiel van kolk en schip slechts kunnen benaderen.

Na enige tijd bevindt het voorschip zich in de voorhaven terwijl het achterschip nog in de sluis is. De vaarsnelheid is dan al toegenomen, maar de gemiddelde inzinking van het schip is minder dan de waterspiegelverlaging naast het schip in de kolk omdat het schip zich gedeeltelijk in de voorhaven bevindt. Vanwege de beperkte inzinking van het schip neemt het natte dwarsprofiel van de kolk naast het schip niet verder af, waardoor het schip een vaarsnelheid kan verkrijgen die gelijk is aan of zelfs iets groter is dan de grenssnelheid van kolk en schip. De waterstand in de kolk achter het achterschip is verlaagd omdat vanaf het voorschip te weinig water naar het achterschip toestroomt vanwege het geringe dwarsprofiel naast het schip.

Op het ogenblik dat het achterschip het open eind van de sluis bereikt wordt de laagste waterspiegel in de kolk bereikt. Omdat in de voorhaven de initiële waterspiegel aanwezig is en de kolk nu in open verbinding met de voorhaven staat loopt een positieve translatiegolf de kolk in. Hierdoor stijgt in korte tijd de waterspiegel bij het gesloten eind van de sluis met bijna tweemaal de eerder genoemde waterspiegelverlaging en bereikt een waterstand die bijna evenveel hoger is dan de waterstand eerst lager was.

Golfhoogten

Eerst wordt de situatie besproken dat het schip op gang komt terwijl het zich nog geheel in de kolk bevindt. Er zijn twee sprongen in de waterstand (bij boeg en hek) die met het schip meelopen en een hoogte hebben die gelijk is aan de waterspiegelverlaging. Met behulp van fig. 11.53 kan de waterspiegelverlaging n_k (of inzinking/zakking van het schip) worden bepaald als functie van zowel de verhouding van dwarsdoorsnede schip (A_s) en kolk (A_k) als van de verhouding van vaarsnelheid (v_s) en translatiegolfsnelheid ($c_k = \sqrt{g d_k}$).



Figuur 11.60 Waterspiegelverlaging tijdens uitvaren sluis

In de volgende situatie bevindt het schip zich grotendeels in de voorhaven en deels in de sluis. De sprongen in de waterstand bij de sluisuitgang en hek van het schip zijn te schatten volgens fig. 11.60, afkomstig uit Lit. [11.11].

Uit metingen en berekeningen met het rekenmodel WAROS (Lit. [11.10]) blijkt verder dat de waterspiegelverhoging die bij het gesloten eind optreedt en ontstaat nadat achterschip de kolk heeft verlaten, ongeveer 2/3 deel is van de maximale waterspiegelverlaging naast het schip.

Als voorbeeld wordt genomen een waterdiepte van $d_k = 6$ m en een kolkbreedte van $b_k = 14$ m ($A_k = 96$ m²) en een blokkering van 0,45 (scheepsdoorsnede $A_s = 43,2$ m²).

Wanneer het schip geheel in de kolk is vaart dit met een maximum snelheid van bijvoorbeeld 0,8 keer de grenssnelheid. Met fig. 11.54 blijkt dat dit een vaarsnelheid is van 1,52 m/s ($0,8 \cdot 1,9$). Uit fig. 11.53 volgt dan een waterspiegelverlaging van 0,35 m ($0,058 \cdot 6$).

Is het schip grotendeels uit de kolk dan vaart dit met bijvoorbeeld de grenssnelheid van 1,9 m/s. Uit fig. 11.60 volgt dan een waterspiegelverlaging van 0,54 m ($0,09 \cdot 6$).

De maximale waterspiegelverhoging bij de gesloten deur is ongeveer 0,36 m ($2/3 \cdot 0,54$).

11.4.4.5 Waterspiegelvariaties achter geopende deur



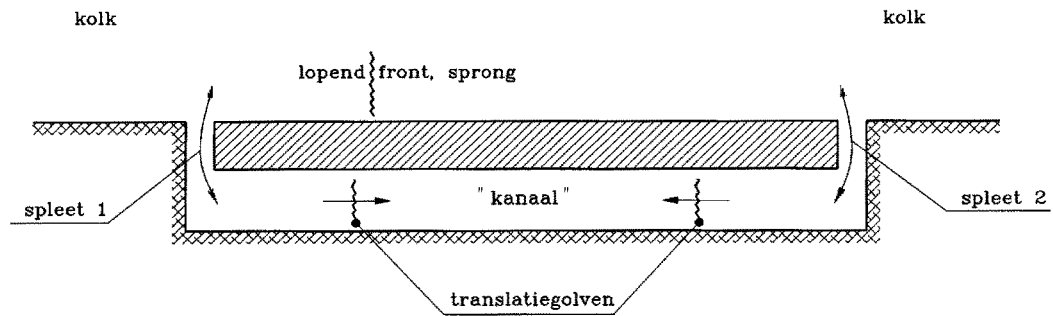
Foto 11.7 Stoming tussen geopende deur en schip als gevolg van het langsvaren

Fysische verschijnselen

Zoals in par. 11.4.4.3 en par. 11.4.4.4 is beschreven, genereren in- en uitvarende schepen zowel golven die zich in langsrichting van de sluis voortplanten met de translatiegolfsnelheid als sprongen in de waterspiegel bij boeg en hek, die met het schip meelopen. De translatiegolven en sprongen in de waterspiegel passeren openstaande punt- of draaideuren die zich in de deurkas bevinden. Dit kunnen zowel deuren bij het geopende eind van de sluis als deuren bij tussenhoofden zijn.

Bij een geopende deur sluit de deur de deurkas grotendeels af. Alleen rondom de deur zijn spleten aanwezig die de verbinding vormen tussen het water van de deurkas en de kolk. Door drukverschillen aan weerszijden van de deur tijdens het passeren van de translatiegolven en de sprongen in de waterspiegel worden horizontale krachten op de deur uitgeoefend loodrecht op het deurvlak. Het bewegingswerk van de deur moet in de geopende stand van de deur op deze kracht berekend zijn (grendel of vasthoudinrichting).

Als voorbeeld wordt een sprong in de waterspiegel genomen (stel een plotselinge waterspiegelverlaging) die de kolkzijde van de openstaande deur passeert met de vaarsnelheid van het schip. De sprong loopt van draaiingsas naar deurtip en verder. Gesteld wordt dat alleen verticale spleten bij de draaiingsas en bij de deurtip aanwezig zijn (fig. 11.61).



Figuur 11.61 Stroming in deurkas

Wanneer de sprong in de waterspiegel de verticale spleet bij de draaiingsas bereikt stroomt er debiet via deze spleet de deurkas uit. In langsrichting van de deurkas ontstaat in de deurkas een translatiegolf die reflecteert bij het andere, open eind, zijnde de verticale spleet bij de deurtip. Omdat de sprong aan de kolkzijde nog niet de spleet bij de deurtip heeft bereikt, stroomt via deze spleet weer water de deurkas in.

De deurkas is te beschouwen als een kort, smal kanaal met twee gedeeltelijk geopende eindén. In het kanaal bewegen translatiegolven heen en weer. Beide eindén hebben aan de buitenzijde opgelegde waterstanden, te weten de langs de deur voorbijtrekkende sprong in de waterspiegel aan de kolkzijde. Het debiet door de eindén (d.w.z. de verticale spleten) wordt bepaald over het lokale verval hierover.

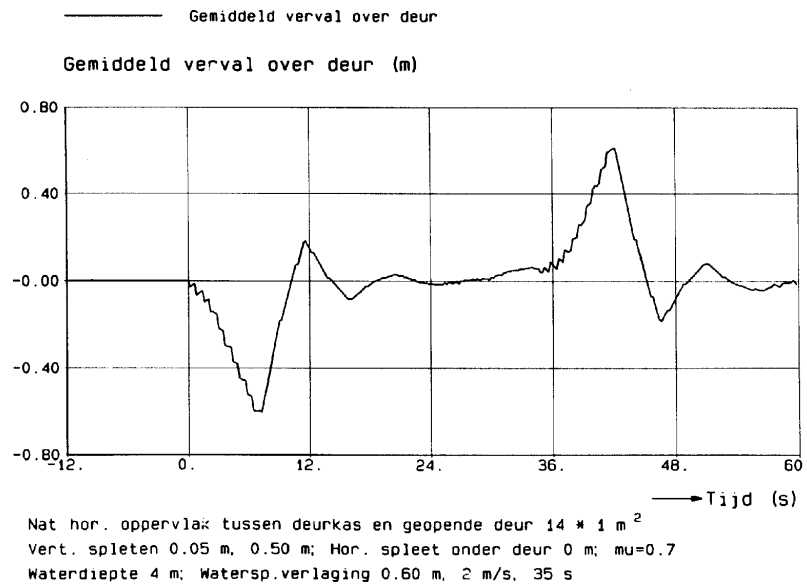
De druk aan de kolkzijde van de deur wordt bepaald door de voorbijtrekkende waterspiegelverlaging. De in de deurkas opgewekte translatiegolven bepalen de druk aan de kaszijde van de deur. Hieruit kan de resulterende kracht op de deur worden bepaald.

Berekeningen

In Lit. [11.11] is het rekenmodel LOCKGATE5 ontwikkeld om het verval over de geopende deur in de deurkas te berekenen tijdens het passeren van golven in de kolk. Het programma maakt gebruik van bovengenoemde schematisatie. Invoergegeven is hierbij de golfvorm als functie van tijd. Parameters zijn de horizontale oppervlakte van de deurkas, de afstand van deurvlak tot deurkaswand, de spleetgrootten rondom de deur en het oppervlak van de openstaande nivelleeropeningen.

In fig. 11.62 is een voorbeeld gepresenteerd van een deur met een lengte van 14 m, een afstand tussen deurkaswand en deur van 1 m, een verticale spleet aan de draaiingsas-zijde van 0,05 m en van 0,50 m aan de deurtip-zijde en een waterdiepte van 4 m. Gedurende 35 s trekt een waterspiegelverlaging van 0,60 m met een snelheid van 2 m/s langs de deur. Bij passage van de eerste sprong treedt gedurende korte tijd een naar de kolk toe gericht verval op van bijna 0,60 m en bij passage van de tweede sprong een naar de deurkas gericht verval bijna 0,60 m op. Dit zijn waarden gelijk aan de sprongen in de waterspiegel zelf. Bij aanname van een hydrostatische drukverdeling is dit verval via vergelijking (11.1) om te rekenen naar een (hydrostatische) kracht of moment om de draaiingsas. Wordt in ditzelfde voorbeeld een spleet van 0,10 m onder de deur aangebracht dan nemen de vervallen over de deur af tot ongeveer 0,40 m.

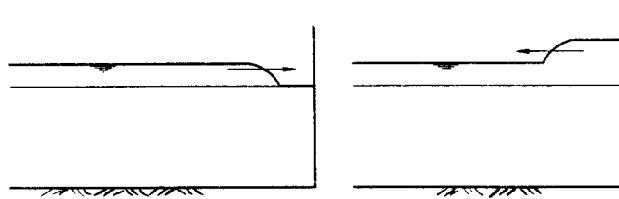
Uit Lit. [11.11] blijkt dat ruime verticale spleten bij de deurtip en de draaiingsas, een ruime spleet onder de deur en openstaande nivelleeropeningen de krachten op de deur sterk reduceren. De spleet is hierbij steeds de nauwste doorsnede in de verbinding van kolk met deurkas. Constructief zal het een probleem zijn de verticale spleet bij de draaiingsas ruim te maken. Een ruime afstand van deur tot deurkas beperkt de slingeren in de kracht op de deur.



Figuur 11.62 Gemiddeld verval over geopende deur tijdens langsvaren schip

11.4.4.6 Waterspiegelvariaties bij de gesloten deuren

Plotselinge waterstandsvariaties bij de gesloten deuren door in- of uitvarende schepen veranderen de krachten op deze deuren. Inzicht hierin is belangrijk om te weten of de deuren bestand zijn tegen deze variaties,



Figuur 11.63 Waterstandsverhoging bij gesloten deur

In par. 11.4.4.3 is de waterbeweging tijdens het invaren beschreven. Tijdens de invaart loopt een positieve translatiegolf de kolk in die bij de gesloten deur reflecteert. In het voorbeeld van par. 11.4.4.3 bedroeg de plotselinge waterstandsverhoging bij de gesloten deur 0,78 m.

In par. 11.4.4.4 is de waterbeweging tijdens het uitvaren beschreven. Tijdens het uitvaren daalt de waterstand bij de gesloten deuren ten opzichte van de stilwaterlijn. Nadat het schip de sluis is uitgevaren loopt een positieve translatiegolf de kolk in die bij de gesloten deur een plotselinge waterstandsverhoging veroorzaakt. In het voorbeeld van par. 11.4.4.4 van het uitvaren bedroeg deze plotselinge waterstandsverhoging bij de gesloten deuren 0,36 m.

Literatuur:

- [11.1] Battjes, J.A., 'Windgolven', Technische Universiteit Delft, Collegedictaat b78, september 1986.
- [11.2] Josephus Jitta, J.P., 'Sluizen en andere waterbouwkundige kunstwerken in en langs kanalen', Bohn, Haarlem, 1947.
- [11.3] Jongeling, T.H.G. en Termes, A.P.P., 'Hydrodynamische krachten op roldeuren tijdens bewegen', Verslag modelonderzoek, Q491, Waterloopkundig Laboratorium, september 1994.
- [11.4] Kolkman, P.A. en Jongeling, T.H.G., 'Dynamisch gedrag van waterbouwkundige constructies', Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, november 1966.
- [11.5] Le Mehauté, B., 'An Introduction to Hydrodynamics and Water Waves', Springer Verlag, 1976.
- [11.6] Perdijk, H.W.R. en Vrijburcht, A., 'Krachten op een enkele draaideur tijdens bewegen door stilstaand en stromend water', Verslag modelonderzoek Q349, Waterloopkundig Laboratorium, januari 1990.
- [11.7] Rijkooft, P.J., 'A Compound Model for the Description of Surface Wind Velocity Distribution', W.R. 83-13, KNMI, 1983.
- [11.8] Schijf, J.B. en Jansen, P.P., Communication 1, 18th International Navigation Congress Rome, Section I, 1953, pp. 175-197.
- [11.9] Vrijburcht, A., 'Beweging van enkele draaideuren en puntdeuren, langskrachten op schepen in sluizen', Verslag modelonderzoek Q255-II, Waterloopkundig Laboratorium, Delft, augustus 1988.
- [11.10] Vrijburcht, A., 'Berekenen van scheeps- en waterbewegingen bij passage van sluizen', Rekenprogramma Waros, verslag fysische aspecten en vergelijkingen met metingen, Q99-X, Waterloopkundig Laboratorium, Delft, juni 1991.
- [11.11] Vrijburcht, A., 'Krachten op puntdeuren en enkele draaideuren', Verslag onderzoek, Q1442, Waterloopkundig Laboratorium, mei 1994.
- [11.12] Wieringa, J. en Rijkooft, P.J., 'Windklimaat van Nederland', KNMI, 1983.
- [11.13] 'Shore Protection Manual', Volume I and II, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, 1984.
- [11.14] 'Rekenregels voor waterbouwkundig ontwerpen', Rijkswaterstaat Directie Sluizen en Stuwen, Utrecht, mei 1990.
- [11.15] 'Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies', TAW-Leidraad en basisrapport, juni 1997, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, juni 1997.
- [11.16] 'Sobek', Eendimensionaal waterbewegingsmodel, Versie 2.50, Delft Hydraulics en RIZA, 1999.

Appendix 11.1: Voorbeeld berekening quasi-statische windgolfbelasting sluisdeuren

Om de quasi-statische golfbelasting op een sluisdeur uit te rekenen wordt de volgende methode aanbevolen:

- A Bepaal de uurgemiddelde windsnelheid (U_{10}) op 10 m hoogte volgens par. 11.4.2.2 en fig. 11.29 t/m 33 tijdens deurbeweging (overschrijding bijv. eens in 5 jaar) en voor de gesloten deur (overschrijding bijv. eens in 50 jaar).
- B Bereken de significante windgolven (H_s , L_s , T_s) uit de windsnelheid en strijklengte volgens par. 11.4.2.3 en fig. 11.35 t/m 11.39.
- C Bereken de golfhoogten (H_{rr}) en gemiddelde waterstand (h_r) voor een rechte wand door het in rekening brengen van reflecties volgens par. 11.4.2.4 en fig. 11.41 en 11.42; Controleer tevens op niet-breken van de golven.
- D Bereken de golfhoogten (H_r) voor de sluisdeur door het in rekening brengen van richtingspreiding, de geometrie van het gebied, kamlengte en scheve golfval volgens par. 11.4.2.5.
- E Bereken het quasi-statische moment (M_{ht} en M_{hd}) tijdens de deurbeweging en de quasi-statische kracht (F_{hd} en F_{ht}) voor de gesloten deur volgens par. 11.4.2.6 en fig. 11.45. De krachten en momenten variëren in de tijd volgens de golfperiode T_s .

Het volgende voorbeeld wordt genomen:

- Sluis met sluisas in de oost-westrichting nabij Rotterdam, terreinruwheidsklasse 2, westelijke voorhaven;
- Overschrijdingskans van eens in de 5 jaar tijdens deurbeweging en eens in de 50 jaar voor gesloten deuren;
- Strijklengte 6 km, gemiddelde waterstand voor reflectie $h_m = \text{NAP} + 2,00$ m, bodemniveau $z_b = \text{NAP} - 4,00$ m;
- Reflectiecoëfficiënt $C_r = 0,9$, richtingspreiding golven is aanwezig, half- open fuik voor de deur, rechte golfval;
- Enkele draaideur, deurlengte $l_d = 12$ m, sluisbreedte $b_k = 12$ m.

- A Uit fig. 11.32 blijkt bij westenwind en terreinruwheid-klasse 2:

Frequentie [1/jaar]	U_p [m/s]	U_{10} [m/s]
0,2	20,7	22,0
0,02	25,5	27,0

- B Uit figuren 11.36 en 11.39 zijn af te lezen:

Frequentie storm [1/jaar]	U_{10} [m/s]	H_s [m]	T_s [s]	L_s [m]
0,2	22,0	0,95	2,9	13,0
0,02	27,0	1,15	3,2	15,5

- C De dimensieloze parameters $H_s/(gT_s^2)$ en H_s/d_m voor het aflezen van fig. 11.42 zijn:

Frequentie storm [1/jaar]	$H_s/(gT_s^2)$ [-]	H_s/d_m [-]
0,2	0,0115	0,16
0,02	0,0114	0,19

Uit fig. 11.42 volgt C_h . Vergelijking (11.26) levert golfhoogte H_{rr} en de vergelijkingen (11.27) en (11.28) geven de waterstand en waterdiepte na reflectie h_r en d_r :

Frequentie [1/jaar]	H_i	H_i [m]	C_r [-]	C_h [-]	H_{rr} [m]	h_r [m NAP]	d_r [m]
0,2	H_s	0,95	0,9	0,21	1,80	2,20	6,20
0,2	$1,5 * H_s$	1,42	0,9	0,21	2,70	2,20	6,20
0,02	H_s	1,15	0,9	0,21	2,18	2,24	6,24
0,02	$1,5 * H_s$	1,72	0,9	0,21	3,26	2,24	6,24

Vervolgens wordt gecontroleerd op het niet-breken van de golven:

Frequentie [1/jaar]	H_i	H_i [m]	T_s [s]	L_s [m]	$0,20 \tanh(2\pi d_r / L_s) L_s$ [m]
0,2	H_s	0,95	2,9	13,0	2,60
0,2	$1,5 * H_s$	1,42	2,9	13,0	2,60
0,02	H_s	1,15	3,2	15,5	3,10
0,02	$1,5 * H_s$	1,72	3,2	15,5	3,10

Het blijkt dat in alle gevallen voldaan wordt aan de betrekking (11.29) met $H_i < 0,20 \tanh(2\pi d_r / L_s) L_s$.

- D De coëfficiënten zijn voor geometrie gebied $C_{gg} = 1,20$ (half-open fuik), voor kamlengte $C_{kl} = 0,9$ en $C_{si} = 1$ (rechte golfval). Dit geeft als golfhoogte H_r voor de deur:

Frequentie [1/jaar]	H_i	H_i [m]	H_r [m]	h_r [m NAP]	d_r [m]
0,2	H_s	0,95	1,94	2,20	6,20
0,2	$1,5 * H_s$	1,42	2,91	2,20	6,20
0,02	H_s	1,15	2,35	2,24	6,24
0,02	$1,5 * H_s$	1,72	3,52	2,24	6,24

- E De dimensieloze parameters $H_r / (g T_s^2)$ en H_r / d_r voor het aflezen van fig. 11.45 zijn:

Frequentie [1/jaar]	H_i	$H_r / (g T_s^2)$ [-]	H_r / d_r [-]
0,2	H_s	0,0235	0,312
0,2	$1,5 * H_s$	0,0353	0,469
0,02	H_s	0,0234	0,376
0,02	$1,5 * H_s$	0,0350	0,564

De coëfficiënten C_{ht} en C_{hd} worden afgelezen in fig. 11.45. Met vergelijkingen (11.34) t/m (11.37) kunnen de eenzijdige, horizontale krachten en momenten berekend worden.

Frequentie [1/jaar]	H_i	C_{ht} [-]	C_{hd} [-]	F_{ht} [N]	F_{hd} [N]	M_{ht} [Nm]	M_{hd} [Nm]
0,2	H_s	1,13	0,91			15340	12350
0,2	$1,5 * H_s$	1,22	0,87			16560	11810
0,02	H_s	1,19	0,87	2730	1990		
0,02	$1,5 * H_s$	1,29	0,82	2960	1880		

Wanneer wordt aangenomen dat aan de andere zijde van de deur de waterstand h_r aanwezig is, worden de resulterende krachten en momenten op de deur (dus tweezijdige waterdruk):

Frequentie [1/jaar]	H_i	C_{ht} [-]	C_{hd} [-]	F_{ht} [N]	F_{hd} [N]	M_{ht} [Nm]	M_{hd} [Nm]
0,2	H_s	1,13	0,91			1765	1220
0,2	$1,5 * H_s$	1,22	0,87			2985	1765
0,02	H_s	1,19	0,87	435	-300		
0,02	$1,5 * H_s$	1,29	0,82	665	-410		

Appendix 11.2: Incident zeesluis te Farnsum

(tekst uit nota's van Provincie Groningen, Dienst beheer Wegen en Kanalen, afd. Noord)



Foto 11.8 De bezweken ebdeuren van het binnenhoofd van de sluis te Farnsum met stroming vanuit het Eemskanaal

Op de ochtend van maandag 21 maart 2000 hebben de sluisbedienaren van de zeesluizen te Farnsum (Delfzijl) omstreeks 3.00 uur verzuimd de ebdeuren van de grote zeesluis te sluiten tijdens de overgang van hoog- naar laagwater. De bediening van de sluis vindt plaats vanuit het centrale bedieningsgebouw dat 3 maanden eerder in gebruik was genomen en voorzien is van overzichtelijke monitoren en displays. De grote zeesluis heeft nuttige horizontale afmetingen van 151*16 m² en vormt de verbinding tussen het Eemskanaal en de Eems. Het Eemskanaal loopt vanaf de stad Groningen (begint bij de Oostersluis) naar Delfzijl over een afstand van ca. 26 km en heeft een normaal peil van NAP +0,62 m.

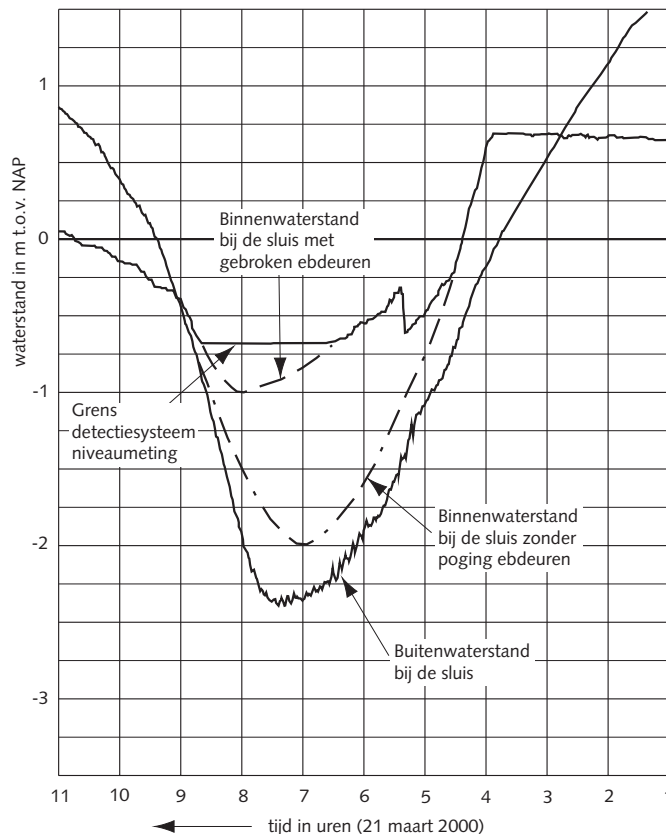
Toevalligerwijs was het die dag springtij met een laagste buitenwaterstand van NAP -2,40 m. De vloeddeuren die nog gesloten waren, gingen na verloop van tijd door de hoge binnenwaterstand open en daardoor stroomde een grote hoeveelheid water uit de boezem weg. Toen de sluisbedienaren omstreeks 3.45 - 4.00 uur hun verzuim ontdekten, hebben zij getracht de opengeduwde vloeddeuren nog terug te drukken, maar dit lukte niet. Ook hebben zij overwogen de ebdeuren te sluiten, maar dat hebben ze door het gevaar deze deuren te verspelen niet gedaan.

Omstreeks 4.15 uur hebben zij telefonisch de sluismeester ingelicht, die vervolgens het bureauhoofd waarschuwde en die op zijn beurt het afdelingshoofd en de kantonnier waarschuwde. Het afdelingshoofd lichtte telefonisch de directeur in die via het kabinet van de Commissaris der Koningin het crisisteam bijeen liet komen. Ondertussen waarschuwde één van de sluisbedienaren de langs de Zijlvest liggende schepen.

Toen de kantonnier en het bureauhoofd waren gearriveerd, is in overleg met de sluismeester en de twee sluisbedienaren omstreeks 5.00 uur een poging ondernomen beide stellen ebdeuren tegelijk te sluiten nadat de vloeddeuren zover mogelijk waren dichtgedrukt. Omdat de buiten-ebdeuren veel trager in gang kwamen dan de binnen-ebdeuren zijn de buiten-ebdeuren direct terug in de kassen gebracht. Vervolgens sloten de binnen-ebdeuren met grote snelheid, maar niet tegelijk. Beide deuren werden door de kracht van de zeer sterke stroming over de drempel getild wat resulteerde in vervormde deuren en op diverse plaatsen gebroken harren en regels. De vernielde deuren bleven vastgeklemd tussen de ver-

bogen bovendraaipunten en de verhoogde drempel in de doorstroomopening van de sluis staan, die daardoor met ca. 50% werd verkleind. Zodoende is de hoeveelheid water die uit de boezem weggestroomd beperkt gebleven tot 4 miljoen m³. Het peil bij de stad Groningen is ca. 0,60 m gedaald tot NAP 0,00 m.

Om 9.00 uur was de buitenwaterstand weer ongeveer gelijk aan de binnenwaterstand en werden de vloeddeuren en de ebdeuren van het buitenhoofd gesloten. Vervolgens werd direct begonnen met het vervangen van de deuren. Op woensdag 23 maart om 16.00 uur waren de reservedeuren geplaatst en kon weer worden gesloten.



Figuur 11.64 Registratie van buitenwater- en binnenwaterstand bij de sluis tijdens het incident.

De volgende conclusies zijn door de Dienst beheer Wegen en Kanalen getrokken:

- De instructie van de sluisbedienaren met betrekking tot dubbele deuren luidt als volgt. Bij 60 à 50 cm waterstandsverschil moet gewerkt worden met dubbele deuren. Voorts is het gebruikelijk, maar geen voorschrift, om bij het ingaan van de nachtdienst de deuren dubbel te zetten als het lijkt dat er weinig scheepvaartaanbod zal zijn. Deze keer is dat niet gebeurd en ook op het cruciale moment, ca. 2.30 uur, heeft men er niet aan gedacht.
- De beslissing om later de deuren, hoe riskant ook, toch nog te sluiten is de juiste geweest en heeft erger voorkomen. Als de ebdeuren open waren gebleven zou het water over de gehele sluiskolk-lengte zijn gaan schieten - het buitenwater is gezakt tot NAP -2,40 m - en zou beide stellingen ebdeuren hebben meegezogen. Er zou dan zeker 7 miljoen m³ zijn weggestroomd en de waterstand in de stad Groningen zou 1 tot 1,20 m zijn gedaald tot NAP -0,40/-0,60 m. In de regio Delfzijl/Appingedam zou het water zeker 2,50 m beneden het normale peil van NAP +0,62 m zijn gekomen, hetgeen over grote lengten tot dijkval had kunnen leiden in dichtbewoond gebied.
- Een signaleringssysteem voor nadering van gelijk water, al eerder overwogen, doch toen niet nodig geoordeeld, is wellicht in de toekomst te overwegen.



Foto 11.9 Overzicht van binnenhoofd van de sluis te Farnsum tijdens het incident

Zie verder par. 2.3.2 (Functionele eisen betreffende de waterkering), par. 7.2.2.12 (Eén- en tweezijdig keren), par. 11.3.4.2 (Sluiten in stromend water), par. 18.3.2 (Eisen aan besturing), par. 22.5 (Functioneel ontwerpen).



Foto 12.1 Glijdeur van de Nieuwe Oranjesluis met aanzicht van de ronde vulopeningen en schuiven met schuifbewegingswerken

Hoofdstuk 12 **Staal- en werktuigbouwkundige constructies**

12.1 Ontwerpbelastingen

12.1.1 Inleiding

De belastingen op sluisdeuren, schuiven en bewegingswerken zijn te onderscheiden in vijf groepen:

1. Eigen gewicht verminderd met de opwaartse kracht.
2. Belastingen afkomstig van het water met een externe oorzaak, te weten belastingen door waterstandsverschillen over de deur, windgolven etc.
3. Belastingen van het water die door de deurbeweging zelf worden veroorzaakt in de vorm van extra waterdrukken, golven en stromingen rondom de deur.
4. Belastingen van de constructie zelf als gevolg van de deurbeweging zoals dynamica (massatraagheid en inschakelverschijnselen) en wrijving langs scharnieren of geleidingen.
5. Bijzondere belastingen, zoals blokkering van de drempel door een obstakel tijdens het sluiten, het aanvaren van deuren in gesloten stand, ijsgang etc.

Uit het bovenstaande blijkt dat op de verschillende constructieonderdelen (deuren, draaipunten, schuiven, bewegingswerken, e.d.) een veelheid aan belastingen mogelijk is. Van deze belastinggevallen wordt opgemerkt dat ze afhangen van het feit of de deur bewogen wordt of niet, ze kunnen sterk in grootte variëren en deels wel of niet tegelijkertijd optreden. Bovendien kan gezegd worden dat een belasting op het ene constructieonderdeel (bijvoorbeeld de deur) niet hoeft door te werken op het andere constructieonderdeel (bijvoorbeeld het bewegingswerk) of andersom. Het gevolg van dit alles is dat het bepalen van maatgevende belastingcombinaties een complexe zaak is.

Voor het bepalen van de belastingcombinaties is het uitgangspunt de methode beschreven in TGB 1990 met veiligheidsklasse 3 (NEN 6702, Lit. [12.1], art. 5). Voor de hydraulische belastingen (belastingen vanuit het water) wordt de TAW-Leidraad Waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies aangehouden (Lit. [12.5]). Voor het staalbouwkundige deel worden bovendien NEN 6770 (Staalconstructies, Lit. [12.2]) en de werkwijze voor stalen bruggen volgens de VOSB 1995 (NEN 6788, Lit. [12.3]) toegepast. Voor het werktuigbouwkundige deel wordt de werkwijze voor beweegbare bruggen volgens de VOBB 1998 (NEN 6786, Lit. [12.4]) gehanteerd.

12.1.2 Methode

In deze paragraaf worden de stappen gevolgd die tot maatgevende belastingcombinaties leiden. Dit wordt alléén volledig gedaan voor het ontwerp van puntdeuren en voor de elektro-hydraulische deurbewegingswerken van puntdeuren. Andere typen deuren en deurbewegingswerken vereisen een andere aanpak die, vanwege de leesbaarheid, gedeeltelijk zijn doorgezet tot maatgevende belastingcombinaties. De volgende stappen worden genomen:

1. In de eerste stap wordt beschreven in welke bedrijfstoestand de deur of het bewegingswerk kan verkeren. (Opm. Voorbeelden van een bedrijfstoestand zijn: deur gesloten, deur geopend, begin openen, tijdens openen etc.)
2. In de tweede stap worden alle belastingen benoemd en op een systematische manier gegroepeerd.
3. In de derde stap worden de waarden van alle belastingen afgeleid. Zijn de belastingen probabilistisch te bepalen dan worden hier overschrijdingsfrequenties aan gekoppeld waaruit karakteristieke belastingen volgen. Bij deterministische belastingen worden de representatieve waarden hiervan opgesteld.
4. In de vierde stap worden de belastingcombinaties opgesteld voor de verschillende bedrijfstoestanden. Uitgaande van een bepaalde bedrijfstoestand en grenstoestand, wordt een (of meerdere)

belasting(en) dominant gesteld en de resterende belastingen, die fysisch gezien kunnen optreden, combineren. Het toekennen van belasting- en/of duurfactoren aan de karakteristieke of representatieve belasting geeft de rekenwaarde van de belasting. De combinatie van rekenwaarden van de belastingen levert dan de belastingcombinatie. Elke bedrijfstoestand levert dan een maatgevende (d.w.z. ongunstigste) belastingcombinatie op. (Opm. Voorbeelden grenstoestanden zijn: bij staal vloeien, breken, knikken, kippen en plooiën en bij bewegingsmechanisme overbelasten of vermoeien overbrenging).

12.1.3 Staalconstructies

12.1.3.1 Onderdelen, bedrijfstoestanden en grenstoestanden

Bij een schutsluis met puntdeuren zijn de volgende *onderdelen* voor de staalconstructie te onderscheiden:

- De puntdeuren, opgebouwd uit een waterkerende beplating, verstijvingen, stijlen, liggers, eindharren en diagonalen (Opm. Beplating wordt ondersteund door liggers, stijlen en verstijvingen);
- Ingebetonneerde onderdelen zoals bevestiging draaipunten, opleggingen, aanslagen, e.d.;
- Schuiven;
- Droogzetschotten;
- Montagevoorzieningen.

In dit hoofdstuk wordt alléén het onderdeel puntdeuren uitgewerkt. Normaliter worden in het ontwerp-proces tegelijkertijd de andere onderdelen uitgewerkt.

Bedrijfstoestanden voor de staalconstructie van deuren zijn te onderscheiden in:

- bts1: Deur gesloten
- bts2: Deur geopend
- bts3: Deur tijdens bewegen
- bts4: Deur tijdens transport, montage of reparatie

Grenstoestanden voor de staalconstructie van deuren zijn te onderscheiden in:

Uiterste grenstoestand

- gts1: overschrijden sterkte (vloeien, breken, scheuren etc.), stabiliteit (knikken, kippen, plooiën) en standzekerheid
- gts2: ontoelaatbare vermoeiing

Bruikbaarheidsgrenstoestand

- gts3: overschrijden vervormingen en verplaatsingen
- gts4: ontoelaatbare trillingen

Voor gts3 (overschrijden vervormingen) worden voor deuren in de regel géén eisen gesteld tenzij er eisen worden gesteld aan lekverliezen bij negatief keren.

12.1.3.2 Belastingen op deuren

In de inleiding van par. 12.1.1 zijn vijf groepen belastingen onderscheiden naar hun oorzaak. Conform de TGB 1990 en de TAW-Leidraad zijn er drie soorten belastingen mogelijk naar hun aard:

- Permanente belastingen: altijd aanwezig, met ongunstige of gunstige waarde;
- Veranderlijke belastingen: wel of niet aanwezig, de waarde hangt af van de betreffende bedrijfstoestand en van overschrijdingsfrequentie, deursnelheidsprogramma of constructievorm;
- Bijzondere belastingen: mogelijk aanwezig (incidenteel of optioneel), niet in combinatie met andere bijzondere belastingen, de waarde hangt af van de overschrijdingsfrequentie. Een incidentele belasting komt normaliter in de levensduur van de constructie een enkele keer voor. Met een optionele belasting wordt bedoeld een belasting die meegenomen kan worden in het Programma van Eisen.

Hierna volgt een overzicht van belastingen op deuren, onderverdeeld naar de aard en vervolgens naar de oorzaak.

Permanente belastingen

Verticale, statische belastingen:

(Opm. Is altijd of kan aanwezig zijn)

- F0
Eigen gewicht deur; bij roldeuren tevens rolwagens en waterballast, bij hefdeuren tevens contra-gewichten, kabels etc.;
- F1
Opdrijvende kracht deur als functie van waterstand en bij hefdeuren ook als functie van hefhoogte;
- F2
Gewicht van aanhangend water. Ook hoort hierbij ijs, sneeuw en slib hoewel dit lang niet altijd aanwezig is. (Opm. Hoeveelheid slib hangt sterk af van de slibrijkheid van het water en of het slib kans heeft daar te bezinken, bijvoorbeeld 10 kN/m²).

Veranderlijke belastingen

Belastingen door externe oorzaak:

(Opm. Belasting is door de omgeving bepaald, er is sprake van overschrijdingsfrequentie, dit in tegenstelling tot NEN 6702 (Lit.[12.1]))

- F10_{1250/10000} of F10₁₀
Maximale positieve vervalbelasting over deur incl. effect opwaaiing, seiches e.d., tevens dichtheidsverschillen met overschrijdingsfreq./jaar van 0,0008/0,0001 (dominant, bijvoorbeeld voor primaire waterkeringen, Lit. [12.5]) of 0,1 (combinant, d.w.z. in combinatie met andere) bij gesloten deur. (Opm. In NEN 6702 is vervalbelasting een permanente belasting).
- F11₁₀₀₀ of F11₁₀
Maximale negatieve vervalbelasting over deur met overschrijdingsfreq./jaar van 0,001 (dominant, geen primaire kering) of 0,1 (combinant), alles bij gesloten deur.
- F12
Vervalbelasting over deur bij maximum-schutpeil bij gesloten deur.
- F13_{1250/10000} of F13₁₀
Windgolfbelasting op deur met overschrijdingsfreq./jaar van 0,0008/0,0001 (dominant) of 0,1 (combinant) bij gesloten deur.
- F14₅₀
Windbelasting op deur met overschrijdingsfreq./jaar van 0,02 bij gesloten deur of geopende hefdeur (Opm. combinante waarde wordt met aparte coëfficiënt gebruikt).
- F15₅₀ of F15₁
Belasting op deur door translatiegolf (positief of negatief), haling, etc. met overschrijdingsfreq./jaar van 0,02 (dominant) of 1 (combinant) bij gesloten deur.
- F16
Verkeersbelasting klasse 60 volgens de VOSB wordt toegepast of volgens Eurocode 1, deel 3 (toekomstig NEN 6706) bij gesloten deur.

Hydraulische belastingen door deurbeweging:

(Opm. Belasting hangt af van het deurbewegingsprogramma)

- F21
Massatraagheidskracht water in en om deur bij einde sluiten, bij einde openen en bij noodstop

*Mechanische belastingen door deurbeweging:
(Opm. Belasting hangt af van het deurbewegingsprogramma)*

- F30
Dynamische kracht van droge deur; bij roldeuren tevens van rolwagens en waterballast, bij hefdeuren tevens van contragewicht, kabels, buffers e.d. Bij einde sluiten, bij einde openen of bij noodstop
- F33
Voorspankracht uit bewegingswerk op deur in eindstanden. Bij deur gesloten en deur geopend.

Bijzondere belastingen

*Incidentele belasting:
(Opm. Belasting komt in de regel wel eens in de levensduur van de constructie voor)*

- F40
Maximum-kracht van bewegingswerk op deur bij blokkering deur nabij einde sluiten of einde openen.
- F41
Maximum-kracht uit bewegingswerk op deur bij falen wegmeetsysteem in eindstanden (snelheidsregeling en eindstandschakeling).

*Optionele belastingen:
(Opm. Belasting indien opgenomen in Programma van Eisen)*

- F53₁₀₀₀
Belasting op deur t.g.v. ijsdruk met overschrijdingsfreq./jaar: 0,001 en gesloten deur
- F54₁₀₀₀
Belasting op deur t.g.v. aanvaren geopende / gesloten deur met overschrijdingsfreq./jaar: 0,001 bij deur geopend of gesloten
- F55₁₀₀₀
Belasting op deur t.g.v. lekraken drijfkist roldeur: 0,001

12.1.3.3 Rekenwaarde belasting

Voor de **deterministische** belastingen, zijnde de permanente belastingen en de veranderlijke belastingen veroorzaakt door de deurbeweging, wordt gebruik gemaakt van:

TGB 1990 (NEN 6702) met belasting- en duurfactoren

Definitie rekenwaarde belasting:

duurfactor x belastingfactor x representatieve waarde belasting = rekenwaarde belasting

$$\text{of } \psi \cdot \gamma \cdot F_{\text{rep}} = F_{\text{rek}}$$

De belastingfactor γ hangt af van de soort belasting (permanent, veranderlijk en bijzonder) en van de te onderzoeken grenstoestand. Voor permanente belastingen is de belastingfactor $\gamma = 1,35, 1,2, 1,0$ of $0,9$ al naar gelang deze gunstig of ongunstig in de belastingcombinatie werkt. Voor veranderlijke belastingen is de belastingfactor voor de uiterste grenstoestand $1,5$ (sterkte/stabiliteit) en $1,2$ (vermoeiing) en voor de bruikbaarheidsgrenstoestand $1,0$. Voor combinaties van bijzondere belastingen worden alle belastingfactoren (d.w.z. permanent, veranderlijk en bijzonder) gesteld op $\gamma = 1,0$ (zie tabel 12.1).

De duurfactor ψ wordt gebruikt wanneer de belasting als combinante belasting gebruikt wordt. Voor de windbelasting is $\psi = 0,2$, voor de veranderlijke belastingen als gevolg van de deurbeweging is $\psi = 0,8$ (zie ook tabel 12.1).

Voor de **probabilistische** belastingen, zijnde de veranderlijke belastingen met externe oorzaak en de bijzondere belastingen, wordt gebruik gemaakt van:

TAW-Leidraad Waterkerende Kunstwerken met overschrijdingsfrequentie en belastingfactor

Definitie rekenwaarde belasting:

belastingfactor $\times$ karakteristieke belasting = rekenwaarde belasting

$$\text{of } \gamma F_{\text{kar}} = F_{\text{rek}}$$

De TAW hanteert karakteristieke belastingen (belastingen met verschillende overschrijdingsfrequenties) in plaats van representatieve (vaste) belastingen met een duurfactor.

De overschrijdingsfrequenties worden gebruikt voor belastingen die niet vooraf bekend zijn zoals de veranderlijke belastingen met externe oorzaak en de bijzondere belastingen. Veranderlijke belastingen met externe oorzaak, zoals verval over de deur en windgolven, hebben voor de kerende situatie een overschrijdingskans per jaar van 0,0008 tot 0,0001 (d.w.z. 1/1250 of 1/10000 al naar gelang het gewenste veiligheidsniveau) als dominante en 0,1 (d.w.z. 1/10) als combinante belasting; voor de deurbeweging is de overschrijdingskans 0,02 (= 1/50) als dominante en 1 als combinante belasting. De bijzondere belastingen hebben een overschrijdingskans van 0,02 (= 1/50) of 0,001 (= 1/1000) per jaar.

Bij de veranderlijke belasting is de belastingfactor γ voor de dominante belasting gelijk aan die voor de combinante belasting. Voor de vervalkrachten over de deur t.g.v. waterstanden en windgolven is deze gelijk aan 1,25, voor windbelasting 1,5. Voor de belastingcombinatie met een bijzondere belasting zijn de belastingfactoren voor alle belastingen (permanent, veranderlijk en bijzonder) gelijk aan 1.

Voor een uitgebreidere toelichting op bovenstaande begrippen wordt verwezen naar par. 13.3 uit hoofdstuk 13, Betonconstructies en fundering.

Tabel 12.1 (staalconstructie, achteraan dit hoofdstuk) geeft een overzicht van de rekenwaarden van de belastingen en de belasting- en duurfactoren met onderscheid in dominante en combinante waarden en in uiterste en bruikbaarheidsgrenstoestand. De tabel is op gelijke manier opgezet als tabel 3.1 uit de TAW-Leidraad Waterkerende Kunstwerken. Wanneer er sprake van een belasting is die niet in de opsomming van par. 12.1.3.2 voorkomt, wordt na vaststelling of de belasting permanent, veranderlijk of bijzonder is, de daarbij behorende belasting- en duurfactor toegepast.

12.1.3.4 Belastingcombinaties staalconstructie van puntdeuren

Zoals vermeld, is voor de deuren een aantal bedrijfstoestanden (bts) te onderscheiden, te weten deur gesloten, deur geopend, deur tijdens bewegen en deur tijdens montage, onderhoud e.d. De deuren worden uitgerekend voor de uiterste grenstoestanden gts1 (sterkte/evenwicht), gts2 (vermoeding) en voor de bruikbaarheidsgrenstoestand gts3 (vervorming). De belastingen voor de deuren bestaan uit permanente belastingen (altijd aanwezig), veranderlijke belastingen (aanwezig met waarde die afhangt van situatie) en bijzondere belastingen (mogelijk aanwezig). Voor de rekenwaarde van de belasting wordt de belasting vermenigvuldigd met een belastingfactor die afhangt van het soort belasting en van de grenstoestand.

Per bedrijfstoestand kan een aantal belastingcombinaties worden opgesteld. Elke belastingcombinatie bestaat uit een aantal belastingen die fysisch gezien tegelijkertijd kunnen optreden en waarvan een (of meerdere) belasting(en) dominant gesteld wordt (worden) en de rest combinant. De rekenwaarde voor een gunstig werkende permanente belasting wordt verkregen door $\gamma = 0,9$ te kiezen. Voor een veranderlijke en bijzondere belasting is de rekenwaarde bij gunstige werking gelijk aan nul.

Als voorbeeld voor een tweezijdig kerende puntdeur zijn in de tabellen 12.2a en 12.2b (achteraan dit hoofdstuk) de belastingcombinaties (bcs) gepresenteerd. Per combinatie zijn de belastingen met belas-

ting- en duurfactoren (dus de rekenwaarden van de belastingen) vermeld. Een belastingcombinatie bestaat dan uit de sommatie van de in de tabel vermelde rekenwaarden van de belastingen. Een aantal belastingcombinaties is direct al uitgesloten vanwege het niet maatgevend zijn. *De belastingcombinatie heeft de naam van de dominant gestelde belasting; in deze combinatie werken dus óók andere belastingen.* De volgende belastingcombinaties, beschreven in de tabellen 12.2a en 12.2b, kunnen er bijvoorbeeld als volgt uit zien (opm. dominant gestelde belasting is vetgedrukt):

Bedrijfstoestand bts1 (deur gesloten)

Uiterste grenstoestand gts1 (sterkte/evenwicht)

- bcs1a: Maximaal positief verval en windgolven
- bcs1c: Maximaal negatief verval en windgolven
- bcs1e: Translatiegolfbelasting
- bcs1g: IJsdruk (optie)
- bcs1h: Aanvaren gesloten deur (optie)
- bcs1i: Lekraken drijfkisten (optie)

Uiterste grenstoestand gts2 (vermoeding)

- bcs1j: Einde sluiten

Bruikbaarheidsgrenstoestand gts3 (vervorming) (voor deuren worden hier meestal geen eisen gesteld, tenzij sprake is van grote lekverliezen)

- bcs1b: Maximaal positief verval en windgolven
- bcs1d: Maximaal negatief verval en windgolven
- bcs1f: Translatiegolfbelasting

Bedrijfstoestand bts2 (deur geopend)

Uiterste grenstoestand gts1 (sterkte/evenwicht)

- bcs2a: Aanvaren geopende punt- of draaideuren (optie)
- bcs2b: Langsvaren geopende punt- of draaideuren (optie)

Bedrijfstoestand bts3 (deur tijdens bewegen)

Uiterste grenstoestand gts1 (sterkte/evenwicht)

- bcs3a: Blokkering door obstakel
- bcs3b: Botsen tegen aanslagen door falen wegmeetsysteem

Bedrijfstoestand bts4 (transport of montage)

Uiterste grenstoestand gts1 (sterkte/evenwicht)

- bcs4a: Stootfactor voor transport en montage

Bovenstaande belastingcombinaties betreffen dus een voorbeeld van een dubbelkerende enkele puntdeur. Andere deurtypen zoals draai-, rol- en hefdeuren maar ook andere puntdeuren zullen dus weer andere belastingcombinaties ondervinden.

Volgens NEN 6702 en NEN 6770 is een aantal soorten belastingcombinaties te onderscheiden:

- Fundamentele belastingcombinaties voor de uiterste grenstoestanden
- Bijzondere belastingcombinaties voor de uiterste grenstoestanden
- Incidentele combinaties voor de bruikbaarheidsgrenstoestanden
- Momentane combinaties voor de bruikbaarheidsgrenstoestanden

In alle vier soorten belastingcombinaties zijn permanente en veranderlijke belastingen aanwezig. In de tweede soort tevens één bijzondere belasting. Belastingcombinaties bcs1a, bcs1c, bcs1e en bcs1j zijn als fundamentele belastingcombinaties voor de uiterste grenstoestand aan te merken terwijl belastingcombinaties bcs1g, bcs1h, bcs1i, bcs2a, bcs3a, bcs3b en bcs4a bijzondere belastingcombinaties voor de uiterste grenstoestand zijn.

De deur die uit waterkerende beplating, stijlen, liggers, diagonalen, eindharren etc. bestaat, wordt geschematiseerd als een driedimensionaal model en opgelegd op zijn aanslagen en eventueel draaipunten. Daarbij moet rekening worden gehouden met het feit dat de aanslagen niet altijd volledig functioneren maar over beperkte lengte. Met bovengenoemde belastingcombinaties wordt de deur doorgere-

kend met bijvoorbeeld het eindig elementenpakket Diana, Ansys, MARC etc. De rekenresultaten worden getoetst aan de hand van normen voor sterkte/evenwicht, vermoeiing en vervorming zoals vermeld in NEN 6770 (Staalconstructies). Hierbij wordt gebruikt gemaakt van rekenwaarden van materiaalgrootheden met behulp van materiaalfactoren.

Opgemerkt wordt dat de deur dus ook op vermoeiing onderzocht wordt.

12.1.4 Werktuigbouwkundige constructies

12.1.4.1 Onderdelen, bedrijfstoestanden en grenstoestanden

De volgende *onderdelen* zijn voor de werktuigbouwkundige constructie te onderscheiden.

- Deurbewegingswerken:
 - Elektro-mechanisch (Panamawiel- of heugelaandrijving voor puntdeuren, kabellierwerk voor rol- en hefdeuren)
 - Elektro-hydraulisch (hydraulische cilinder voor puntdeuren en enkele draaideuren, kabellierwerk voor roldeuren)
- Schuifbewegingswerken:
 - Elektro-mechanisch (spindel)
 - Elektro-hydraulisch (hydraulische cilinder)
- Draaipunten
- Vergrendelingen
- Afdrukinrichting
- Onderrolwagens en bovenloopwagens van roldeur

In deze paragraaf wordt alléén doorgedaan op het onderdeel deurbewegingswerken. Op soortgelijke wijze zijn de schuifbewegingswerken, vergrendelingen, afdrukinrichtingen en rolwagens te behandelen.

Bedrijfstoestanden voor deurbewegingswerken zijn te onderscheiden in:

Buiten bewegingscyclus:

- btw1: Deur gesloten
- btw2: Deur geopend

Tijdens bewegingscyclus:

- btw3: Begin openen
- btw4: Tijdens openen
- btw5: Einde openen
- btw6: Begin sluiten
- btw7: Tijdens sluiten
- btw8: Einde sluiten
- btw9: Noodstop tijdens openen of sluiten (vertragen)
- btw10: Stop door blokkering obstakel of door falen wegmeetsysteem in eindstanden (vertragen)

Grenstoestanden zijn voor de deurbewegingswerken te onderscheiden in:

Uiterste grenstoestand

- gtw1: overbelasten overbrenging
- gtw2: vermoeiing overbrenging

Bruikbaarheidsgrenstoestand

- gtw3: overschrijden grensmotorkoppel / maximum- druk (tijdens bewegen)
- gtw4: overschrijden remkoppel / overstort (tijdens vasthouden)
- gtw5: overschrijden toegekend grensmotorkoppel / gemiddelde druk

12.1.4.2 Belastingen op deurbewegingswerken

Opnieuw wordt onderscheid gemaakt tussen permanente, veranderlijke en bijzondere belastingen. De genoemde veranderlijke en bijzondere belastingen betreffen belastingen die voor een deel via de deur het bewegingswerk belasten. Voor rol- en hefdeuren worden de belastingen in de vorm van krachten gepresenteerd, voor punt- en draaideuren als momenten om het draaipunt.

Permanente belastingen

Verticale, statische belastingen:

- F0
Eigen gewicht bewegingswerk, bij roldeuren incl. kabels en spangewichten, bij hefdeuren incl. deurgewicht, contragewichten en kabels
- F1
Bij hefdeur: opdrijvende kracht deur afhankelijk van waterstand en hefhoogte
- F2
Bij hefdeur: aan deur hangend water, ijs, sneeuw, slib, e.d.
Bij roldeur: ijs, sneeuw, slib, e.d.

NB. Bij roldeuren die door een drijvende bok geplaatst worden, hangen de rolwagens aan de deur.

Veranderlijke belastingen

Belastingen door externe oorzaak:

- $F11_{1000}$ of $F11_{10}$
Indien aanwezig: Maximale negatieve vervalbelasting over deur met overschrijdingsfreq./jaar van bijv. 0,001 (dominant) of 0,1 (combinant) bij gesloten deur.
- $F13_{50}$ of $F13_1$
Windgolfbelasting op deur met overschrijdingsfreq./jaar van 0,02 (dominant) of 1 (combinant), zowel buiten als tijdens bewegingscyclus.
- $F14_{50}$
Windbelasting op deur met overschrijdingsfreq./jaar van 0,02. Zowel buiten als tijdens bewegingscyclus.
- $F15_{50}$ of $F15_1$
Belasting op deur door translatiegolf, haling etc. met overschrijdingsfreq./jaar van 0,02 (dominant) of 1 (combinant). Wanneer deur gesloten, begin openen, tijdens openen, tijdens sluiten en einde sluiten.
- $F17_{50}$ of $F17_1$
Vervalbelasting over geopende deur t.g.v. langsvaren schip met overschrijdingsfreq./jaar van 0,02 (dominant). Deur geopend.
- $F18_{50}$ of $F18_1$
Weerstand door voor de deur bezonken slib met overschrijdingsfreq./jaar van 0,02 (dominant) of 1 (combinant). Tijdens begin/einde van openen/sluiten.

Hydraulische belastingen door deurbeweging:

- F20
Restvervalkracht (positief of negatief) over deur incl. dichtheidsverschil. Tijdens begin openen, met maximum-schutpeil.
- F21
Massatraagheidskracht water in en om deur. Tijdens begin/einde van openen/sluiten, noodstop, blokkering en botsing drempel met maximum-schutpeil.
- F22
Stromingsweerstand punt-/draaideur, doorstroomweerstand roldeur. Tijdens openen en tijdens sluiten met maximum-schutpeil.

- F23
Golfweerstand / opstuwing van water door deurbeweging. Tijdens openen en tijdens sluiten met maximum-schutpeil.
- F24
Kasweerstand van water door deurbeweging. Tijdens begin sluiten of einde openen met maximum-schutpeil.

Mechanische belastingen door deurbeweging

- F30
Dynamische kracht (d.w.z. krachten door massa-traagheid en door inschakelverschijnselen) van droge deur, bij roldeuren tevens van rolwagens, waterballast, bij hefdeuren tevens van contragewicht, kabels, buffers, e.d. Tijdens begin openen, einde openen, begin sluiten, einde sluiten, noodstop, blokkering en botsing drempel.
- F31
Dynamische kracht (d.w.z. krachten door massa-traagheid en door inschakelverschijnselen) door meebewegende onderdelen van bewegingswerk. Tijdens begin openen, einde openen, begin sluiten, einde sluiten, noodstop, blokkering en botsing drempel.
- F32
Wrijving van draaipunten (punt- en draaideuren), wrijving langs deurgeleiding (rol- en hefdeur) en wrijving langs afdichtingrubbers (rol- en hefdeur). Tijdens bewegingscyclus deur.
- F33
Kracht t.g.v. aanspannen buffers en indrukken fenders in eindstanden. Wanneer deur gesloten en geopend is.
- F34
Kracht t.g.v. kabelstramheid. Tijdens bewegingscyclus rol- en hefdeuren.

Bijzondere belastingen

Incidentele belastingen:

- F40
Belasting op bewegingswerk bij blokkering deur door obstakel bij einde sluiten en einde openen.
- F41
Belasting op bewegingswerk bij falen wegmeetsysteem in eindstanden.

Optionele belastingen:

- F51_{50/1000}
Vervalbelasting op deur t.g.v. sluiten in stromend water met overschrijdingsfreq./jaar van bijvoorbeeld 0,02/0,001 afhankelijk van programma van eisen. Tijdens sluiten en einde sluiten deur.

Opgemerkt wordt dat de belastingcomponenten F22 (stromingsweerstand), F23 (golfweerstand) en F24 (kasweerstand) afhangen van de deursnelheid die gedurende het bewegen kan variëren.

Tabel 12.3 (achteraan dit hoofdstuk) geeft een overzicht van de belastingen en de belasting- en duurfactoren voor deurbewegingswerken met onderscheid in dominante en combinante waarden en in uiterste grenstoestanden en bruikbaarheidsgrenstoestanden.

12.1.4.3 Belastingcombinaties elektrohydraulische bewegingswerken van puntdeuren

Algemeen

Voor de bewegingswerken is een aantal bedrijfstoestanden (btw) te onderscheiden. Per bedrijfstoestand zijn verschillende belastingcombinaties (bcw) mogelijk. Elke belastingcombinatie bestaat uit een stel belastingen die fysisch gezien tegelijk kunnen optreden en waarvan een (of meerdere) belasting(en)

dominant gesteld wordt en de rest combinant. Zijn er veranderlijke of bijzondere belastingen in een belastingcombinatie die ontlastend werken, dan worden deze weggelaten. Elke belastingcombinatie wordt onderzocht op de mogelijke grenstoestanden (gtw).

Voor een aantal bedrijfstoestanden wordt van tevoren bepaald welke belastingen dominant gesteld moeten worden. Daarmee wordt het aantal belastingcombinaties sterk beperkt. Dit komt in de plaats van het op een systematische manier samenstellen van belastingcombinaties door voor elke bedrijfstoestand alle belastingen één voor één dominant te stellen. Tevens wordt van tevoren gesteld welke grenstoestanden voor de betreffende belastingcombinatie van belang zijn, waarmee het aantal te onderzoeken gevallen verder beperkt wordt. Het op deze manier selectief omgaan met belastingcombinaties vereist ervaring op dit gebied; ontbreekt deze ervaring dan zullen veel meer belastingcombinaties onderzocht moeten worden.

Belastingcombinaties voor diverse bedrijfstoestanden

Als voorbeeld voor een tweezijdig kerende puntdeur met een elektrohydraulisch bewegingswerk zijn in tabellen 12.4a, 12.4b en 12.4c (achteraan dit hoofdstuk) de belastingcombinaties (bcw) gepresenteerd waarbij per combinatie de belastingen met bijbehorende belastingfactoren vermeld zijn als krachten F . De belastingcombinatie heeft de naam van de dominant gestelde belasting die in de tabel vetgedrukt is. In deze combinatie werken dus ook nog andere belastingen. De belastingcombinaties kunnen er bijvoorbeeld als volgt uit zien.

Bedrijfstoestand btw1 (deur gesloten)

Uiterste grenstoestand gtw1 (overbelasten overbrenging)

- bcw1a: Negatief verval
- bcw1d: Windgolven
- bcw1g: Translatiegolven

Uiterste grenstoestand gtw2 (vermoeiing overbrenging)

- bcw1b: Negatief verval
- bcw1e: Windgolven

Bruikbaarheidsgrenstoestand gtw4 (overschrijden overstort)

- bcw1c: Negatief verval
- bcw1f: Windgolven

Bedrijfstoestand btw2 (deur geopend)

Bruikbaarheidsgrenstoestand gtw4 (overschrijden overstort)

- bcw2a: Langsvaren schip

Bedrijfstoestand btw3 (begin openen)

Uiterste grenstoestand gtw1 (overbelasten overbrenging)

- bcw3a: Restverval en dynamica
- bcw3d: Extreme windgolven
- bcw3e: Extreme translatiegolven

Uiterste grenstoestand gtw2 (vermoeiing overbrenging)

- bcw3b: Restverval en dynamica

Bruikbaarheidsgrenstoestand gtw3 (overschrijden maximum-druk)

- bcw3c: Restverval en dynamica

Bruikbaarheidsgrenstoestand gtw5 (overschrijden gemiddelde druk)

- bcw3f: Restverval en massatraagheid

Bedrijfstoestand btw4 (tijdens openen)

Uiterste grenstoestand gtw1 (overbelasten overbrenging)

- bcw4a: Stromings- en golfweerstand

Uiterste grenstoestand gtw2 (vermoeiing overbrenging)

- bcw4b: Stromings- en golfweerstand

Bruikbaarheidsgrenstoestand gtw3 (overschrijden maximum-druk)

- bcw4c: Stromings- en golfweerstand

Bruikbaarheidsgrenstoestand gtw5 (overschrijden gemiddelde druk)

- bcw4d: Stromings- en golfweerstand

Bedrijfstoestand btw5 (einde openen)

Uiterste grenstoestand gtw1 (overbelasten overbrenging)

- bcw5a: Kasweerstand en dynamica

Uiterste grenstoestand gtw2 (vermoeiing overbrenging)

- bcw5b: Kasweerstand en dynamica

Bruikbaarheidsgrenstoestand gtw3 (overschrijden maximum- druk)

- bcw5c: Kasweerstand en dynamica

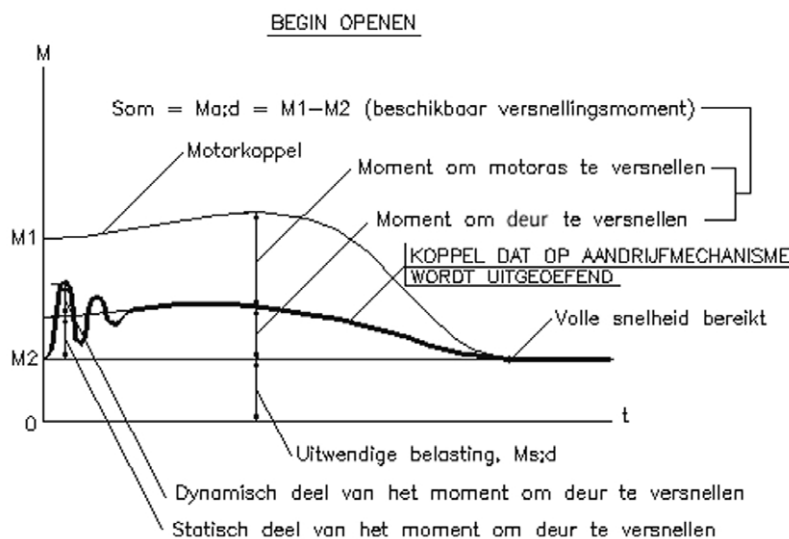
Bruikbaarheidsgrenstoestand gtw5 (overschrijden gemiddelde druk)

- bcw5d: Kasweerstand en massatraagheid

Uitsplitsing in statisch en dynamisch deel van de belasting

Zoals reeds vermeld worden de onderdelen van het bewegingswerk getoetst volgens NEN 6786 (VOBB, Lit. [12.4]). De rekenwaarden van de belastingen worden overeenkomstig deze norm bepaald wat onder meer inhoudt dat bij het versnellen, vertragen en remmen een dynamisch deel aan de belasting moet worden toegevoegd.

Het dynamisch deel van de belasting wordt bijvoorbeeld bij het begin bewegen veroorzaakt, doordat het bewegingswerk eerst op spanning wordt gebracht, de elektromotor draait dus al, waarna de puntdeur plotseling wordt meegenomen. Afhankelijk van de snelheden, versnellingen en de soort aandrijving, geeft dit enige schommelingen van de krachten in het bewegingswerk, zie fig. 12.1. Deze schommelingen zullen snel weer uitdempen.



Figuur 12.1 Statisch en dynamisch deel van de belasting

De tabel 12.5a geeft een overzicht hoe de belastingscombinaties uit de tabellen 12.4a, 12.4b en 12.4c, kunnen worden uitgesplitst in een deel uitwendige belasting ($F_{s;d}$) en een deel versnellingskracht ($F_{a;d}$). In de laatste kolom van tabel 12.5a worden de uitwendige belasting en de versnellingskracht dan weer gecombineerd uitgaande van de diverse grenstoestanden met een onderverdeling in bedrijfstoestanden. Voor een toelichting van de gebruikte symbolen en de gevolgde berekeningswijze, wordt verwezen naar de NEN 6786, art. 8.4.2.2 en verder.

Op soortgelijke wijze is tabel 12.5b (achteraan dit hoofdstuk) gepresenteerd voor het bewegingswerk dat electromechanisch wordt aangedreven en waarbij de belastingen als momenten (statisch $M_{s;d}$ en dynamisch $M_{a;d}$) worden ingevoerd.

Indien bij een noodstop de snelheid niet via een elektrische regeling tot nul wordt teruggebracht alvorens de rem valt, dient rekening te worden gehouden met de dynamische krachten die daarbij ontstaan.

Zie hiervoor de NEN 6786 (VOBB), art. 8.4.2.2.

Dimensioneren van bewegingswerk

Uit de belastingcombinaties bcw3c, bcw4c en bcw5c wordt het te installeren vermogen van het bewegingswerk voor het openen bepaald. In deze belastingcombinaties is de wind- en windgolfbelasting als een combinatiebelasting opgenomen. Opgemerkt wordt hierover dat tot op heden de vermogens van de bewegingswerken ontworpen zijn zonder deze wind- en windgolfbelasting in de maatgevende belastingcombinatie. Het bewegingswerk op zich was wel sterk genoeg om de belastingen op te nemen.

De bedrijfstoestanden van sluiten deur zijn ten opzichte van die van openen deur in de regel niet maatgevend en worden daarom niet onderzocht. Het vermogen voor sluiten wordt normaliter gelijkgesteld aan dat voor openen.

Hierbij wordt het volgende opgemerkt. Bij het openen is bij een puntdeur de trekkracht aan de deur maatgevend, bij het sluiten de drukkracht. De druk- en trekkracht is bij dezelfde oliedruk niet hetzelfde door het verschil in zuigeroppervlak. Het vermogen hoeft daarom in principe niet gelijk te zijn. Als er om te sluiten meerdere pompen worden geïnstalleerd omdat het slagvolume groter is dan bij het openen zijn de vermogens zeker niet hetzelfde.

Uit belastingcombinaties bcw1c en bcw1f volgt de houdkracht van het bewegingswerk voor de gesloten deur. Uit belastingcombinatie bcw2a volgt de houdkracht (of opspankracht) van het bewegingswerk (overstort of remkoppel) voor de geopende deur.

Hierbij wordt het volgende opgemerkt. Het gesloten houden van de deur tegen windgolven (bcw1f) is meestal voldoende. Zodoende wordt klappen voorkomen. De houdkracht in de geopende stand wordt meestal gelijk gehouden aan die van de gesloten stand. Daarnaast moet de houdkracht in geopende stand voldoende groot zijn om het effect van de zuiging van langsvarende schepen of halingen in de voorhaven te voorkomen.

Wanneer een gezonken obstakel tussen deur en drempel of een drijvend of gezonken obstakel tussen deur en deurkas de deur blokkeert, kan dit tot zeer grote reacties op de draaipunten leiden. Als het wegmeetsysteem van het bewegingswerk faalt kan de deur met grote kracht de drempel of de aanslagen raken. Om deze redenen wordt de maximaal leverbare kracht van het bewegingswerk beperkt voor het gebied vanaf 10^0 voor de gesloten stand tot de gesloten stand en eveneens 10^0 voor de open stand tot de geheel open stand. Deze kracht moet dan wel voldoende zijn om de gewenste voorspankracht te leveren.

Uit de overige belastingcombinaties wordt de overbrenging van het bewegingswerk (elektromechanische deel) getoetst op overbelasting (sterkte) en vermoeiing.

12.2 Ontwerp van sluisdeuren

In deze paragraaf wordt het voorontwerp van stalen deuren in hoofdlijnen behandeld als vervolg op par. 7.2 en 7.3 van deel 1. Het gaat om de wijze waarop de deur wordt vormgegeven en waarop gelet moet worden in samenhang met het gebruik als waterkering. Verder wordt besproken welke voorzieningen moeten worden aangebracht voor het bewegen van de deuren en voor het nivelleren van de kolk. Alleen de vier belangrijkste typen worden behandeld, namelijk puntdeuren, enkele draaideur, roldeur en hefdeur. De volgorde van de paragrafen komt overeen met de volgorde die bij het ontwerp van de sluisdeur aangehouden wordt. Voor figuren wordt verwezen naar hoofdstuk 7 van deel 1.

Het voert te ver om in het kader van dit boek materiaalkeuzes, hoofdafmetingen, lasvormen, e.d. te behandelen. Voor dit alles zijn voldoende specificaties, normen en handboeken beschikbaar. Ook constructiedetails blijven achterwege en hetzelfde geldt voor houten deuren.

12.2.1 Puntdeuren

12.2.1.1 Gegevens

De belangrijkste gegevens die nodig zijn alvorens het ontwerp van de deur ter hand genomen kan worden, zijn:

- plaats van de drempel;
- niveau van de kerende hoogte van het sluishoofd;
- praktische dagmaat van het sluishoofd;
- maximale belasting bij het keren;
- plaats van het aangrijpingspunt van de bewegingswerk;
- de grootte en richting van maatgevende krachten en belastingen die tijdens het bewegen op de deur werken;
- afmetingen, aantal en plaats van de nivelleeropeningen.

12.2.1.2 Type en plaats draaipunten

Bij het ontwerp van de deur moet vooraf het type bovendraaipunt bekend zijn omdat dit het verdere ontwerp sterk beïnvloedt. Er is een bovendraaipunt met speling (fig. 7.17) en een spelingsvrij bovendraaipunt (fig. 7.18).

Bij een draaipunt met speling kan de halspen zoveel bewegen dat wanneer de deur gesloten is, het lager geen belasting opneemt, maar deze overdraagt naar de verticale aanslagen. De argumenten daarvoor zijn in par. 7.2.2 vermeld (zie ook fig. 7.21). Er zijn twee houten aanslagen: een achteraanslag die de spatkracht opneemt en een zijaanslag die de vervalkracht overdraagt en tevens de afdichting verzorgt. Bij begin van openen deur moeten beide houten aanslagen direct vrijkomen van de aanslagvlakken waarop ze steunen. Dit soort draaipunt wordt daarom vrijdraaiingspunt genoemd.

Voor het bepalen van de plaats van het vrijdraaiingspunt wordt als volgt te werk gegaan. De deurdikte is ca. 1/16 tot 1/20 van de dagmaat van de sluis. De aanslag B (fig. 7.21) wordt in de materiaalas van de deur (neutrale lijn) gezet. Deze aanslag brengt de spatkracht (een drukkracht in de deuras) over van deur naar kaswand. Het midden van de buitenzijde van aanslag B in gesloten deurstand wordt met het overeenkomstige punt in geopende deurstand (B') verbonden, van dit lijnstuk wordt de middelloodlijn getekend. Dit wordt ook gedaan voor de aanslag loodrecht op de materiaalas (AA'). Het snijpunt van de middelloodlijnen is het vrijdraaiingspunt D. In de figuur valt het vrijdraaiingspunt D bijna buiten de dikte van de deur. Door de aanslag A langs de deur te verschuiven kan het vrijdraaiingspunt D meer binnen de dikte van de deur worden gebracht. Lukt dat niet, dan moet de dikte van de deur worden aangepast. De plaats van aanslag B kan niet veel gevarieerd worden. Enerzijds omdat het inwendig deurmoment beïnvloed wordt als de spatkracht niet geheel samenvalt met de materiaalas. Anderzijds door de vormgeving van de deurkas, omdat bij openen van de deur voldoende ruimte aanwezig moet zijn om water rond de achterkant van de deur af te kunnen voeren.

Bij een spelingsvrij draaipunt wordt de belasting op de deur via de lagers naar de deurkas afgevoerd (fig. 7.16, deuren kerend, vast draaipunt). Langs de omtrek van de deur is een enkele, rubber afdichting aanwezig die niet als echte aanslag werkt. (Opm. Er wordt dus geen houten afdichting aangebracht die tevens als aanslag zou kunnen werken.) In gesloten stand staat dit profiel onder voorspanning om lekkage te voorkomen. Het rubber zal direct bij het begin openen langs het afdichtingsvlak schuiven. Om slijtage te beperken wordt in het beton een gladde corrosie-bestendige strip opgenomen of wordt het rubber voorzien van een kunststof draagvlak.

Een draaipunt moet het gewicht van de deur afvoeren naar de het sluishoofd. In de regel wordt daarvoor het onderdraaipunt, de taats met taatskom, gekozen. Tegenwoordig wordt daar soms het bovendraaipunt voor genomen vanwege mogelijk lagere onderhoudskosten of in verband met een zwakke sluisbodem bij reconstructies.

12.2.1.3 Afmetingen deurkas

Evenwijdig sluisas

Uit de plaats van het draaipunt en de aanslagen en uit de afmetingen van de aanslagen ligt de afstand van draaipunt tot einde deurkas, gemeten in de richting van de sluisas, vast.

De theoretische lengte van de deur volgt uit de helling van 1 : 3 die de deur inneemt t.o.v. de lijn loodrecht op de sluisas, uit de plaats van het draaipunt in de richting loodrecht op de sluisas en uit de praktische dagmaat van het sluishoofd. Deze praktische dagmaat is iets groter dan de vereiste doorvaartwijdte van de sluis om te voorkomen dat de sluis door eventuele vervorming van de wanden te nauw zou kunnen worden. In par. 4.6.3 is dit besproken.

De deurdikte is in de regel 1/16 tot 1/20 van de dagmaat van het sluishoofd.

De afstand van deurtip bij geopende deur tot het einde van de deurkas (maat L1 van fig. 7.22) bedraagt ca. 0,8 keer de deurdikte. Deze maat moet groot genoeg zijn om het water rondom de deurtip zodanig te laten toe- of afstromen dat geen grote waterstandsverschillen tussen het water aan de kas- en kolkzijde van de deur optreden.

Loodrecht sluisas

De voorzijde van de deur in geopende stand wordt enkele centimeters teruggehouden van de dagmaat van het sluishoofd. Aan de voorzijde bevindt zich de beplating met daarop de wrijfhouten om de beplating en verf van de deur in geopende stand te beschermen tegen beschadiging door langsvarende schepen.

De ruimte tussen deur en deurkas in de richting loodrecht op de sluisas moet voldoende groot zijn om de deurschuiven met bewegingswerken aan de niet-beplatingszijde van de deur te bergen. Verder moet deze ruimte ook diep genoeg om de waterstandsverschillen voor en achter de deur te beperken. De maat b1 (fig. 7.22) bedraagt ca. 0,4 keer de deurdikte.

Ruimte onder de deur

De ruimte onder de deur dat wil zeggen tot de bodem, moet voldoende zijn. Een vaste maat is daarvoor niet aan te geven omdat deze afhankelijk is van de grootte van de sluis, de te verwachte problemen, alsmede plaatselijke omstandigheden. Door een ruimte van ten minste 20 cm te kiezen, kan meestal worden voorkomen dat de deur klem loopt door een obstakel op de bodem vóór de drempel of in de kas. Bij onvoldoende vrijloop aan de onderzijde kan de deur zelfs omhoog gedrukt worden tijdens het bewegen. De halsbeugels zijn hierop niet berekend, of kunnen die beweging niet volgen.

12.2.1.4 Constructie deur

Beplating

De afdichtende wand van de deur wordt gevormd door een verstijfde plaatconstructie. De beplating is meestal niet dunner dan 10 mm. Bij de berekening op sterkte wordt normaliter geen vermindering door corrosie bij beschadiging van de conservering in rekening gebracht. De beplating bevindt zich bij voorkeur aan de benedenstroomse- of laagwaterzijde. De redenen daarvoor zijn vermeld in hoofdstuk 7. De plaat reikt van de kerende hoogte tot onder de drempel. Tussen de horizontale liggers wordt de beplating, waar nodig, verstijfd door stijlen, die de belasting op de beplating overdragen naar de liggers.

Horizontale liggers

De beplating wordt ondersteund door horizontale liggers (figuren 7.1, 7.2 en 7.3). Het aangrijpingspunt van het bewegingswerk wordt aan de bovenste ligger d.m.v. bouten bevestigd, soms ook direct gelast. De bewerking van het gat voor de aansluitpen kan problematisch zijn. De plaats van de bovenste ligger wordt enerzijds bepaald door het niveau van het aangrijpingspunt van het bewegingswerk, anderzijds door de plaats waar die ligger nodig is voor het steunen van de halsspen. De onderste ligger ligt onder de drempel van de sluis in het hart van de onderaanslag. Het aantal tussengelegen liggers is afhankelijk van de hoogte van de deur, het verval over de deur en eventueel van de beschikbare dikte van de deur. De verdeling van de liggers over de hoogte is afhankelijk van het verval en van de hoogte van de deur. Bij kleine vervallen is dat gelijkmatig; bij grote vervallen kan de afstand boven de laagwaterlijn groter zijn naarmate de druk afneemt, daaronder wordt de afstand zoveel mogelijk gelijkgehouden, of functioneel aangepast. Zeer lage deuren hebben geen tussengelegen liggers maar alleen verticale stijlen.

De lijfplaten van de liggers worden waar nodig van voldoende gaten voorzien om te voorkomen dat, bij een dalende waterstand water in de liggers blijft staan. Bij een stijgend niveau, dus ook bij het monteren van de deur, wordt voorkomen dat luchtbellen worden opgesloten.

Nivelleeropeningen

De plaats van de op een na onderste ligger wordt vaak bepaald door de nivelleeropeningen. De onderkant van deze openingen is meestal net boven de drempel gesitueerd. De openingen zijn kokervormig. Voor de waterdichte onderafdichting van de openingen moet een horizontaal schot aangebracht worden. Als de belasting op de onderaanslag gering is wordt de onderste ligger daarvoor gebruikt. (zie fig. 7.3). Wanneer deze belasting groot is, worden de krachten van de onderaanslag door de verticale schotten rond de nivelleeropening overgenomen en overgebracht naar de ligger daarboven. Voor de bovenafdichting van de openingen wordt bij voorkeur de tweede ligger van onder gebruikt. Door de schuine stand van de deuren ten opzichte van de sluisas is het voor de deuren in het bovenhoofd dikwijls vereist dat de richting van de stroming door de openingen in de richting van de sluisas wordt omgebogen. Zoals in fig. 7.3 is te zien, zijn extra schotten als geleidingen geplaatst. De schuiven bevinden zich aan de niet-beplatingszijde.

Voorhar

De deuren steunen tegen elkaar met houten aanslagen op de voorharren en dichten hierop af. Elke aanslag wordt ondersteund door een verstijvende plaatconstructie achter de lijfplaat van de eindligger van de voorhar. De kracht uit de voorhar wordt via de voorwand en voor een deel door de genoemde verstijving naar de horizontale liggers afgedragen.

Achterhar

De eindligger is dat deel van de achterhar dat de helft van de vervalbelasting overdraagt naar de deuren en waar de deur afdicht. De plaats van de eindligger hangt af van de grootte van de halsspen en de halsbeugel.

Bij een draaipunt met speling (vrijdraaiingspunt) wordt de spatkracht over de gehele hoogte van de deur op de wand overgebracht. Dan moet tussen de houten aanslag en de eindligger een lijfplaat worden aangebracht die de kracht uit de horizontale liggers over de gehele hoogte kan spreiden. Voorbeelden daarvan zijn te zien in de figuren 7.1 en 7.3. Bij een vast draaipunt wordt de spatkracht overgedragen naar het boven- en onderdraaipunt; bovendien ontbreekt de lijfplaat.

Torsiestijfheid

Puntdeuren moeten torsiestijf zijn omdat de krachten die het bewegingswerk tijdens het draaien op de deur uitoefent, niet in het zelfde vlak liggen als de resultante van de uitwendige hydraulische belastingen. Maatgevend is het vastlopen van de deur tegen een obstakel voor de drempel of in de deurkas, op korte afstand van het draaipunt. Een puntdeur die ook aan negatieve belastingen onderworpen is, wordt ook doorgerekend met de minder logische belasting voor dat deurtype en de daaruit volgende vervormingen. Die deuren moeten in het algemeen torsiestijver zijn om (te grote) lekkage tegen te gaan.

De deur verkrijgt torsiestijfheid door een kokerconstructie in de deur (fig. 7.3) of door een verband aan de niet-beplatingszijde (fig. 7.2). De koker sluit aan op de achterhar en moet luchtdicht zijn om corrosie van binnenuit te voorkomen. Als een erg grote kokerafmeting vereist is kan het opdrijvend vermogen van de deur te groot worden voor het minimaal benodigde overgewicht op de taats en heeft een verband constructie de voorkeur. In fig. 7.2 beslaat het verband een gedeelte van de deurbreedte.

12.2.1.5 Constructie draaipunten

Bovendraaipunt met speling

De halspen wordt uitkragend aan de deur bevestigd om het plaatsen van de deur te vereenvoudigen. Meestal wordt de halspen op twee plaatsen aan de deur bevestigd: aan het verlengde deel van de lijfplaat van de bovenste horizontale ligger (de bovenregel) en via een schot dat tegen de eindligger van de achterhar is bevestigd. De grootste kracht wordt door de bovenregel opgenomen, de kleinste door het lijf en de flenzen van de eindligger. De pen wordt op de laatstgenoemde plaats in langsrichting opgesloten om ook de verticale belasting, die de uitkragende ondersteuning veroorzaakt, op te kunnen nemen.

De halsbeugel (zie fig. 7.17) wordt zo genoemd omdat de sluiting als een beugel om de halspen kan draaien. De speling ter plaatse van de deling is nodig omdat de beugel anders niet om de halspen kan draaien en omdat anders de deur ook niet loodrecht op de deuras kan verplaatsen, om tegen de aanslag te gaan steunen. De speling is geen bezwaar omdat de krachten op het lager beperkt zijn. In conventionele uitvoering is de halspen vervaardigd van smeedstaal (42CrMo6) terwijl de halsbeugel een aluminium/bronzen voering heeft. Voor de Krabbersgatsluizen wordt voor laatstgenoemde voering een vezel-versterkte kunststof voering toegepast, zodat het lager volledig onderhoudsvrij is.

De verankering in de wand moet sterker zijn dan de boutverbinding. Bij overbelasting door bijvoorbeeld een zware aanvaring of het klemlopen van de deur door een obstakel bij het draaipunt, moet de verankering in stand blijven. Een langdurige stremming van de sluis wordt zodoende voorkomen.

Bovendraaipunt zonder speling

Een spelingsvrij lager krijgt grote krachten te verduren omdat de gehele vervalbelasting en optredende spatkrachten door de lagers worden afgevoerd. De halsbeugel is ongedeeld en laat door de grootte van de belasting geen speling toe. Het draaipunt wordt uitgevoerd met een wentel- of kogelgewrichtslager, dat wordt bevestigd volgens fig. 7.18. De verankering van het draaipunt in de wand van de kas moet sterker zijn dan die van de halsbeugel. De boutverbinding moet ook hier de zwakste schakel zijn.

Onderdraaipunt

Het onderdraaipunt bestaat uit een taats en een taatskom (fig. 7.19). De taats is zo mogelijk onder de lijfplaat van de onderligger bevestigd. In verband met de zeer hoge contactspanning tussen taats en taatskom worden de contactvlakken uit een sterk en slijtvast materiaal vervaardigd, meestal mangaanstaal. De ervaring heeft geleerd dat mangaanstaal in taatsen schroefdraadvormige slijtage geeft waardoor de levensduur hiervan korter zou kunnen zijn dan van de deur, tenzij de diameter van de taats vergroot wordt. Om schroefvormige slijtage te voorkomen is voor de Krabbersgatsluizen een alternatief gekozen bestaande uit een RVS taatskom en een taatskap die bekleed is met een vezelversterkt kunststof (Feronorm T814). De RVS taatskom moet wel geïsoleerd worden van het omringende staal.

De inwendige diameter van de taatskom heeft ruime speling t.o.v. de taats, onafhankelijk of het bovendraaipunt met of zonder speling uitgevoerd wordt. Deze speling is naast het kunnen zetten van de deur ook nodig voor het plaatsen van de deur in de natte. Bij een bovendraaipunt met speling geeft het verschil in afrondingsstraal van taats en taatskom de deur de gelegenheid de kantelende beweging te maken aan het einde van het sluiten. De grootte van de afrondingen is afhankelijk van het te ondersteunen gewicht.

De taatskom brengt de horizontale en verticale belasting naar de taats over. Bij een deur met een vrijdraaiingspunt is de horizontale belasting alleen als gevolg van het moment door het deurgewicht. Bij een spelingsvrij bovenlager bestaat de horizontale belasting verder nog uit een aanmerkelijk deel van de spatkracht en de vervalbelasting over de deur.

12.2.1.6 Verdere details

Schuifgeleidingen

De geleidingen van de schuiven worden aan de deuren gelast. Bij positief kerende schuiven is dat meestal een U-profiel waarbinnen de banen op een bewerkt vlak met bouten worden bevestigd. Moeten de schuiven ook negatief keren dan wordt de geleiding ontworpen zoals fig. 7.123 aangeeft. De geleidingen worden zo hoog mogelijk naar boven doorgetrokken om de schuiven in de "natte" te kunnen verwisselen. Het plaatsen van de schuiven kan daarbij visueel worden waargenomen. Een voorbeeld daarvan is te zien in fig. 7.124.

Onder de schuiven worden steunen aan de deur bevestigd. De schuiven moeten daarop kunnen blijven staan bij het demonteren van de bewegingswerken. In die stand moeten de schuiven niet meer lekken dan normaal is toegestaan. In bedrijf moeten de steunen zo laag staan dat de schuif in de eindstand van het schuifbewegingswerk vrij blijft van de steunen.

Loopbordes

Als de deur wordt uitgerust met een loopbordes, dan is dat van staal, hetzij met een roosterconstructie, hetzij met een staalplaat voorzien van een stroeve laag. Bij een roosterconstructie is de toegankelijkheid naar de bewegingswerken beter te realiseren omdat er bij een stalen dek zware luiken voor nodig zijn.

Het bordes wordt meestal zo breed mogelijk uitgevoerd, maar mag niet buiten de deur uitsteken omdat dit door lichte aanvaringen veelvuldig beschadigd kan worden. Het bordes sluit aan de zijde van het draaipunt cirkelvormig aan op het sluisniveau. Bij de voorharren is een spleet tussen de bordessen van enkele centimeters meestal voldoende om ook vanwege de deurkanteling na sluiten, vrij te blijven. Is het bordes bestemd voor het beheer en onderhoud door het sluispersoneel, dan is een enkele leuning voldoende. Is het pad ook openbaar toegankelijk, dan hebben beide zijden een leuning.

Geleidebalken

Aan de beplatingszijde, in geopende stand van de deur is dat de kolkzijde, is de deur voorzien van houten geleidebalken om beschadiging door langsvarende schepen te voorkomen. De plaats van de balken

is afhankelijk van de meest voorkomende waterstanden in combinatie met de meest voorkomende scheepstypen. De balken worden zoveel mogelijk vóór de liggers of verstijvingen geplaatst die zich achter de beplating bevinden. Een andere mogelijkheid is de balken extra te ondersteunen.

Deurkasaanslagen

Op de deur en/of aan de wand van de deurkas worden aanslagen aangebracht om te voorkomen dat de deur bij een aanvaring het bewegingswerk naar binnen kan duwen en wellicht zou overbelasten. In geopende stand wordt de deur met voorspanning tegen die aanslagen getrokken om het uitzuigen van water uit de deurkassen door langsvarende schepen te voorkomen.

12.2.2 Draaideuren

Constructie deur

Het ontwerp van een draaideur verschilt maar weinig van een puntdeur; de draaideur heeft op enkele uitzonderingen na dezelfde samenstellende onderdelen. De deur wordt door de vervalbelasting in hoofdzaak op buiging belast en is daardoor aanmerkelijk dikker dan een puntdeur. De dikte bedraagt 1/6 tot 1/8 van de dagmaat van het sluishoofd. Het bewegingswerk veroorzaakt een druk- of trekkracht in de deur; trek in geopende stand, soms druk in gesloten stand van de deur. De trek-duwstang grijpt in die gevallen aan tussen de voor- en achterhar.

Figuur 7.5 geeft een voorbeeld van een draaideur. De deur is opgebouwd uit een beplating die rondom en horizontaal versterkt is door liggers, met daartussen de benodigde verstijvingen.

Aan het verlengde van de bovenste horizontale ligger wordt de halspen bevestigd en grijpt het bewegingswerk aan. De nivelleeropeningen, de hoogte van de beplating, de schuifgeleidingen, het looppad, de bevestigingen van de houten en flexibele aanslagen, de ruimte in de deurkas en onder de deur, wijken niet wezenlijk af van het gestelde bij de puntdeuren.

Draaipunten

De draaideur kan niet, zoals de puntdeur, in de gesloten stand door de waterdruk worden vrijgedrukt in de halsbeugel. Het bovendraaipunt heeft daarom geen speling in de richting van de as van de deur nodig. De hoek waarover de deur draait is te groot om de halspen dwars op de deuras te kunnen laten bewegen. Draaideuren hebben daarom in het algemeen een "vast" bovendraaipunt. De plaats van het bovendraaipunt ligt wat hoger ten opzichte van wat gebruikelijk is bij een puntdeur vanwege de doorvoer van het verlengde van de bovenste ligger naar de bewegingswerkkelder. De pen wordt daardoor ongunstig belast. De halsbeugel wordt op de wijze van fig. 7.25 in de wand verankerd. In gesloten stand neemt het ene anker de belasting van de waterdruk op, het andere het deurgewicht. In geopende stand wordt het deurgewicht door het eerstgenoemde anker opgenomen. Tijdens het bewegen wordt in hoofdzaak dat anker extra belast door de beweegkracht.

Het onderdraaipunt, de taatsconstructie, is gelijk aan dat bij een puntdeur, dus met voldoende speling om de deur in de natte te kunnen monteren.

Aanslag en afdichting

Van een deur met éézijdige kering wordt de vervalbelasting aan de zijde van de draaias door de beide draaipunten opgenomen. De afdichting bij de achterhar moet flexibel zijn - dus met een rubber profiel - om klemmen te voorkomen.

Als de deur gesloten is wordt bij de voorhar de belasting wel door een massieve (houten) aanslag opgenomen. Het bewegingswerk moet de deur in gesloten stand met enige voorspanning tegen de kop van de sluiswand drukken, vooral in geval van windgolven. Als de belasting te groot is voor het hout, worden op die plaats ook wel stalen zadels en opleggingen toegepast met daarnaast een flexibele afdichting.

De onderaanslag moet flexibel zijn; enerzijds om klemmen te voorkomen; anderzijds om de doorbuiging

van de onderzijde van de deur te kunnen volgen en daar geen grote reacties op te wekken. Een te stijve aanslag zou door de vervorming van de deur op andere plaatsen lekkage veroorzaken.

Indien sprake is van tweezijdige kering waarbij lekkage geen probleem is, dan kunnen dezelfde aanslagen worden toegepast als bij eenzijdige kering.

Mag slechts geringe lekkage optreden dan moeten de onderafdichting en de afdichting op de voorhar flexibel zijn en de vervorming door de negatieve belasting kunnen volgen. Is de positieve belasting groot en daardoor de flexibele aanslag stijf, dan is het gewenst om op de voorhar een houten aanslag of stalen zadels, met daarnaast een zeer flexibele afdichting, toe te passen. Het bewegingswerk behoeft in dat geval de deur minder zwaar aan te drukken.

Bij toepassing van een grendel neemt deze de functie van het voorspannen van de flexibele aanslagen tegen de kop van de sluiswand over van het deurbewegingswerk. De grendel (figuur 7.26) kan door zijn werkwijze, namelijk het verdraaien van de excentrische as tot de uiterste stand, massieve aanslagen niet helemaal aandrukken. Daar zouden bijna oneindig grote krachten voor opgewekt moeten worden. Ook bij deze werkwijze moet enige speling blijven bestaan, nu echter tussen deur en voorkant van de sluiswand. De flexibele aanslag moet die speling met nog voldoende voorspanning overbruggen.

12.2.3 Roldeuren

12.2.3.1 Inleiding

Het in deze paragraaf te bespreken voorontwerp is dat van een deur van een grote sluis.

Gekozen is voor een hoge deur aan een getijdegebied. Uitgangspunt is dat voor de montage voldoende drijvende hijswerktuigen beschikbaar zijn. Daarom is de deur niet uitgerust met een eigen drijfsysteem. De deur met rolwagens wordt met een drijvende bok in de sluiskolk op de rails geplaatst. Tijdens het zakken wordt de deur geleid tussen de aanslagen in de deurnis en de deurkas. De deur heeft dan ook geen voorzieningen nodig voor het monteren en verwisselen.

De deur wordt gedragen door twee onderrolwagens. De horizontale ondergeleiding geschiedt met schuivers langs ingebetonneerde banen; de bovengeleiding met afdrukbare wielen langs de geleiderails op de deur.

Het aandrijfsysteem van de deur is dat met twee kabels waarvan de aandrijftrommel aan één zijde is geplaatst.

In de deur bevinden zich nivelleeropeningen.

12.2.3.2 Constructie deur

Een roldeur is een gelaste stalen constructie die uit twee evenwijdige verticale plaatvelden bestaat die door horizontale plaatvelden met elkaar verbonden zijn. Hierdoor ontstaat een aantal horizontale kokers boven elkaar. De kokers zijn zo open mogelijk om het water tijdens het bewegen door de deur te laten stromen met uitzondering van het gedeelte waar de eventuele luchtkisten en eventuele nivelleeropeningen zijn aangebracht.

Deurdikte

De deurdikte wordt enerzijds bepaald door de benodigde sterkte en stijfheid voor de belasting tijdens het keren, anderzijds door de afmetingen van de onderrolwagens. Ter weerszijden van de wagens, maar ook aan de bovenzijde wordt een vrije ruimte van minimaal 0,20 m aangehouden. Zwevend vuil zou anders klem kunnen raken tussen de portalen binnen de beplating van de deur en de zijkant van een rolwagen. Ook in de omgeving van de oplegging op de rolwagen moet voldoende vrije ruimte zijn zodat de deur niet op een verkeerde plaats op de rolwagen kan gaan steunen.

Wanden

De roldeur heeft twee volledig afdichtende wanden, één voor de positieve kering en één voor de negatieve. Evenals bij de punt- en draaideuren bevinden de kerende wanden zich aan de dan heersende benedenstroomse zijde. In een getijdegebied loont het economisch gezien meestal om de beplating niet even hoog te maken, aan de zeezijde is de bovenkant van de beplating daarom aanmerkelijk lager dan aan de kanaalzijde.

Elke wand bestaat uit een beplating die gesteund wordt door horizontale regels en verticale stijlen. De belasting op de beplating wordt via de regels naar de stijlen afgevoerd. De onderlinge afstanden tussen de stijlen worden beïnvloed door de plaats van de rolwagens en de nivelleeropeningen. De stijlen mogen maar een beperkte werkende hoogte hebben om tussen de wanden een zo groot mogelijke doorstroomopening in langsrichting van de deur te formeren.

Horizontale liggers

Horizontale liggers koppelen de beide wanden en voeren de belasting af naar de eindportalen. De horizontale liggers bestaan uit horizontale platen, verstijfd met horizontale steunbalken (loodrecht op het deurvlak) ter plaatse van de stijlen van de wanden. Het aantal liggers is afhankelijk van de hoogte van de deur en de belasting op de wand.

De plaats van de onderste ligger wordt door een aantal zaken bepaald:

- Onder de eerste ligger moet de wand voldoende elastisch zijn om de doorbuiging van de deur te kunnen volgen. Dat wordt de verende plaat genoemd. De plaat zelf wordt van binnenuit tegen de verticale drempel gedrukt en dicht daardoor zichzelf af (fig. 7.35).
- De ondersteuningsconstructie voor de onderrolwagens
- De nivelleeropeningen worden meestal zo dicht mogelijk boven de drempel gesitueerd dus net boven de onderste of één na onderste ligger.

De plaats van de ligger boven de nivelleeropeningen (dus de op een of twee na onderste ligger) hangt weer af van de hoogte van de openingen. De liggers onder en boven de nivelleeropeningen vormen dan tevens de onder- en bovenkant van de kokervormige nivelleeropeningen door de deur (2e gedeelte van fig. 7.36). In de deur is over de volle lengte een min of meer gesloten koker aanwezig waarmee de deur ook torsiestijfheid verkrijgt.

De overige horizontale liggers tussen de wanden worden over de hoogte van de deur verdeeld, afhankelijk van de sterkte van de stijlen en de belasting van de vervalddruk op de wand.

Raamwerken

De stijlen van de wanden vormen samen met de verstijvingen van de horizontale liggers een raamwerk (of portaal) in de vorm van "vierendeel" systeem in het vlak loodrecht de deur (fig. 7.36). Deze raamwerken vergroten de torsiestijfheid van de deur in langsrichting hoewel de torsiestijfheid ook niet te groot mag zijn. Enerzijds moet de deur torsiebelasting kunnen opnemen tijdens het bewegen door de geleiding op drie steunpunten en moet bij het verlaten of naderen van de nis door de geleidingen weer in de juiste vorm worden gedwongen. Anderzijds moet de deur in de kerende situatie de stand van de wellicht niet zuiver te lood staande verticale aanslagen in de nis en de kas kunnen volgen zonder overbelast te geraken.

De eindportalen brengen de belastingen uit de horizontale liggers naar de verticale aanslagen in de deurkas en nis. De eindportalen moeten voldoende stijf (dus hoog) uitgevoerd worden om de krachten zo gelijkmatig mogelijk over die aanslagen te kunnen verdelen. Dit kan in tegenspraak zijn met de eis om de deur zo goed mogelijk doorstroombaar te maken. Zijn die eindportalen te hoog en te veel gesloten dan moet de constructie meer open worden gemaakt. Een vakwerkligger als eindportaal voldoet wellicht beter.

12.2.3.3 Verdere details

Ondersteuning onderrolwagens

De ondersteuning van de deur op de twee onderrolwagens bevindt zich bij voorkeur ter plaatse van portalen. De wagens worden zo ver mogelijk uit elkaar geplaatst. De maximum-druk op de ondersteuning wordt dan zo klein mogelijk als gevolg van de trekkracht van het deurbewegingswerk. De minimumdruk op de ondersteuning bepaalt het overgewicht van de deur. Aan de onderzijde van de deur zijn vuilroosters aangebracht om te voorkomen dat de deur klemloopt.

Ondergeleidingen

Aan de onderzijde van de deur bevinden zich vier geleidingen op de buitenzijde van de wanden bij de eindportalen. De deur kan daarmee zichzelf geleiden in de sleuf onder de drempel in de sluisvloer. Is de ondergeleiding schuivend, dan bestaan deze geleidingen op de deuren uit stalen schuivers of glijsloten (par. 7.4.4.3.2). Op de zijwanden van de sleuf zijn dan kunststof banen ingebetonned.

Bovengeleiding

Aan weerszijden langs de bovenzijde van de deur bevinden zich railbanen voor de bovengeleiding. De deur wordt met horizontale wielen die bij de ingang van de deurkas en -nis geplaatst zijn, daarlangs geleid (par. 7.4.4.3.3).

Nivelleeropeningen

Nivelleeropeningen worden in beide wanden aangebracht (fig. 23.21 en foto 12.1). Aan één zijde zijn tweezijdig kerende schuiven nodig. De eerder genoemde koker met tussenschotten, zorgt voor de doorvoer en de verdeling in de breedte van de schuttschijf. De schuiven met geleidingen en bewegingswerken moeten binnen het dwarsprofiel van de deur vallen, om de verticale aanslagen in de deurkas te kunnen passeren. Dat kan door het eindportaal aan de kaszijde symmetrisch breder uit te voeren dan de breedte over de beplatingen. Het kan ook door de beplating aan de zijde van de deurschuiven te laten inspringen t.o.v. de sleuf in de bodem en van de aanslag op het eindportaal aan dezelfde zijde van de deur. Het betekent dus dat de horizontale en verticale aanslagen vóór de beplating worden uitgebouwd. De horizontale uitbouw begint dan bij de onderste ligger, waaronder de verende plaat wordt bevestigd. De verticale uitbouw wordt verkregen door de stijlen van de eindportalen aan één zijde buiten de beplating te laten uitsteken.

Afdichting

De afdichting vindt plaats tegen de beide verticale wanden van de deur bij de zijkanten en de onderand. Aan de deur zijn op deze plaatsen doorgaande stalen strippen aangebracht. In het beton zijn aan de zijkanten van de sleuf en bij de ingang van de deurkas en -nis, kunststof strippen bevestigd. De onderaanslag van de deur is op een verende plaat aangebracht.

De overdracht van de horizontale vervalbelasting op de deur gebeurt via dezelfde zijafsluitingen. De horizontale ondergeleiding met schuivers op de deur verloopt via genoemde kunststof baan van de onderafsluiting.

12.2.4 Hefdeuren

De hefdeur is een deurtype dat voor één- en tweezijdige kering constructief en sterkte-technisch op dezelfde wijze ontworpen wordt. Voor de negatieve kering is een extra verticale afdichting nodig. Bij een deur die schuivend geleid wordt, is zelfs dat niet nodig: in de nis wordt de deur dan tussen twee geleidingen bewogen die tevens de afdichtingen vormen.

Het hierna beschreven ontwerp is een hefdeur in een riviersluis met tweezijdige kering, dus aan de ingang van een kanaal. De waterstand in de rivier kan hoger maar ook lager zijn dan het kanaalpeil. De

sluis is in de luwte van de bebouwing gelegen, wordt niet door hoge windgolven belast en ondervindt alleen invloed van translatiegolven van door de rivier varende schepen. Het positieve verval is groot, het negatieve aanmerkelijk kleiner. De kerende hoogte is vrijwel gelijk aan het schutpeil. De deur is voorzien van een schuivende geleiding.

Een hefdeur heeft een enkele beplating die naar twee zijden kan keren. De beplating wordt normaliter aan de zijde van de hoogste waterstand gesitueerd. De dikte van de beplating is niet anders dan voor andere deurtypen, voor een zelfde programma van eisen.

De deur bestaat uit verticale stijlen, horizontale liggers en de beplating. Bij een vulsysteem door de deuren hangt de verdeling van de verticale stijlen af van die van de nivelleeropeningen. Het aantal horizontale liggers wordt bepaald door de hoogte van de deur en de grootte van het verval over de deur. Normaliter is de dikte van de deur 12 tot 16% van de dagmaat van de sluis en is er sprake van een klein aantal, brede liggers. Alleen wanneer de deur moet worden voorzien van een aparte verkeersweg (fig. 7.45), valt de keus op een groot aantal, smalle liggers om de nuttige sluislengte niet te veel te beperken.

De deur is voorzien van eindschotten die veel functies vervullen (figuren 7.12 en 7.40). De eindschotten brengen in de kerende situatie de vervalbelasting vanuit de horizontale liggers over naar de deurnissen. Verder dienen de eindschotten tijdens de kerende situatie voor het afdichten en voor het afdragen van een deel van het overgewicht van de deur naar de nisbodem. Tijdens het bewegen zorgen de eindschotten voor de geleiding van de deur en voor de bevestiging van de hijskabels.

De deur moet in kerende en bewegende situatie aan weerszijden over de volle deurhoogte tegen de aanslagen kunnen steunen. Die aanslagen (de banen) zullen in beide torens nooit precies te lood staan. De deur moet enigszins torsieslap zijn om de beide eindschotten van de deur in voldoende mate ten opzichte van elkaar te kunnen verdraaien.

Tijdens de deurbeweging (van beneden naar boven) schuiven de eindschotten van de deur met de van boven tot onder toe doorlopende schuivers langs de banen in de nissen en daarna langs de banen in de torens. De schuivers zijn over het algemeen van staal met een corrosie-bestendig glad oppervlak, terwijl de banen van kunststof zijn gemaakt.

Het overgewicht van de deur steunt via de eindschotten op de bodem van de nissen, de houten aanslagen daar dienen tevens als onderafdichting van de eindschotten, zie fig. 7.12.

Als lekkage onder de deur door niet is toegestaan, moet de onderzijde van de deur via een rubber fender op de bodem van de sluis rusten. Wanneer enige lekkage wel is toegestaan, moet de afdichtende rand onder de deur zo dun mogelijk zijn om trillingen bij plaatselijke lekkage te voorkomen. De vorm van de onderrand, gelijk aan die voor grote rioolschuiven (fig. 7.142), is dan een goede oplossing.

De nivelleeropeningen bij hefdeuren moeten iets hoger worden geplaatst dan die van de andere deurtypen, aangezien een drempel op de sluisvloer ontbreekt. De dorpel van de deur steunt op de vlakke sluisvloer (fig. 7.12).

12.3 Ontwerp van deurbewegingswerken

12.3.1 Inleiding

Paragraaf 7.4 geeft een algemene beschrijving van deurbewegingswerken met hun kenmerken en specifieke toepassingen. In deze paragraaf wordt het maken van een voorontwerp van een aantal soorten bewegingswerken behandeld. Voor elk type deur is dat minstens één soort bewegingswerk. In het kader van dit boek voert het te ver alle alternatieven op die wijze te beschrijven. Ontwerpnota's en tekeningen van uitgevoerde werken kunnen nader inzicht daarover verschaffen.

Het voorontwerp van bewegingswerken voor schuiven wordt niet behandeld. In hoofdstuk 7 (deel 1) is aangegeven dat schuiven in hoofdzaak door een hydraulisch bewegingswerk worden geopend en gesloten. Samen met het hierna behandelde hydraulisch bewegingswerk voor draaiende deuren geeft dat voldoende informatie over een ontwerp voor een schuifbewegingswerk. (Voor de figuren wordt verwezen naar hoofdstuk 7 van deel 1).

Het voorontwerp wordt op de voet gevolgd, waarbij de belangrijkste uitgangspunten en constructieve aspecten worden aangegeven. Op het bepalen van de hoofdafmetingen, het toetsen van de constructies op vervormingen, levensduur en sterkte wordt niet nader ingegaan. De gegevens uit hoofdstuk 7 en uit de paragrafen 12.1 en 12.2 alsmede de kennis van de ontwerper moeten toereikend zijn om een voorontwerp te maken dat aan het programma van eisen voldoet. Paragraaf 23.5 geeft een voorbeeld van het deurbewegingswerk van de gereconstrueerde Oranjesluizen.

12.3.2 Aandrijving puntdeur door een Panamawiel

Overwegingen bij een Panamawiel-aandrijving en te beschrijven ontwerp

Het grote voordeel van een Panamawiel is dat dit nabij de eindstanden een grote beschikbare kracht bij een langzame snelheid heeft. De belastingen op de deur zijn bij de eindstanden ook het grootst:

- bij het begin openen is een grote kracht nodig om het resterval (bijv. 0,10 m) en de windgolven te overwinnen en de deur te versnellen;
- wanneer de deur zich in de buurt van de deurkas bevindt, moet de deur langzaam bewegen om de krachten op de deur, veroorzaakt door waterstandsverschillen tussen sluis en deurkas, te beperken;
- in de geopende stand kan het bewegingswerk de relatief lange deur met grote kracht voorspannen tegen de wand van de deurkas. In gesloten stand kunnen de deuren tegen elkaar worden voorgespannen.

Omdat de grote beschikbare kracht samenvalt met de belasting, is een elektrische snelheidsregeling niet nodig zodat de installatie relatief eenvoudig is. Verdere voordelen van de aandrijving zijn het lage benodigd vermogen en het eenvoudige onderhoud. Toch wordt de Panamawiel-aandrijving bijna niet meer gebruikt omdat deze duur in aanschaf is en niet onder water gebruikt kan worden.

Het volgende ontwerp is bedoeld voor de aandrijving van een draaideur in een middelgrote sluis (doorvaartbreedte 12 - 16 m). Uiteraard is een Panamawiel ook geschikt voor grotere sluizen. Voor de opstelling daarvan zie fig. 7.74. Het ontwerp wordt op de volgende wijze ter hand genomen.

Systeempunten

Uitgegaan wordt van de standaard opstelling volgens de figuren 7.69 of 7.67. Vooraf moeten de lengte en dikte van de deur en de plaats van de draaipunten gegeven zijn. Verder moeten de belastingen op de deuren gedurende het bewegen en in de beide eindstanden globaal bekend zijn.

Punt A (aangrijppunt van de trek/duwstang aan de deur) ligt gebruikelijk op 1/3 van de lengte van de deuras. De plaats van A in dwarsrichting ligt ver genoeg loodrecht voor de deur om de aansluiting van de trek-duwstang vrij van de deur te kunnen laten bewegen.

Dan wordt punt R (aangrijpingspunt trek/duwstang aan Panama-wiel) bepaald. Figuur 7.69 gaat er van uit dat het deurmoment in beide eindstanden ongeveer even groot is. De afstand van draaipunt D van de deur tot de lijn van de trek/duwstang is in die beide standen gelijk. Lijn AA' (A in open stand, A' in gesloten stand) ligt in het verlengde van lijn RR' (R in open stand, R' in gesloten stand) terwijl AA' even lang is als RR'. De plaats van punt R is afhankelijk van de beschikbare ruimte voor de bewegingswerkelder. Hoe langer de trek/duwstang des te groter de kelder.

Draaipunt M van het Panamawiel ligt op de middenloodlijn van RR'. Het is gebruikelijk om MR 3 maal zo groot te kiezen als de afstand a, zijnde de afstand van M tot lijn RR'. Hoe kleiner de afstand a is, des te groter is de beschikbare kracht in de trek/duwstang. De opstelling van fig. 7.71 met $a = 0$ moet echter vermeden worden, aangezien de kracht in de stang dan wel zeer groot is, terwijl de constructie zeer gevoelig is voor overbelasting. Bij een gering obstakel tussen deur en drempel of wand worden bijna oneindig grote krachten uitgeoefend. In de praktijk is gebleken dat de bedrijfszekerheid bij die opstelling sterk negatief wordt beïnvloed.

De systeempunten zijn hiermee voorlopig vastgelegd. Wanneer de momenten om draaipunt D van de deur bij de eindstanden verschillend zijn, kan de plaats van M veranderd worden. Door de trek/duwstang AR om A te cirkelen in de richting van M wordt het deurmoment in geopende stand groter dan in gesloten stand van de deur. Moet dat andersom zijn, dan kan M naar de tegenovergestelde richting verplaatst worden, hetzij om A, hetzij om A' gecirkeld.

Tandwielen

Voor de steekcirkel-diameter van de tanden op het wiel wordt een keuze gemaakt. De opstelling volgens fig. 7.67 met punt R (aangrijpingspunt trek/duwstang aan Panamawiel) binnen het tandwiel heeft de voorkeur boven die van fig. 7.74 met R buiten het tandwiel. In tegenstelling tot R buiten het tandwiel is met R binnen het tandwiel de tandwieloverzetting groot, de tandkracht klein (dus kleine tanden en lichte tandwielkast) en het wiel is kleiner dan 180 graden.

Het rondsel dat het Panamawiel moet aandrijven, wordt bepaald uit de tandkracht en de (gemiddelde) omtreksnelheid uit de beweegtijd van de deur.

De overzettingsverhouding van de tandwielkast wordt bepaald uit het toerental van het rondsel en dat van de elektromotor. Wanneer geen standaardkast beschikbaar is, moet daarvan een voorontwerp worden gemaakt om de minimale afmetingen van de kelderruimte te kunnen vaststellen.

Motor

Uit het verloop van het maximaal benodigde deurmoment en de bijbehorende hoeksnelheid van de deur, wordt het vereiste motorvermogen berekend. De afmetingen van de elektromotor worden door derden vastgesteld uit het verloop van het maximale en nominale benodigde vermogen gedurende het openen.

Als in het begin van de beweging een groot motorkoppel nodig is, wordt gekozen voor een sleeping-anker-motor.

Hierna worden de deursnelheid bij het verlaten en bij het naderen van de deurkas bepaald, om de daarbij optredende krachten te berekenen. Zijn die krachten groter dan de beschikbare, dan kan de snelheid verminderd worden door bijvoorbeeld de overzetting in de tandwielkast te vergroten. De beschikbare kracht kan ook worden opgevoerd door de maat a (fig. 7.69) iets te verkleinen.

Na de definitieve keuze wordt de eindsnelheid van de deur gecontroleerd. Die mag, loodrecht op de deur t.p.v. de aanslag en loodrecht op de voorhar, niet groter zijn dan 40-50 mm/s. Het botsingseffect van de deuren tegen elkaar of tegen de wand van de kas wordt anders te groot voor een starre aanslag. Met een flexibele aanslag mag die snelheid groter zijn.

Trek/duwstang

De verbinding tussen het wiel en de deur is de trek/duwstang. Tijdens het openen als trekstang en tijdens het sluiten als duwstang. Onder invloed van hoge wind- of translatiegolven wordt de stang beurtelings trek- en duwstang.

De stang is voorzien van een verend gedeelte, bestaande uit schotelveren. De voorspanning in het verend gedeelte moet minstens zo hoog zijn als de deurmomenten vereisen in de eindstanden voor het voorspannen. De veren moeten zowel in de trek- als in de drukrichting functioneren. De slag die de buffer vanuit de voorspanning moet kunnen maken is afhankelijk van de dagmaat van het sluishoofd en varieert tussen 20 en 50 mm. In die slag moet het bewegingswerk afgeschakeld kunnen worden na het bereiken van de aanslagen. De beweging van de veren is ook van nut als op de voorhar sprake is van ijsaangroei, of bij obstakels. In de veerweg moet het bewegingswerk daarbij ook tot stilstand kunnen komen. Dat is wel bij een calamiteit. De veerconstructie heeft na de veerslag een inwendige aanslag. Daarmee wordt het overbelasten van de schotelveren voorkomen.

De aansluiting van de trek/duwstang aan zowel de deur als aan het wiel wordt cardanisch uitgevoerd. Meestal wordt hiervoor een bolscharnier gebruikt; bij grotere benodigde verdraaiing worden andere constructies gebruikt. De stang kan daardoor ook een beperkte helling innemen. De aansluiting van het bewegingswerk aan de deur is dan ongevoelig voor verzakkingen van de deur, voor vervorming van de deurkaswand en voor maatafwijkingen van de deur en de wand, vooral in samenhang met het uitwisselen van de deuren.

Tot hertoe was het ontwerp van de deuren berekend op de belastingen tijdens het keren. De deur kan nu ook gecontroleerd worden op de maatgevende belastingsgevallen tijdens het bewegen en in de eindstanden.

Andere machinedelen

De as van het Panama-wiel wordt bij voorkeur gelagerd in de vloer en tegen een plafondbalk van de kelder zoals fig. 7.67 aangeeft. De as wordt nauwkeurig verticaal gesteld met een vulling onder de plaat in de plafondbalk. De lagerstoel van de as wordt met voorspanbouten door de balk bevestigd. De naaf van het Panama-wiel wordt gedeeld uitgevoerd wat de montage vereenvoudigt. Het wiel wordt om de as geklemd en voorzien van een spie om 'schrikken' te voorkomen.

Bij kanaalsluizen ontbreekt voor een dergelijke constructie soms de ruimte. De as wordt dan zowel aan de onder- als de bovenzijde in een ingebetonnerde "pot" bevestigd. Nastellen in verticale zin is dan vrijwel onmogelijk. De potten moeten met een vormvaste constructie aan elkaar worden gekoppeld en nauwkeurig verticaal gesteld. Daarna volgt het inbetonneren. Zo'n as wordt dan van bovenaf, door het plafond van de kelder, gemonteerd. De as draait bij voorkeur in wentellagers. As en wiel steunen daarbij op het onderste lager. Voor het doorspoelen van die lagers (het vernieuwen van het smeervet) moeten voorzieningen in het ontwerp en de constructie worden getroffen.

De ingaande as van de tandwielkast wordt voorzien van een remschijf waaromheen een klossenrem wordt gemonteerd. De rem moet de voorspanning in de trek/duwstang in beide eindstanden vast kunnen houden en moet de deur onder maximale condities binnen de veerweg tot stilstand kunnen brengen. Verder bevindt zich tussen de tandwielkast en de elektromotor een elastische koppeling. De remschijf maakt daar deel van uit. Door de rem aan de zijde van de kast te monteren kan de elektromotor verwisseld worden en het bewegingswerk op de rem blijven staan.

De fundatie voor de tandwielkast en de overige machineonderdelen wordt ingebetonnerd of zodanig op de vloer bevestigd, dat tijdens het belasten geen bewegingen of blijvende vervormingen kunnen optreden. De tandwielkast wordt gesteld aan de hand van de stand van de tanden in het wiel door stelbouten in de fundatie. Onder alle machineonderdelen worden stalen vullingen aangebracht om na te kunnen stellen.

Opstelling

Na het globaal vaststellen van de maten van de bewegingsinstallatie, kunnen de hoofdmaten van de kelder worden bepaald. Daarbij moet rekening worden gehouden met de ruimte die nodig is om onderdelen uit te kunnen wisselen, zonder extra breekwerk en/of het demonteren van andere machinedelen. De kelder moet zoveel mogelijk op stahoogte worden uitgevoerd. De tandwielkast met rem, de elektromotor en de schakelaars moeten rondom goed bereikbaar zijn voor inspectie en onderhoud. De kelderruimte is bij voorkeur voorzien van een vaste trap. Als die ontbreekt moet het toegangsluik boven de ingang gemakkelijk hanteerbaar zijn. De wanden van de kelderruimte zijn van trekogen voorzien om het Panamawiel en zo nodig andere onderdelen vanaf de kolkzijde te kunnen aan- en afvoeren.

12.3.3 Aandrijving puntdeur door een rechte heugel

Te beschrijven ontwerp

Heugelaandrijvingen worden toegepast bij puntdeuren die tijdens het bewegen lichte belastingen ondergaan. Bij grote belastingen moet de heugel namelijk door meer dan één rondsel aangedreven worden en verliest daarmee het voordeel van een eenvoudige constructie. Verder is het zo dat de beschikbare opspankrachten in de eindstanden bij een heugel beperkt zijn.

Het beschreven ontwerp betreft een middelgrote sluis (12 - 16 m doorvaartbreedte), waarbij het ontwerp als volgt verloopt.

Systeempunten

Vooraf moeten de hoofdafmetingen van de deur zoals lengte, dikte en plaats van de draaipunten en de belastingen op de deuren gedurende het bewegen en in de beide eindstanden gegeven zijn. Uitgegaan wordt van een opstelling volgens fig. 7.75 (zie ook fig. 7.76).

Punt A (aansluiting heugel aan deur) bevindt zich meestal ongeveer halverwege de lengte van de deur maar kan ook wat verschoven zijn door de plaats van de deurschuiven. Dit is zeker het geval bij een oneven aantal deurschuiven (3 per deur). Punt A bevindt zich buiten de dikte van de deur.

In fig. 7.76 is punt R (buitenkant rondsel) gesitueerd rechts van de lijn AA' met A voor geopende deurstand en A' voor gesloten deurstand. Hierbij is arm h kleiner dan arm h1 (h is de afstand van de heugel tot het draaipunt D van de deur in geopende stand en h1 die in gesloten stand). Deze oplossing geeft nabij de gesloten deurstand (begin openen deur) een groter aandrijvend moment en een kleinere deursnelheid dan nabij de geopende deur (voorspannen deur tegen de deurkaswand). Is ook de belasting op de deur nabij de gesloten stand groter dan bij de geopende stand, dan is punt R goed gekozen.

Wanneer punt R zodanig wordt verschoven dat deze raakt aan de lijn AA' dan zijn de armen gelijk en zijn aandrijvend moment en deursnelheid nabij de gesloten en geopende deur aan elkaar gelijk. Een vaste regel voor de keuze van punt R (buitenkant rondsel) is niet te geven; door verschillende standen van de heugel te proberen, kan een optimaal resultaat verkregen worden.

Deursnelheid

Uit de snelheid in de richting van de heugel en de gekozen systeempunten kan de deursnelheid worden bepaald gedurende het bewegen. Met de deursnelheid kan het verloop van de belastingen veroorzaakt door het water op de deur worden afgeleid. Als deze belastingen groter zijn dan het aandrijvende moment, kan de belasting verminderd worden door de snelheid van de deur lager te kiezen of het motortoeental terug te brengen. Vooral met de deur nabij de deurkas zijn de belastingen groot zodat hier het motortoeental verlaagd kan worden (bijvoorbeeld van 1500 naar 1000 of van 1000 naar 750). Verder mag de snelheid waarmee de deur tegen de aanslagen komt niet groter dan 40 - 50 mm/sec zijn. In de regel is daarom een snelheidsregeling voor de motor nodig.

Motorvermogen

Uit het snelheidsverloop van de deur en de daarbij behorende belastingen wordt het benodigde motorvermogen afgeleid. De tanden van heugel en rondsel worden bepaald uit de optredende belastingen en de snelheid. De heugel wordt voorzien van een verend element waaraan dezelfde eisen worden gesteld als genoemd bij de Panamawiel-aandrijving. De benodigde overzetting tussen rondsel en elektromotor kan vanuit het motor- en rondseltoerental worden bepaald. Door derden worden aan de hand van de koppel/tijd-kromme, de afmetingen van de elektromotor vastgesteld.

Opbouw aandrijfeenheid

De opbouw van de aandrijfeenheid is vrijwel gelijk aan die voor de Panamawiel-aandrijving. Het frame bevat daarenboven een ondersteuningsrol en een aandrukrol voor de heugel. De ondersteuningsrol ondersteunt de heugel, de aandrukrol neemt de radiale rondselkracht op; dat is de kracht waarmee de heugel uit de vertanding van het rondsel wordt gedrukt.

De heugel moet tussen de aandrukrol en het rondsel enige speling hebben om bij het verdraaien in het horizontale vlak niet te klemmen. De heugel heeft daartoe een verlopende dikte.

Bij een afwijking uit het horizontale vlak zal de heugel een draaiende beweging moeten kunnen maken. Daartoe is de heugel ook nog afgerond, de tanden kunnen dan een (kleine) helling uit het horizontale vlak volgen. Deze afwijkende helling mag maar een enkele centimeter per meter bedragen, omdat de rondseltanden anders niet goed op de heugeltanden blijven dragen.

In het getoonde voorbeeld van fig. 7.75 is in de heugel zelf geen verend element opgenomen maar kan de opsteek-tandwielkast om de rondsels draaien. De rondsels is in het frame gelagerd. De tandwielkast is met een reactie-arm, voorzien van een veer- of bufferconstructie, aan een muur van de kelder bevestigd. Het voordeel van deze oplossing is de lichte veerconstructie die gemakkelijk instelbaar is. De slag van de veer moet wel aanmerkelijk groter zijn om aan dezelfde eisen te voldoen als wanneer het verende element direct in de heugel opgenomen zou zijn. Nadeel van de oplossing is de minder eenvoudige constructie om de opsteektandwielkast te kunnen laten verdraaien.

Opstelling

Het frame wordt geheel compleet met voorspanners gemonteerd tegen twee verticale wanden in de kelder. Dat betekent dat de eenheid geheel compleet van boven af in de kelder aangevoerd moet kunnen worden. De montage is eenvoudig en in korte tijd te realiseren.

Voor de afmetingen van de kelder gelden dezelfde eisen als bij de kelder voor de Panamawiel-aandrijving, oftewel goede bereikbaarheid, voldoende ruimte voor inspecties en onderhoud en de kelder moet voorzien zijn van voldoende hulpmiddelen voor montage en uitwisselingen.

12.3.4 Aandrijving puntdeur door een hydraulische cilinder

Te beschrijven ontwerp

De aandrijving van een deur door middel van een hydraulische cilinder wordt zowel toegepast voor punt- en draaideuren als voor deur- en rioolschuiven. De aandrijving is zeer geschikt om grote krachten te leveren over een relatief korte beweegafstand. Dus niet alleen voor de aandrijving van sluisdeuren, maar ook op plaatsen waar een beperkte slag nodig is zoals bij aan- en afdrukinrichtingen van rol- of hefdeuren.

Het ontwerp dat hierna wordt uitgewerkt, handelt over de aandrijving van een puntdeur van een grote sluis (doorvaartbreedte 16 - 24 m). De aandrijving wordt zwaar belast (bijvoorbeeld door aanzienlijke windgolven tijdens bewegen) en moet ook onder water kunnen functioneren (bijvoorbeeld door hoog schutpeil ten opzichte van kerende hoogte). Een voorbeeld van een dergelijke aandrijving is te zien in fig. 7.79.

Het ontwerp van de cilinderaandrijving voor een puntdeur verloopt als volgt.

Systeempunten

Vooraf moeten de gegevens van de deur bekend zijn zoals de lengte en dikte van de deur en de plaats van het draaipunt (Opm. Met lengte wordt bedoeld de afstand van draaipunt tot einde aanslag op de voorhar).

Het aangrijppingspunt van de hydraulische cilinder op de deur wordt gewoonlijk op ca. $1/4 - 1/5$ van de deurlengte, gerekend vanaf het draaipunt, gelegd. De keuze is afhankelijk van de plaats van de deurschuifbewegingswerken. Deze korte afstand is bedoeld om de kracht/slag verhouding zoveel mogelijk te benutten.

De richting van de as van de cilinder wordt net als bij het Panamawiel en de heugelaandrijving, bepaald aan de hand van de verschillende belastingen op de deur tijdens het bewegen en in de eindstanden.

Hydraulische cilinder

Uit de maximum-belasting en de werkdrukken vóór en achter de cilinder wordt de diameter van de zuiger bepaald. Deze heeft een relatie met de slaglengte en de wijze van ondersteuning (de knikstabiliteit, de doorbuiging, en dergelijke). Door de verhouding zuigeroppervlakte : ringoppervlakte 2:1 te kiezen, zijn de werkdrukken niet hoog als de keuze voor de drukgroepindeling kleiner is dan 150 ato. Meestal kan gebruik worden gemaakt van een standaard cilinder, onafhankelijk van een fabrikant.

Vanuit het aangrijppingspunt op de deur voor beide eindstanden en de geschatte plaats van de bevestiging van de cilinder aan de wand van de kelder kan de bedrijfsslag van de zuiger bepaald worden.

Naast toetsing op sterkte, vermoeiing en uitknikken van de zuigerstang moet de zuigerstang in combinatie met de cilinder, op doorbuiging gecontroleerd worden. De doorbuigingslijn mag geen aanleiding zijn tot verkeerde ondersteuning van de cilinder op de stang of andersom of van olie lekkage. Belangrijk element is de afstand van de geleiding van de zuigerstang tot de geleiding van de zuiger in de cilinder, wanneer de zuiger in de uitgeschoven stand staat. Daarom wordt de bruto slag ca. 1,1 tot 1,5 maal de zuigerstangdiameter langer gekozen dan de bedrijfsslag. Is de afstand te klein dan is de kracht op de geleidingen als gevolg van het eigen gewicht zeer groot. Hoe groter de zuiger en zuigerstang hoe groter de bruto slag.

Deursnelheid

Uit de beweegtijd van de deur wordt de snelheid van de zuiger berekend. De snelheid van de zuiger moet geregeld worden om met name de belastingen op de deur in de deurkas te beperken. De snelheid kan geregeld worden door middel van regelbare hoofdpompen, door een toerenregeling van de elektromotoren, of als de aandrijvingen uit meerdere pompen bestaan, door het uitschakelen van de hoofdpompen en het langzaam laten bewegen met pompen met kleinere capaciteit.

Verder moeten de deuren voor het einde sluiten even stoppen om daarna met geringe snelheid door te gaan om er zeker van te zijn dat de deuren in de eindstanden goed op elkaar steunen en afsluiten. Bij de hydraulische aandrijving is dat nog meer noodzakelijk dan bij een mechanische aandrijving omdat de deuren niet altijd synchroon lopen. Dit wordt veroorzaakt doordat de afgelegde weg van de deuren bepaald wordt door de hoeveelheid olie die aan de cilinders is toegevoegd, waarbij deze hoeveelheden voor beide cilinders niet gelijk hoeven te zijn door het verschil in rendement van de pompen. Het verloop van de deursnelheid bij het toepassen van niet-regelbare pompen is te zien in fig. 7.80. In sommige gevallen is het gebruik van regelbare pompen aan te bevelen. Door de deursnelheid te verminderen in die gebieden waar de grootste belastingen optreden, kan bespaard worden op het te installeren vermogen.

Opbouw hydraulische eenheid

De energiebron voor de cilinder bestaat uit één of meerdere oliepompen aangedreven door elektromotoren. Afhankelijk van het toegepaste besturingssysteem bevindt de te verpompen hoeveelheid olie zich in een grote of kleine tank. De grootte van de tank is afhankelijk van het pendelvolumen dat door de tank wordt gevoerd en de toename van de olietemperatuur door het rendement van de installatie.

Het samenstel van pompen, leidingen, stroomverdelings-, veiligheids-, drukbegrenzings- en andere kleppen, schuiven en ventielen wordt de hydraulische installatie genoemd. De werking ervan is vanuit die installatie en de beschrijving te verklaren. De eenheid, de leidingen en de benodigde appendages moeten voldoen aan de eisen gesteld in de Bouwdienst-norm NBD 6000. De besturing van de hydraulische installatie geschiedt geheel geautomatiseerd met elektrische signalen.

Het aantal oplossingen voor het hydraulisch aandrijven, met elk hun specifieke eigenschappen, is aanzienlijk. In het kader van dit boek voert het te ver om de opbouw van de installatie te behandelen.

Opstelling

De olietank met aandrijfbron en de appendages kunnen in een aparte ruimte geplaatst worden, zelfs geheel los van de sluishoofden. Bij een niet te lange sluis kan één hydraulische eenheid alle deuren bedienen. Het doorvoeren van de olieleidingen onder de sluis door moet gecombineerd kunnen worden met een goed bereikbare kabelkoker. Het aanbrengen van de leidingen door de sluisvloer is wel uitvoerbaar, maar vergt een doordachte constructie. Door alle extra voorzieningen is dit alleen in bijzondere gevallen economisch haalbaar.

De cilinder kan ondergebracht worden in een ondiepe bewegingswerkkelder. Het dak van de kelder wordt niet belast door het bewegingswerk. Over de gehele lengte van de cilinder kan een luik geplaatst worden, waardoor de cilinder hoog gesitueerd kan worden ten opzichte van het sluisniveau. De kelder is daardoor beperkt van afmetingen en eenvoudig van vorm (fig. 7.79).

Andere toepassingen

Een hydraulische aandrijving voor een draaideur vergt dezelfde benadering als de aandrijving voor het hiervoor beschreven ontwerp. Dat geldt meestal ook voor een aandrijving van een deur- of rioolschuif. Het kan voorkomen dat de aandrijving alleen nodig is voor het heffen. De schuif sluit dan met behulp van het eigen gewicht, terwijl de pomp niet hoeft te draaien. De ruimte boven de zuiger moet wel met olie gevuld en geledigd worden om corrosie te voorkomen.

12.3.5 Vergrendeling van een draaideur

Vergrendelingen worden in hoofdzaak toegepast voor punt- en draaideuren die ook negatief keren. Draaideuren worden vaak door aparte constructies vergrendeld zoals beschreven in par. 7.4.3.2.

Raamgrendel

Het ontwerp dat hier wordt beschreven is een raamgrendel (fig. 7.84) die bedoeld is voor een tweezijdig kerende, enkele draaideur bij een sluis met deurkas en -nis. Deze raamgrendel heeft een kleine aandrukweg en kan een groot negatief verval keren waarbij de deur zowel aan de boven- als onderzijde tegengehouden wordt.

De draaideur is uitgevoerd met een vast bovendraaipunt en een taats (met enige speling). Voor de positieve kering is de deur voorzien van flexibele afdichtingen op de achterhar en aan de onderzijde, alsmede van een houten aanslag/afdichting op de voorhar. Om bij negatieve kering niet te lekken, is naast de houten aanslag van de voorhar ook een flexibele afdichting aangebracht.

Bij het sluiten van de deur drukt het deurbewegingswerk de flexibele afdichtingen van de achterhar en aan de onderzijde dicht. Het deurbewegingswerk dicht de voorhar echter niet helemaal af omdat het systeem ontworpen is op bewegen en er tussen de houten aanslag op de voorhar en de niswand een zekere spleet overblijft. Het raam wordt vervolgens door middel van cilinder nr. 2 voor de deur langs gedraaid, komt tegen een aanslag en neemt een zelfborgende stand in ten opzichte van het draaipunt van het raam. Vervolgens wordt as nr. 3 met excentriek verdraaid zodat het raam tegen de deur drukt. Genoemde excentriciteit moet zo groot zijn dat het rubber voldoende voorspanning krijgt om lekkage te voorkomen, terwijl de houten aanslag nog net vrij is van zijn oplegvlak om het optreden van te grote krachten in het raam te voorkomen.

Het ontwerp van het raam, het mechanisme om het raam te verdraaien en de aandrukinrichting worden op de volgende wijze ter hand genomen.

Samenstelling raamgrendel

De plaatsen in hoogterichting van de onder- en bovengrendel van het grendelraam worden bepaald aan de hand van het belastingpatroon van de negatieve vervalbelasting in de hoogterichting van de voorhar. Hierbij wordt er voor gezorgd dat de voorhar zo min mogelijk op buiging belast wordt. Verder wordt de bovengrendel boven hoogwater gelegd voor eenvoudig onderhoud. De onder- en bovengrendel worden in hoofdzaak op druk belast en daarom van buizen gemaakt. Ook de andere constructiedelen zijn in buis uitgevoerd. Het gehele grendelraam moet torsiestijf zijn omdat de constructie verdraaid wordt door een mechanisme dat zich boven gemiddeld hoogwater bevindt. De draaipunten van de boven- en ondergrendel brengen de grendelkrachten van het grendelraam via fundatiestoelen over op de kopwand van de deurnis. Het gewicht van het grendelraam wordt afgevoerd via het draaipunt van de bovengrendel.

Opstelling

De afmetingen van de deurnis en de lengte van het grendelraam worden zodanig vastgesteld dat de weggedraaide grendel buiten de baan ligt die de punt van de deur beschrijft, zodat voldoende ruimte aanwezig is voor het grendelraam met aandrijving.

De fundatiestoelen voor de draaipunten worden nauwkeurig ingebetonneerd om afstelproblemen te ondervangen. Het inbetonneren gebeurt volgens het principe van fig. 7.112 met een frame dat onbeweeglijk geschoord wordt. Het grendelraam wordt daarna zonder vullingen aan de fundatiestoelen bevestigd. Daarbij wordt alleen het bovenste draaipunt vastgebout. Het afstellen ten opzichte van de deur gebeurt met vullingen onder de zadels op de deur. Bij onderhoud kan het grendelraam zonder werkzaamheden onder water verwisseld worden. Na het verwijderen van het bovendeel van as 3 (fig. 7.84) en het losmaken van de bouten van de stoel van de bovengrendel, kan het raam uitgenomen worden.

Aandrijving

De as waarom het raam kan draaien is bij de lagers voorzien van een excentrisch gedeelte. De grootte van de excentriciteit hangt af van de plaats tot waar het deurbewegingswerk de deur kan aandrukken, van de maatafwijkingen en van de afstand waarover het raam daarna het rubber moet indrukken.

De as verdraait over iets meer dan 180° waardoor het excentrische deel iets door de dode stand komt te staan. De as wordt verdraaid door een elektromotor en een tandwiel-overzetting. Het koppel om de as te verdraaien is gering en hangt af van de wrijving in de lagers als gevolg van de grendelkrachten en van het verloop van de excentriciteit. In de vergrendelde stand wordt de as door een mechanische rem vastgehouden. De mechanische aandrijving bevindt zich in een ruimte boven de deurnis. Het verdraaien van de as wordt door eindschakelaars gestopt.

12.3.6 Deurgeleiding en bewegingswerk van een roldeur

Te beschrijven ontwerp

De beschreven aandrijving is bestemd voor een roldeur in een grote binnenvaartsluis (doorvaartbreedte 16 - 24 m). De deur steunt en rolt op twee onderrolwagens. Deuren voor een dergelijke binnenvaartsluis zijn in het algemeen niet hoog terwijl de belasting tijdens het bewegen door wind- of translatiegolven meestal gering is. Daarom kan gekozen worden voor een schuivende ondergeleiding en een rollende bovengeleiding. Als bewegingswerk is aangehouden een tweezijdige aandrijving met één trommel volgens het schema van de figuren 7.94 en 7.95 en par. 7.4.4.2.2. Als onderdeel van de aandrijving is er ook een bovenloopwagen.

12.3.6.1 Deurgeleiding

Onderrolwagens

Allereerst moet de dikte van de roldeur bepaald worden, enerzijds door de maximum-vervalbelasting tijdens het keren of het bewegen en anderzijds door de afmetingen van de twee onderrolwagens. In het uiterste geval spelen de vereiste rijwegbreedte of het benodigd drijfvermogen een bepalende rol. In dit laatste geval kan de tank lager in de deur komen te liggen zodat deze altijd als drijfkist onder water functioneert. In het ontwerp zijn bij de schuivende ondergeleiding onderrolwagens toegepast volgens fig. 7.97. De roldeur steunt op flexibele (rubber) opleggingen die op de onderrolwagens bevestigd zijn.

Genoemde rubber oplegging moet voldoende hoog aangebracht zijn om zijdelingse bewegingen van de deur in de sleuf te kunnen volgen en om de deur een kantelbeweging om de oplegging te kunnen laten maken. De deur scharniert als het ware om de oplegging.

De speling tussen de banen en de schuivers in de sleuf van de ondergeleiding moet zo beperkt mogelijk zijn om te voorkomen dat de deur onder invloed van windgolven tussen de banen heen en weer slaat. De totale speling tussen banen en deur varieert tussen 20 en 40 mm en hangt onder meer af van de lengte van de deur. De ruimte kan wel kleiner zijn, maar dat vereist een kostbare machinale bewerking van de schuivers. Die moeten dan na bevestiging daarvan op de deur, samen met de deur bewerkt worden. Zoals eerder vermeld, moet de ruimte tussen de bovengeleiding van de deur groter zijn dan 20 mm om ervoor te zorgen dat het niveau van de deurkas, tijdens het nivelleren niet te veel achterblijft met dat van de schutkolk.

De verticale aanslagen in de kas staan daartoe taps terwijl de deur recht is. In kerende stand staat de deur enigszins uit het lood. De opening aan de niet-kerende zijde is wigvormig, net zoveel scheef als nodig is voor het nivelleren tussen kas en kolk. De ruimte in de sleuf is ook nodig om de deur te kunnen plaatsen. De betonconstructie wordt daartoe voorzien van zoekkanten; de zoekkanten van de deur dienen om deze op de rubber opleggingen te centreren.

De afmetingen van de onderrolwagens hangen grotendeels af van de verticale belastingen die door de deur en de wielen worden uitgeoefend. De deur steunt op de onderrolwagens met 10 tot 20% van het eigen gewicht, te bepalen bij het maximum-schutpeil. Het percentage hangt af van de te verwachten windgolven die de deur tijdens het bewegen zouden kunnen lichten. Daarbij moet er rekening mee worden gehouden dat de voorste wagen door de trekkracht belast en de achterste tijdens het drukken ontlast wordt (fig. 7.34). Overigens verandert de totale rolweerstand van beide onderrolwagens niet onder invloed van de trekkracht. Opgemerkt wordt dat de maximale verticale belasting op een rolwagen kan optreden bij het minimumschutpeil door de dan lage opdrijvende kracht.

De onderrolwagen geleidt zichzelf met de flenzen op alle vier wielen langs de rails, onafhankelijk van de bewegingen die de deur langs de schuivende ondergeleiding moet maken. De wielen draaien met busen om de as. De busen, die van kunststof zijn, slijten daardoor rondom eenparig. De oppervlakte van de stalen assen wordt voorzien van een roestbestendige slijtvaste laag. De rolwagens worden in langsrichting door de deur meegetrokken via een "meenemer" aan de deur. Dat kan niet via de rubber opleggingen omdat bij het vastlopen van een of beide onderrolwagens de opleggingen overbelast worden.

Rails van de onderrolwagens

De verticale belasting van de onderrolwagens wordt via vier loopwielen overgedragen op rails. Deze rails zijn meestal standaard profielen met een lengte volgens fig. 7.96. Afhankelijk van de grootte van de wielbelasting rusten de rails direct op een ingebetonnen stalen plaat (fig. 7.105) of op een stalen balk (fig. 7.101). De rails worden daarop bevestigd met standaard kikkerplaten en bouten. De boutverbindingen moeten de rails zijdelings opsluiten en in verticale richting elastisch vasthouden. Aan de kikkerplaat wordt daartoe een neopreen neusje geïmpregneerd. Hiermee wordt contactcorrosie voorkomen van de ten opzichte van elkaar bewegende delen, bij het passeren van een wiel. De boutverbinding moet uitwisselbaar zijn in verband met corrosie-verschijnselen. In langsrichting moeten de rails niet kunnen verschuiven ten opzichte van de fundatie. Elk railstuk wordt gefixeerd tegen verschuiven. Tussen rail en fundatie wordt een neopreen strip aangebracht om een betere overdracht van de wielbelasting te bewerkstelligen.

De railfundaties moeten nauwkeurig horizontaal (ook ten opzichte van elkaar) worden gesteld en daarna ingebetonnen. De standaard railprofielen hebben in de hoogterichting toleranties. Het verschil in dikte kan te groot zijn waardoor de rolwagen op slechts twee van de vier wielen gaat dragen. Rails met fundatie moeten eventueel op dikte nabewerkt worden. De toe te laten tolerantie in hoogteverschil kan beïnvloed worden door de stijfheid van het frame van de rolwagen. De wagen moet zo weinig mogelijk kokerconstructies bevatten en de lagering van de assen moet nauwkeurig machinaal zijn bewerkt. Het toepassen van een bogie op één wielstel maakt de loopwagen wel ongevoelig voor maatafwijkingen, maar vergt een aanmerkelijk bredere en zwaardere constructie. De rails op de fundatie moeten zodanig bevestigd worden dat ze niet ten opzichte van elkaar kunnen verschuiven. Wielen met flenzen kunnen dan klemlopen. De overgang van de railstukken moeten binnen elkaar aansluiten, bij voorkeur met een V-vorm. Een volledige overgang onder 45° kan beter vermeden worden.

Ondergeleiding

De horizontale ondergeleiding van de deur wordt in het algemeen gevormd door vier stalen schuivers aan alle vier hoeken onderin de deur die langs doorgaande kunststof banen schuiven. Deze kunststof banen zijn aan de zijkanten van de gehele lengte van de sleuf (nis, doorvaart en kas) bevestigd en dienen tevens, samen met de verende onderaanslag van de deur, als onderafdichting. Voor de opstelling zie fig. 7.104. De afmetingen van de draagvlakken en de dikte van het materiaal zijn afhankelijk van de vlaktedruk tijdens het bewegen, de toe te laten slijtage en temperatuursverhoging, de vervorming en de standtijd.

De kunststof baan kan in het beton bevestigd worden op de wijze van fig. 7.120. Tijdens het gieten van de mortel worden de kunststof strippen met afstandhouders op afstand gehouden. De boutverbinding wordt aangebracht buiten het schuifvlak. Daarmee wordt voorkomen dat vuil dat zich in de holte van de boutkop ophoopt, door de schuivers wordt meegenomen en een grotere weerstand en slijtage veroorzaakt.

Bovengeleiding

De bovengeleiding van de deur wordt rollend uitgevoerd op de wijze van fig. 7.107. In de deurkas bij de sluiswand wordt aan weerszijden een wiel geplaatst dat langs een railbaan (zo hoog mogelijk) aan de deur kan rollen. De wielen draaien om excentrisch gelagerde assen. De assen worden verdraaid met behulp van hydraulische cilinders, waardoor de wielen de deur aan de bovenzijde vrijdruken van de verticale aanslagen. Als de deur torsieslap is wordt in de deurnis bij de sluiswand eenzelfde mechanisme toegepast. Deze wielen kunnen over dezelfde railbanen rollen. Bij een torsiestijve deur kan volstaan worden met de geleiding van de bovenzijde van de verticale aanslag aan de deur langs een zoekende kant van de betonnen nis, door toepassing van gietijzeren, eventueel door gegoten of gewalste stalen platen.

De rails op de deur moeten aan de niszijde worden voorzien van een zoekende kant waarmee de wielen de geleidende functie bij het naderen van de nis geleidelijk op kunnen nemen. Maar bij het openen van de deur moeten de wielen die geleidelijk loslaten. Tijdens het grootste deel van de beweging draagt

in horizontale zin de deur op drie steunpunten. In fig. 7.104 is het schema van de deurgeleiding weer-gegeven. Alleen bij het uit en in de nis gaan wordt de deur op vier steunpunten geleid.

Meestal is de plaats van de resultante van de belastingen op het vlak van de deur tijdens het bewegen zodanig, dat twee steunpunten in hoofdzaak de belasting op de betonconstructie overbrengen. Dat zijn de schuiver van de vóórpunt aan de onderzijde van de deur en het leidwiel bij de ingang boven in de kas. Het derde steunpunt, de schuiver aan de onderzijde bij de ingang van de deurkas, houdt de deur in verticaal evenwicht.

Tijdens het bewegen van de deur bevindt de bovenzijde van de deur zich ongeveer in het hart (in de langs-as) van de deurkas. Als één wiel steunt is de speling tussen het andere wiel en de rail zo gering mogelijk, hooguit 5 mm.

Beide rails mogen tezamen wel iets uit het hart van de goot afwijken. Dat mag echter niet te veel zijn, omdat de deur, die door de bovenwielen in één richting gedwongen wordt, anders ergens aan kan lopen. Ook met vervormingen of maatafwijkingen van de deur moet daarbij rekening worden gehouden.

12.3.6.2 Bewegingswerk

Kabellierwerk

Via een bovenloopwagen oefent het kabellierwerk een trek- of drukkracht uit om de deur te openen of te sluiten.

De liertrommel wordt opgesteld in het verlengde van één van de goten (fig. 7.95). De trommel is voorzien van twee kabels, één die aan de bovenzijde en één die aan de onderzijde op- en afloopt. Met de openkabel (of bovenkabel) wordt de deur geopend, met de sluitkabel (of onderkabel) gesloten. Beide kabels worden geleid langs leidschijven in de bovenloopwagen en elke kabel wordt gespannen met een spangewicht. Het verloop van de kabels van fig. 7.95 is zo gekozen dat voor de gehele bewegingsinstallatie zo min mogelijk ruimte in hoogterichting nodig is. Daarbij is het verloop van de kabels zodanig dat de slag van beide spangewichten weinig van elkaar zal verschillen, ondanks de ongelijke lengte en de belasting van de open- en sluitkabel.

De openkabel verlaat dus de liertrommel aan de bovenzijde en wordt via twee leidschijven (geplaatst in de bovenloopwagen) naar de aanslag in plaats van vóór het spangewicht geleid. Bij begin openen wordt de openkabel eerst tegen een kabelaanslag getrokken waarna de deur pas gaat bewegen als de kracht in de kabel voldoende groot is. Tijdens het openen houdt het spangewicht van de sluitkabel deze loos meebewegende kabel zo strak gespannen, dat deze nergens vast kan lopen of klemmen. Het spangewicht moet in de goot vrij kunnen bewegen, indien nodig in een plaatselijke verdieping in de bodem van de goot.

Hetzelfde principe geldt voor het sluiten met de sluitkabel. De sluitkabel verlaat de liertrommel aan de onderzijde en wordt via een omloop- of keerschijf (geplaatst vóór in de goot) naar twee leidschijven (geplaatst in de bovenloopwagen) geleid, naar de aanslag vóór het spangewicht. De plaats en de afmetingen van de omloopschijf bepalen de situering van de leidschijven in de bovenloopwagen. De plaats van de omloopschijf wordt op haar beurt beïnvloed door de ruimte die nodig is voor de rollende bovengeleiding van de deur.

De boven- en onderkabel worden verschillend belast. De trekkracht voor het openen is aanmerkelijk groter dan die voor het sluiten. Toch wordt voor een gelijke kabeldiameter gekozen om zoveel mogelijk dezelfde constructieonderdelen te kunnen toepassen.

Bovenloopwagen

De bovenloopwagen loopt over twee hooggelegen goten in de deurkas en heeft als functie de verbinding te vormen tussen kabels en deur en eventueel als rijdekwagen te dienen om het landverkeer zijdelings te laten op- of afrijden. De bovenloopwagen geleidt of draagt de deur echter niet. De vier leidschijven moeten met de deur meebewegen. Het frame waarin deze schijven zijn bevestigd, wordt om

economische redenen niet star in de deur bevestigd maar is uitgevoerd als aparte bovenloopwagen. De afmetingen van de bovenloopwagen worden in hoofdzaak bepaald door de breedte van de deur en de in de bovenloopwagen opgestelde vier leidschijven die de open- en sluitkabel leiden naar de kabelspangewichten (zie fig. 7.94). De diameter van de leidschijven wordt bepaald volgens NEN 6786 en is afhankelijk van de dikte van de kabels.

De vier leidschijven zijn bevestigd aan het frame van de bovenloopwagen. De bovenloopwagen heeft op de vier hoekpunten loopwielen die elk zijn voorzien van een flens. Ze rollen en sporen op en langs railbanen die op de rand van de beide goten bevestigd zijn. De belasting van de loopwielen betreft vrijwel alleen het gewicht van de bovenloopwagen, mits geen verkeersbelasting aanwezig is. Voor zwaar verkeer zullen de wielen in gesloten stand van de deur ontlast moeten worden. In beide eindstanden wordt de bovenloopwagen tegen verende buffers aangetrokken.

De bovenloopwagen is met een trek/duwstang aan de deur verbonden. De verbindingen van de trek/duwstang met de bovenloopwagen en met de deur, worden cardanisch uitgevoerd. Dit omdat de deur zich zijdelings moet kunnen bewegen in de kerende situatie en zich instellen naar de verticale aanslagen. De beweging bedraagt daarbij maximaal 50 mm uit het hart van de deurkas, afhankelijk van de lengte van de deur. Ook in verticale zin moet de stang zich kunnen instellen omdat de rails van de onderrolwagens niet altijd evenwijdig zullen lopen met die van de bovenloopwagen, als gevolg van uitlijnfouten.

De rails voor de bovenloopwagen kunnen, door de geringe wieldruk direct op de betonnen fundatie, in de goten van de deurkas worden bevestigd zonder tussenvoeging van een neopreen strip. De rails worden horizontaal gesteld en daarna ondergoten met een mortel.

Niveau kabellierwerk

Uitgangspunt is dat geen delen van de deur of het machinewerk boven het sluisniveau uitsteken. Het niveau van de rand waar de rails voor de bovenloopwagen op worden bevestigd, moet hoger zijn dan het maximum-schutpeil. Daarmee wordt voorkomen dat de sluitkabel door het water moet bewegen. Als de kerende hoogte niet genoeg is om het lierwerk watervrij te laten bewegen, moet het sluishoofd hoger worden aangelegd, eventueel dus hoger dan uit het oogpunt van waterkering vereist is. Als de kerende hoogte van de sluis zo hoog is dat de kabeltrommel in het water kan komen, moet de aandrijfeenheid in een waterdichte ruimte worden ondergebracht. De figuren 7.93 en 7.94 zijn daar voorbeelden van. De as van de elektromechanische aandrijving moet waterdicht door de wand gevoerd worden. Als de trommel wordt aangedreven door een hydromotor, kunnen de leidingen zo hoog mogelijk door de wand gestoken worden; een waterdichte doorvoer wordt bij een dergelijke aandrijving vermeden.

Deursnelheid

De snelheid waarmee roldeuren bewegen is afhankelijk van de doorvaartbreedte van het sluishoofd. Hoe breder de sluis, hoe hoger de snelheid mag zijn. Dat lijkt een tegenstrijdigheid, maar is bij de roldeuraandrijving mogelijk omdat de trekkracht/snelheidsverhouding gunstig is. Het aandrijvend vermogen, in verhouding tot dat van de andere deurtypen is klein, zeker bij een rollende geleiding.

Het verloop van de snelheid tijdens het openen is weergegeven in fig. 7.91. De lage snelheden zijn nodig om de deur op de juiste plaatsen in de eindstanden te kunnen positioneren. In gesloten stand om goed te kunnen steunen op de verticale aanslagen en om te voorkomen dat de deur bij weigerende snelheidsregeling in volle vaart tegen de aanslagen botst. In de geopende stand om de deur vóór te kunnen spannen tegen aanslagen in de deurkas waarmee wordt voorkomen dat de deur, onder invloed van langsvarende schepen, uit de kas gezogen wordt. Het versnellen of vertragen moet langzaam gebeuren teneinde de invloed van translatiegolven in de kas en de nis op het kabellierwerk te beperken.

De snelheid kan geregeld worden door een toerenregeling van de elektromotor bij een elektro-mechanische aandrijving en door toepassing van regelbare oliepompen bij een elektro-hydraulische aandrijving.

Rem

De mechanische rem moet de deur in elke positie tijdig kunnen stoppen. De rem is gebaseerd op het vasthouden van de deur in de deurkas. Deurkas en nis zijn voorzien van elastische fenderconstructies. Alle daarvoor in aanmerking komende onderdelen moeten getoetst worden aan het invallen van de rem bij zo'n noodstop in samenhang met de buffering door de fenderconstructies in de nis en in de kas.

12.3.7 Deurgeleiding en bewegingswerk van een hefdeur

Te beschrijven ontwerp

Hefdeuren worden vanwege de grote beweegafstand in de regel door kabellierwerken geopend en gesloten. De lierwerken zijn opgesteld in of onder de torens aan weerszijden van de sluiskolk.

In het verleden werden hefdeuren rollend geleid. Als de externe belasting tegen de deur klein is, en daarvoor de hef- en daalkracht niet sterk wordt beïnvloed, komt ook een schuivende geleiding in aanmerking. De deur wordt schuivend geleid. Het kabellierwerk dat hier wordt beschreven, is bestemd voor een hefdeur van een tweezijdig kerende, grote sluis met een dagmaat van 16 - 24 m. De sluis ligt in de luwte van de bebouwing en is noord/zuid gericht waardoor de deuren tijdens het bewegen relatief licht belast zijn. De deuren worden schuivend geleid en zijn uitgebalanceerd volgens systeem D van fig. 7.108. Vanwege de (esthetische) eis van slanke torens is de keus op D gevallen omdat het lierwerk hierbij in een kelder staat en er geen lift voor bovenin de toren nodig is vanwege inspectie en onderhoud. Door de slanke torens zijn de eindschotten van de deur smal, wat een beperking van het aantal toe te passen kabels inhoudt. Het ballastgewicht wordt compact gehouden door de toepassing van gegoten of gewalste stalen platen. De deurnis is ondiep omdat de deur schuivend wordt geleid.

12.3.7.1 Deurgeleiding

De deur wordt schuivend geleid. Dat betekent dat de afdichting van de deur door die geleiding gebeurt. De nis in de wand van de sluis voor zo'n geleiding is verhoudingsgewijs ondiep, gemeten van de dagmaat van het sluishoofd tot de voorkant van de toren. De keuze van de materialen van de geleidingen is afhankelijk van de vlaktedruk bij het bewegen, de snelheid en de daaruit volgende temperatuursverhoging van het materiaal, alsmede van de toe te laten slijtage in de standtijd en de optredende vervorming. Boven een nader te kiezen niveau van de sluis kan de nis niet doorlopen. De geleiding moet voor een deel boven dat niveau wegneembaar zijn om de deur te kunnen monteren of uit te wisselen (fig. 7.44). Het wegnemen van de deur geschiedt met een drijvende bok.

Als de ingebetonnerde geleiding verwarmd moet worden, zodat de sluis tijdens een vorstperiode zo lang mogelijk operationeel kan blijven, wordt de fundatie van de geleiding uitgevoerd met een hol kanaal. De verwarming kan geschieden met verwarmde olie die door het kanaal wordt rondgepompt. Dat kan ook door de olie in dat kanaal (elektrisch) te verwarmen. De vorm van de benodigde constructie beïnvloedt de materiaalkeuze daardoor in hoge mate. Een voorbeeld van een verwarmde constructie is te zien in fig. 7.41. Het betreft een aanslagvlak voor een rubber afdichting. Het principe is ook toepasbaar voor de schuivende geleiding.

De zijgeleiding van een deur wordt eveneens schuivend uitgevoerd, wat een goedkope oplossing in aanschaf en onderhoud is. De geleidebanen zijn bevestigd tegen de wand van de nissen en vervolgens tegen de voorkant van de toren. De schuivers (één per zijde) bevinden zich halverwege de hoogte van de deur en worden met een stelvulling op de deur bevestigd. Gerekend moet worden met afwijkingen van de afstand tussen de torens, met maatnauwkeurigheid van de deur, maar ook met uitzetting van de deur door temperatuurverschillen. Onder invloed van zware wind van opzij, kan de deur in beweging komen. Om dat te verhinderen kan de deur daarvoor tussen de torens worden voorgespannen. Eén van de geleidingen wordt dan verend uitgevoerd. De voorspanning van de deur tussen de torens moet groot genoeg zijn (en blijven) om de windbelasting te kunnen opnemen.

12.3.7.2 Bewegingswerk

Kabels

Bij het gebruik van dunne kabels is de diameter van de leidschijf maatgevend (fig. 7108, D). Deze wordt bepaald volgens NEN 6786. Toch kan de diameter te klein zijn om de constructieve maat van de afstand van hart eindschot deur tot hart contragewicht te overbruggen. In dat geval is die maat maatgevend voor de schijf. Is die maat kleiner dan de benodigde schijfdiameter, dan kunnen meerdere, dunne kabels worden toegepast. Bij meerder kabels is de breedte van de toren in de richting van de sluisas maatgevend; maar dat kan ook de lengte van het eindschot of het gewicht zijn. Uiteindelijk is de keuze van het aantal kabels een compromis. Is de ruimte in de toren te klein dan moeten de afmetingen van de toren worden aangepast. Het is gebruikelijk om voor een even aantal kabels te kiezen in verband met een gelijk aantal links en rechts geslagen kabels. De kabelsokken worden tegen verdraaien geborgd in verband met de neiging van de kabels om onder belasting te willen verdraaien. De kabels zijn volgens de langsslag-methode geslagen.

Het gewicht van de deur wordt bepaald tijdens het voorontwerp (par. 7.4.5.2.1). De deur kan niet geheel uitgebalanceerd worden omdat in geval van nood de deur voldoende overgewicht moet hebben om te kunnen dalen onder de condities van het hijsen. De deur moet daarbij, bij de hoogste waterstand, voldoende overgewicht hebben om bij de drempel goed af te sluiten.

Het eindschot van de deur is de plaats waar de contragewichtkabels (of omloopkabels) naast elkaar aangesloten worden. De afstand tussen de kabels wordt in het algemeen even groot gekozen als de afstand tussen de groeven van de omloopschijven. Is het eindschot van de deur in langsrichting van de sluis niet lang genoeg om de contragewichtkabels te bevestigen, dan kan de ophanging uitgevoerd worden als aangegeven in fig. 7.110. Bij systeem D van de figuren 7.108 en 7.110 gaan aan elke kant van de deur twee contragewichtkabels tussen deur en contragewicht via het contragewicht over in vier hijskabels (of haalkabels) tussen contragewicht en lierwerk. De contragewichtkabels worden zoveel uit het zwaartepunt van de deur opgehangen dat de deur in de hoogste stand niet kan gaan klapperen tussen de geleidingen onder invloed van de maximum-windbelasting.

Als de afmetingen van het contragewicht, de dikte van de wand van de toren en de diepte van de nis bekend zijn, kan de diameter van de omloopschijf en de ligging van de as hiervan worden bepaald. De ligging van de as is verder afhankelijk van de plaats van de aangrijpingspunten van de kabels aan de deur en aan het contragewicht, maar is ook afhankelijk van de afmetingen van het contragewicht en de plaats ervan ten opzichte van de kabeltrommel onder de toren.

Als de contragewichtkabels zowel in de onderste als in de bovenste stand van de deur evenwijdig aan elkaar blijven, mag de afstand van de ophanging van de kabels aan de deur tot het hart van de schijf minimaal zijn. De afstand tussen de groeven op de schijf is in dat geval dezelfde als die tussen de bevestigingen aan de deur c.q. die aan het contragewicht. Staan de kabels scheef t.o.v. elkaar, dus ook t.o.v. de richting van de omloopschijf, dan moet rekening worden gehouden met de standaard-eisen voor de verseizing bij de betreffende stand van de deur en het gewicht.

Voor de hijskabels geldt dezelfde overweging. Daar wordt de stand van de kabels t.o.v. elkaar beïnvloed door het af- en opwinden van de kabel van en op de kabeltrommel. Eventueel kan de afstand tussen twee volledig opgewikkelde kabels op de trommel worden aangepast om de stand van de kabels te verbeteren t.o.v. die van de twee groeven op de schijven.

De dikte van de contragewichtkabels is bij deze opstelling van het bewegingswerk afhankelijk van de benodigde trekkracht van de hijskabels. De diameter van de kabels wordt gekozen uit de maximale belasting per even aantal, de benodigde veiligheid, en de beschikbare diameter van de omloopschijf. De laatste moet minimaal geschikt zijn om de kabel er omheen te buigen. Het aantal kabels kan hieraan aangepast moeten worden.

Omloopschijven

De as van de omloopschijven wordt aan beide einden ondersteund door lagerhuizen met wentellagers. Hierbij is sprake van een draaiende as met de schijven er vast op bevestigd. De diameter van de groeven heeft bepaalde toleranties om te voorkomen dat de ene kabel meer opgetrokken wordt dan de andere. Grote verschillen in trekkrachten worden daardoor beperkt. De lagerhuizen worden uitgevoerd met een gedeelde kap waardoor demontage eenvoudig is.

Een stilstaande as waar de schijven omheen draaien heeft voordelen. Een verschil in diameter van de schijven veroorzaakt geen verschillen in trekkracht. De schijven kunnen ten opzichte van elkaar verdraaien. De constructie heeft ook nadelen. Voor elke kabel is een aparte schijf nodig, met elk twee wentellagers. De lagers zijn groter in diameter dan bij de eerder genoemde oplossing. Bij het verwisselen van wentellagers moeten de schijven ontlast worden, en wellicht meerdere onderdelen gedemonteerd worden.

De voorkeur gaat daarom uit naar de oplossing met vaste schijven op een draaiende as met meerdere kabels per schijf. Om het verwisselen van onderdelen te vergemakkelijken, moeten de daarvoor benodigde fundatieplaatsen aanwezig zijn.

Kabeltrommel

De opstelling van de kabeltrommel volgens systeem D van fig. 7.108 is gedetailleerd weergegeven in de figuren 7.110 en 7.111. De diameter van de kabeltrommel wordt volgens de geldende voorschriften bepaald door de diameter van de hijskabels. Tegen één zijde van de trommel (soms tegen beide) wordt een groot tandwiel bevestigd. Uit het moment om de trommel en de diameter van het wiel wordt de kracht op de tanden bepaald. Het wiel wordt aangedreven door een rondsel. De keuze van het aantal tanden op het rondsel en de omtreksnelheid daarvan, bepaalt de grootte van de tanden. De grootte van de tanden van rondsel en wiel wordt bepaald uit de over te brengen tandkracht, de toelaatbare vlaktedruk op de tandflanken en de toelaatbare buigspanning in de tandvoet.

Motor

Het rondsel wordt via een tandwielkast aangedreven door een gelijkstroommotor. De overbrengingsverhouding van de kast wordt bepaald uit de snelheid van de deur, meestal 200 mm/s, en het maximum-toerental van de motor (1000 tot 1500 omw./min.). De motor is in toeren regelbaar, om de grote massa van deur en contragewichten langzaam te kunnen versnellen. De versnellingsstijd bedraagt 10-15 s wat afhangt van de te versnellen massa. Tijdens het naderen van de eindstanden wordt de snelheid langzaam teruggeregeld naar een kruipsnelheid van ca. 20 mm/s. Dat is gewenst om de deur in de juiste stand te kunnen positioneren.

De eindstandschakeling geschiedt voor beide standen door middel van een spilschakelaar die een gelijkwaardige reserve heeft.

De aandrijving van de trommel is naast de regelbare gelijkstroom-motor tevens voorzien van een nood-aandrijving. Dat is een draaistroommotor die de deur bij storing van het hoofdsysteem, met ongeveer 1/10 van de normale snelheid kan bewegen. De snelheid daarvan wordt niet geregeld.

Rem

Als de hoogste stand van de deur wordt bereikt, dan wordt de deur met een elektro-mechanische rem tot stilstand gebracht. De koppeling tussen motor en tandwielkast, waarop de rem afremt, moet voldoende groot zijn om de deur bij een noodstop rustig te kunnen afremmen. Verder moet de koppeling groot genoeg zijn om te voorkomen dat de deur in de hoogste stand gedurende de (korte) reactietijd van de rem gelegenheid zou kunnen krijgen om neerwaarts te gaan bewegen.

Bij geheven stand van de deur hangt het overgewicht van de deur aan de klemkracht van de remmen. Uit veiligheidsoverwegingen wordt elke rem met een tweevoudige zekerheid ontworpen. Elke rem is voorzien van een schermkap om de vervuilende invloed van de omgeving, en daardoor vermindering van de wrijvingscoëfficiënt, te voorkomen. Binnen de kap bevindt zich een elektrische verwarming om

invloed van vocht op de rem tegen te gaan.

In de onderste stand moet de rem het bewegingswerk afremmen nadat de deur op de bodem is aangekomen. Het remmen dient binnen de slag van de eventueel aanwezige veerconstructies in de hijskabels te geschieden.

Ook de noodaandrijving is voorzien van een rem. Beide remmen zijn elkaars reserve. Tijdens onderhoudswerkzaamheden kan één van de twee daardoor buiten bedrijf worden gesteld.

Scheefstand

Verondersteld mag worden dat de bewegingswerken in de beide torens niet helemaal synchroon zullen lopen. De deur kan daardoor een scheefstand innemen. De geleiding van de deur moet daarop berekend zijn. Hoe minder scheefstand, hoe minder aanpassingen. De scheefstand wordt gecontroleerd en herzien met bijvoorbeeld een commutateur, aangedreven door elk der bewegingswerken. Bij te grote scheefstand wordt het 'snelste' bewegingswerk uitgeschakeld. Als de horizontale stand van de deur weer is bereikt kan de beweging (automatisch) worden voortgezet. Voor het in de pas lopen van twee niet gekoppelde bewegingswerken zijn meerdere methodes te gebruiken. De hier genoemde is vrij eenvoudig toe te passen.

Veerconstructie

Tussen de bevestiging van de hijskabels en de onderzijde van het gewicht wordt, indien de verdeling van de kracht per kabel hiertoe aanleiding geeft, een verende constructie aangebracht. Deze houdt elke kabel op zich onder spanning wanneer de deur op de sluisbodem rust. De veerkracht moet groot genoeg zijn om te voorkomen dat de kabels door de wind tegen elkaar gaan slaan en elkaar kunnen beschadigen. De veerslag moet verder groot genoeg zijn om het lierwerk uit te schakelen na het dalen en het bereiken van de bodem.

12.3.7.3 Montage en onderhoud

Bij de eerste montage van de deur is de sluis meestal nog maar van één kant toegankelijk. De hoogwaterkering vóór de sluis moet in tact blijven tot minstens één deur de kerende functie kan overnemen. Die deur wordt met behulp van een drijvende bok in de betreffende nissen, op de bodem van de sluis geplaatst. Het contragewicht moet daarvoor in de hoogste bedrijfspositie geplaatst worden, hetzij met een drijvende bok, hetzij ter plaatse gemonteerd. Zijn de voorzieningen voor het ondersteunen bij de bouw van de toren mee te nemen, dan wordt het gewicht door balken ondersteund. Tussen contragewicht en balken worden hydraulische vijzels aangebracht om het gewicht te kunnen optillen en naar de kabelkousen van de contragewichtkabels te kunnen drukken. Na de bevestiging daaraan worden de vijzels afgelaten en gaat het gewicht aan de deur hangen. Daaraan voorafgaand zijn de contragewichtkabels in de torens gehesen en aan de deur bevestigd. Soms, zoals bij het bouwen van een toren met een glijbekisting, is het niet mogelijk voorzieningen voor het ondersteunen van het contragewicht in de toren op te nemen. Het gewicht wordt dan opgehesen en opgehangen aan een constructie onder of boven de vloer waarop de omloopschijf is gefundeerd.

Bij het verwisselen van de deur, en soms ook bij een eerste montage van de tweede deur, is het nodig de kolk van de sluis te kunnen bereiken. De betreffende deur wordt daartoe opgesteld op stalen balken boven de nissen. De kolk is dan bereikbaar onder de deur door, zij het met beperkte doorvaarthoogte. De contragewichten moeten in die opstelling van de deur lager in de torens ondersteund kunnen worden. Alle torens worden dan voor beide genoemde situaties ingericht.

In de machineruimte, die per trap goed bereikbaar moet zijn, wordt een loopkraan of andere hijsvoorziening aangebracht. De capaciteit van de takels moet zijn aangepast aan alle werkzaamheden die in de ruimte verricht moeten kunnen worden. De kabeltrommel valt daar niet onder; die moet in zijn geheel door een (betonnen) luik opgehesen kunnen worden. Het contragewicht hangt in die situatie boven, zodat daaronder hijsvoorzieningen aangebracht kunnen worden.

Ook voor het onderhoud van de omloopschijven moeten voorzieningen in het ontwerp meegenomen worden om een schijf te kunnen verwisselen.

12.4 Ontwerp van schuiven

12.4.1 Nivelleren en spuien

Schuiven in schutsluizen worden in hoofdzaak gebruikt om te nivelleren. Soms worden ze ook geschikt gemaakt om water te spuien; de sluis is dan vrijwel altijd buiten bedrijf. De constructie van de schuiven in deuren verandert daardoor niet. Meestal wordt alleen de benodigde doorstroomcapaciteit aangepast door de hefhoogte te vergroten en eventueel de vorm aan te passen (zie bijvoorbeeld fig. 7.121). Daar wordt voor het nivelleren alleen het onderste deel met 6 openingen gebruikt. Bij het spuien wordt de volle breedte achter de schuif benut, de hefsnelheid is daarbij niet van belang en kan hetzelfde zijn als bij nivelleren. Een nadeel van zo'n oplossing is de grote hefkraft bij het nivelleren, de vervalbelasting staat namelijk op het hele oppervlak. Het splitsen in meerdere eenheden is echter ingewikkeld en duurder. Bij rioolschuiven kan de capaciteit voor het spuien ten opzichte van nivelleren alleen opgevoerd worden door ook de riooldoorsnede te vergroten.

12.4.2 Deurschuiven

Opbouw schuif

Deurschuiven worden uitgevoerd als glijdschuiven. Het ontwerp van een deurschuif hangt niet af van het type sluisdeur maar wel of de schuif één- of tweezijdig kerend is. De constructie bestaat uit een verstijfde plaat, die afdicht op een strip rondom de plaat, en die bij het bewegen langs op de deur aangebrachte geleidingen schuift.

De schuif bestaat uit één kerende wand. De beplating is meestal niet dunner dan 10 mm. De plaat wordt rondom verstijfd om de belasting van het verval goed over de gehele omtrek te verdelen zodat de schuif overal goed aanligt en afdicht (fig. 7.123).

In plaats van een verstijfde plaat kan bij een gering verval ook een dikke, massieve plaat toegepast worden. Het gewicht van de schuif is wel groter, maar de goedkope constructie weegt wellicht op tegen de extra kosten voor de grotere trek-en drukkracht voor het bewegingswerk.

Het ontwerp van een tweezijdig kerende, goed afdichtende deurschuif die uit een verstijfde plaat bestaat, verloopt als volgt.

Afdichting

De schuif is zodanig gesitueerd dat het grootste verval drukt aan de niet-beplatingszijde. De plaat draagt rondom via de rubber afdichting direct op stalen aanslagen c.q. de geleidingen. Op de voorkant van het rubber is een kunststof strip geïmpregneerd. Op het schuifvlak van de stalen balk is een slijtvaste laag aangebracht met een lage wrijvingscoëfficiënt.

Het tegenovergestelde, kleinere verval, dus aan de beplatingszijde, wordt via kunststof strippen overgebracht op de verticale verstijvingen van de schuif, afgesteund op (eveneens) kunststof strippen die aan de verticale schuifgeleidingen zijn bevestigd. De geleiding met de twee kunststof strippen is de meest toegepaste oplossing. Deze is het resultaat van een jarenlange studie naar de slijtage, de toelaatbare belasting op de strippen en de wijze van bevestiging. Bij dit kleinere verval dicht de schuif dus rondom af op de voorspanning van het rubber. De schuif moet daartoe met voldoende voorspanning in het rubber in de schuifgeleiding zijn aangebracht. Op de beplatingszijde wordt de schuif door het kleinste verval belast, zodat de voorspanning van het rubber gering kan zijn. Het bewegingswerk zou anders bij het grootste verval veel extra wrijving moeten overwinnen.

De onder- en bovenafdichtingen moeten in onbelaste toestand onder een hogere voorspanning staan dan de verticale afdichtingen, omdat de schuif onder belasting doorbuigt waardoor de voorspanning van de onder- en bovenafdichting vermindert. Deze hogere voorspanning in boven- en onderrand kan wor-

den bereikt door de schuif met de contra-kromme van de maximum-doorbuiging te fabriceren. De onder- en bovenafdichtingen moeten iets breder worden uitgevoerd dan de verticale afdichtingen omdat de schuif bij het verwisselen van het bewegingswerk op de iets lager gelegen steunen moet kunnen staan en blijven afdichten.

De strippen aan de boven- en onderzijde moeten tevens afgeschuind worden om de schuif onder maximum-belasting te kunnen openen en sluiten zonder te 'happen'.

Zijgeleiding

De schuif wordt zijdelings door schuivers geleid. Soort en aantal schuivers zijn niet alleen afhankelijk van de lengte/breedte verhouding van de schuif, maar ook van de wijze waarop het bewegingswerk aan de schuif is bevestigd (par. 7.5.1.4). Daar is een voorkeur uitgesproken voor de bevestiging van opstelling C van fig. 7.128 met onderaan de schuif twee schuivers en bovenaan de schuif een gevorkte ophanging die het vastlopen door klemmen bij het dalen onder maximale belasting tegengaat. De zijgeleiding van fig. 7.123 is voldoende: een houten klos die langs het lijf van het profiel (of langs een daarop bevestigde kunststof strip) kan schuiven. Bij die opstelling is de belasting op de zijgeleiding afhankelijk van de afstand van schuivers tot de ophanging aan het bolscharnier, dus over het algemeen gering.

Als de lengte/breedte verhouding van de schuif gunstig is, kan ook voor opstelling A van fig. 7.128 gekozen worden met twee schuivers onderaan en twee bovenaan. De belastingen op de schuivers zijn daarbij groter. De schuivers en banen zijn daarbij van materialen met een lage wrijvingscoëfficiënt. Het mogelijk klemmen kan berekend worden volgens fig. 7.129.

Ophanging

De bevestiging van de schuif aan het bewegingswerk is in beide opstellingen scharnierend. Dit wordt gedaan omdat het voor kan komen dat beide geleidingen niet helemaal met elkaar stroken. Door de scharnierende bevestiging kan de schuif beter oneffenheden volgen en beter afdichten dan wanneer deze uitgevoerd zou zijn als een vaste bevestiging.

12.4.3 Rioolschuiven

Rioolschuiven worden toegepast in riolen die voorkomen in schutsluizen met een hoog verval, in zeer grote zeesluizen en in sluizen met een zout/zoet-scheidingssysteem. In deze paragraaf wordt het ontwerp behandeld van een rioolschuif met tweezijdige kering voor een sluis met een zout/zoet-scheidingssysteem. De schuif moet voor een zo goed mogelijk functionerende scheiding tussen zout en zoet water, zo goed mogelijk afdichten. Zoals tegenwoordig gebruikelijk wordt de schuif schuivend geleid. Het geleiden door wielen is nauwelijks meer economisch vanwege de thans ter beschikking staande combinatie van schuifmaterialen met een hydraulisch bewegingswerk.

Opbouw schuif

De schuif bestaat uit twee stalen beplatingen van 12 - 16 mm dik, afhankelijk van de ontwerpbelastingen, de vereiste standtijd en de levensduur. De beplating is dikker dan bij deurschuiven omdat het verwisselen tijdrovend is en de standtijd daarom langer moet zijn. De beplatingen worden gekoppeld met een beperkt aantal horizontale liggers. De belasting op de beplating wordt daarmee overgedragen naar de verticale eindschotten aan weerszijden van de dagmaat van het riool.

Het toepassen van twee beplatingen heeft als voordeel dat de verticale belasting op het bewegingswerk als gevolg van de statische waterdruk bij begin bewegen gering is (fig. 7.143, linkse figuur). Een schuif met één beplating aan de hoogwaterzijde (fig. 7.143, middelste figuur) veroorzaakt een veel grotere verticale belasting op het bewegingswerk.

Afdichtingen

De schuif moet in beide richtingen goed afdichten. De beste afdichting is rondom in een zogenaamde raamvorm. Dat vereist voor de onderaanslag echter een plaatselijke verlaging van de bodem van het

riool wat vervuiling van die dwarsseuf tot gevolg kan hebben.

De onderaanslag van de schuif wordt daarom op de bodem van het riool gesitueerd. Om kans op trillingen te voorkomen moet deze onderaanslag zo scherp mogelijk zijn (zie fig. 7.142). De beplating aan de onderzijde alleen is niet sterk en stijf genoeg om de daar aanwezige krachten op te kunnen nemen. Daarom is gekozen voor een dikke strip die om eerdergenoemde reden onder een hoek van 60° wordt afgeschuind. De strip is aan de beplating gelast, die daarboven wordt afgesteund naar de onderste ligger die zich ver genoeg van de onderrand moet bevinden om geen last van trillingen te veroorzaken door het er onderdoor stromende water. De schuif rust op de rioolbodem op een ingebetonnerde stalen of kunststof strip. Deze dient enerzijds om de belasting te spreiden, anderzijds om een slijtvast oplegvlak te hebben.

De verticale afdichtingen op de eindschotten worden onder een helling t.o.v. het verticale vlak geplaatst. Als de afdichtingen flexibel zijn kunnen die daardoor in de gesloten stand van de schuif in beide richtingen, met een lichte voordruk door bijvoorbeeld het eigen gewicht, afdichten. De voordruk moet zo min mogelijk zijn om het overgewicht van de schuif bij het zakken - door het eigen gewicht - zo min mogelijk te beïnvloeden. Door de voordruk wordt het verlies van zout of zoet water beperkt.

De afdichting van de bovenrand van de schuif sluit aan tegen de einden van de twee verticale afdichtingen. Om grote wrijvingskrachten en daardoor slijtage te vermijden wordt op het rubber profiel een kunststof strip bevestigd, net zoals bij de tweezijdig kerende deurschuiven (zie fig. 7.123).

Oplegging en geleiding

De schuif wordt door schuivers geleid. In de gesloten stand rust het verval grotendeels op de schuivers. Een onbelaste schuif bevindt zich in de middenstand tussen de geleidingen. De speling tussen schuivers en banen beperkt zich tot 5 à 10 mm. Deze maat is afhankelijk van de benodigde voordruk van de afdichting bij het maximum-verval en het toegepaste rubber profiel van de afdichting.

BELASTING	REKENWAARDEN DOMINANTE BELASTING			REKENWAARDEN COMBINATIE BELASTING (een veranderlijke belasting is dominant) *)		
	Uiterste grenstoestand sterkte/stabiliteit gts1	Uiterste grenstoestand vermoeding gts2	Bruikbaar grenstoest vervorming/trilling gts3/gts4	Uiterste grenstoestand sterkte/stabiliteit gts1	Uiterste grenstoestand vermoeding gts2	Bruikbaar grenstoest vervorming/trilling gts3/gts4
PERMANENT:						
eigen gewicht	1.35/1.2/1.0/0.9 F0	1.35/1.2/1.0/0.9 F0	1.35/1.2/1.0/0.9 F0	1.2/1.0/0.9 F0	1.2/1.0/0.9 F0	1.2/1.0/0.9 F0
oprijvende kracht	1.2/0.9 F1	1.2/0.9 F1	1.2/0.9 F1	1.2/0.9 F1	1.2/0.9 F1	1.2/0.9 F1
aanhangend gewicht	1.2/0.9 F2	1.2/0.9 F2	1.2/0.9 F2	1.2/0.9 F2	1.2/0.9 F2	1.2/0.9 F2
VERANDERLIJK:						
max. pos. vervalbelast.	1.25 F10 _{1250/10000}	1.2 F10 _{1250/10000}	1.0 F10 _{1250/10000}	1.25 F10 ₁₀	1.2 F10 ₁₀	1.0 F10 ₁₀
max. neg. vervalbelast.	1.25 F11 _{1250/10000}	1.2 F11 _{1250/10000}	1.0 F11 _{1250/10000}	1.25 F11 ₁₀	1.2 F11 ₁₀	1.0 F11 ₁₀
vervalbelast. bij schutpeil	1.25 F12	1.2 F12	1.0 F12	1.25 F12	1.2 F12	1.0 F12
windgolfbelast.	1.25 F13 _{1250/10000}	1.2 F13 _{1250/10000}	1.0 F13 _{1250/10000}	1.25 F13 ₁₀	1.2 F13 ₁₀	1.2 F13 ₁₀
windbelast.	1.5 F14 ₅₀	1.2 F14 ₅₀	1.0 F14 ₅₀	0.2*1.5 * F14 ₅₀	0.2*1.2 * F14 ₅₀	0.2*1.0 F14 ₅₀
belasting translatiegolf, ed.	1.5 F15 ₅₀	1.2 F15 ₅₀	1.0 F15 ₅₀	1.5 F15 ₁	1.2 F15 ₁	1.0 F15 ₁
verkeersbelasting	1.5 F16	1.2 F16	1.0 F16	1.5 F16	1.2 F16	1.0 F16
vervalbel. agv. langsvaren	1.5 F17 ₅₀	1.2 F17 ₅₀	1.0 F17 ₅₀	1.5 F17 ₁	1.2 F17 ₁	1.0 F17 ₁
massatr. water	1.5 F21	1.2 F21	1.0 F21	1.5 F21	0.8*1.2 F21	0.8*1.0 F21
dynamica deur	1.5 F30	1.2 F30	1.0 F30	1.5 F30	0.8*1.2 F30	0.8*1.0 F30
voorspankracht bew.werk	1.5 F33	1.2 F33	1.0 F33	1.5 F33	0.8*1.2 F33	0.8*1.0 F33
BIJZONDER:						
obstakel	1.0 F40	0	1.0 F40	0	0	0
falen wegmeetsysteem	1.0 F41	0	1.0 F41	0	0	0
ijsdruk	1.0 F53 ₁₀₀₀	0	1.0 F53 ₁₀₀₀	0	0	0
aanvaren deur	1.0 F54 ₁₀₀₀	0	1.0 F54 ₁₀₀₀	0	0	0
lekragen drijfkist	1.0 F55 ₁₀₀₀	0	1.0 F55 ₁₀₀₀	0	0	0

*) Is een bijzondere belasting dominant dan zijn alle belastingfactoren gelijk aan 1

Tabel 12.1 Rekenwaarden belastingen staalconstructies sluisdeuren

BELASTINGEN	BELASTINGCOMBINATIES									
	bcs1a	bcs1b	bcs1c	bcs1d	bcs1e	bcs1f	bcs1g	bcs1h	bcs1i	bcs1j
PERMANENT:										
eigen gewicht	1.2 F0	1.0 F0	1.2 F0	1.0 F0	1.2 F0	1.0 F0	1.0 F0	1.0 F0	1.0 F0	1.2 F0
oprijvende kracht	1.2 F1	1.0 F1	1.2 F1	1.0 F1	1.2 F1	1.0 F1	1.0 F1	1.0 F1	1.0 F1	1.2 F1
aanhangend gewicht	1.2 F2	1.0 F2	1.2 F2	1.0 F2	1.2 F2	1.0 F2	1.0 F2	1.0 F2	1.0 F2	1.2 F2
VERANDERLIJK:										
max. pos. vervalbelast.	1.25 F10 _{250/10000}	1.0 F10 _{250/10000}	1.25 F11 ₁₀₀₀	1.0 F11 ₁₀₀₀	1.25 F12	0.8 F12	1.0 F12	1.0 F12	1.0 F12	1.2 F12
max. neg. vervalbelast.					1.25 F13 ₁₀	0.8 F13 ₁₀				
vervalbelast. bij schutpeil					1.25 F13 ₁₀₀₀	0.3 F14 ₅₀	0.26 F14 ₅₀			
windgolfbelast.	1.25 F13 _{250/10000}	1.0 F13 _{250/10000}	1.25 F13 ₁₀₀₀	1.0 F13 ₁₀₀₀	1.25 F13 ₁₀	0.8 F13 ₁₀	1.0 F15 ₅₀			
windbelast.	1.5 F14 ₅₀	1.0 F14 ₅₀	1.5 F14 ₅₀	1.0 F14 ₅₀	0.3 F14 ₅₀	0.26 F14 ₅₀	1.0 F15 ₅₀			
belasting translatiegolf, ed.	1.5 F15 ₁	0.8 F15 ₁	1.5 F15 ₁	0.8 F15 ₁	1.5 F15 ₅₀	1.0 F15 ₅₀	0.8 F16			
verkeersbelasting	1.5 F16	0.8 F16	1.5 F16	0.8 F16	1.5 F16	0.8 F16				
massatr. water										
dynamica deur										
voorspankracht bew.werk	1.2 F33	1.0 F33	1.2 F33	1.0 F33	1.2 F33	1.0 F33	1.0 F33	1.0 F33	1.0 F33	1.2 F33
BIJZONDER										
obstakel										
falen wegneetsysteem										
ijsdruk							1.0 F53 ₁₀₀₀			
aanvaren deur								1.0 F54 ₁₀₀₀		
lekragen drijfkist									1.0 F55 ₁₀₀₀	

Tabel 12.2a Belastingcombinaties staalconstructie puntdeur

BELASTINGEN	BELASTINGCOMBINATIES				
	bcs2a	bcs2b	bcs3a	bcs3b	bcs4a
PERMANENT: eigen gewicht oprijvende kracht aanhangend gewicht	1.0 F0 1.0 F1 1.0 F2	1.0 F0 1.0 F1 1.0 F2	1.0 F0 1.0 F1 1.0 F2	1.0 F0 1.0 F1 1.0 F2	1.6 F0)*
VERANDERLIJK: max. pos. vervalbelast. max. neg. vervalbelast. vervalbelast. bij schutpeil windgolfbelast. windbelast. belasting translatiegolf, ed. verkeersbelasting vervalbel. agv. langsvaren massatr. water dynamica deur voorspankracht bew. werk					
BIJZONDER obstakel falen. wegmeetsysteem ijsdruk aanvaren deur lekraken drijfkist		1.5 F17.1	1.0 F2.1 1.0 F30	1.0 F2.1 1.0 F30	1.0 F41
	1.0 F54 ₁₀₀₀				

)* Factor 1.6 betreft belastingfactor maal stootfactor

Tabel 12.2b Belastingcombinaties staalconstructie puntdeur (vervolg)

BELASTING		REKENWAARDEN DOMINANTE BELASTING				REKENWAARDEN COMBINATIE BELASTING (een veranderlijke belasting is dominant) *)					
		Uiterste grenstoestand overbelasten overbrenging	Uiterste grenstoestand vermoeling overbrenging	Bruikbaar. grenstoestand motorkoppel, max. druk/ remkoppel, overstort	gtw1	gtw2	gtw3/gtw4	Uiterste grenstoestand overbelasting overbrenging	Uiterste grenstoestand vermoeling overbrenging	Bruikbaar. grenstoestand motorkoppel, max. druk/ remkoppel, overstort	
		gtw1	gtw2	gtw3/gtw4	gtw1	gtw2	gtw3/gtw4	gtw1	gtw2	gtw3/gtw4	
PERMANENT:	eigen gewicht	1.35/1.2/1.0/0.9 F0	1.35/1.2/1.0/0.9 F0	1.35/1.2/1.0/0.9 F0	1.25 F11 ₁₀	1.2/1.0/0.9 F0	1.2/1.0/0.9 F0	1.2/1.0/0.9 F0	1.2/1.0/0.9 F0	1.2/1.0/0.9 F0	
	oprijvende kracht	1.2/0.9 F1	1.2/0.9 F1	1.2/0.9 F1	1.25 F13 ₁	1.2/0.9 F1	1.2/0.9 F1	1.2/0.9 F1	1.2/0.9 F1	1.2/0.9 F1	
	aanhangend gewicht	1.2/0.9 F2	1.2/0.9 F2	1.2/0.9 F2	1.25 F15 ₁	1.2/0.9 F2	1.2/0.9 F2	1.2/0.9 F2	1.2/0.9 F2	1.2/0.9 F2	
	VERANDERLIJK:	max. neg. vervalbelas.	1.25 F11 ₁₀₀₀	1.2 F11 ₁₀₀₀	1.1 F11 ₁₀₀₀	1.25 F11 ₁₀	1.2 F11 ₁₀	1.2 F11 ₁₀	1.25 F11 ₁₀	1.2 F11 ₁₀	1.1 F11 ₁₀
		windgolfbelasting	1.25 F13 ₅₀	1.2 F13 ₅₀	1.1 F13 ₅₀	1.25 F13 ₁	1.2 F13 ₁	1.2 F13 ₁	1.25 F13 ₁	1.2 F13 ₁	1.1 F13 ₁
windbelasting		1.5 F14 ₅₀	1.2 F14 ₅₀	1.1 F14 ₅₀	0.2*1.5 F14 ₅₀	0.2*1.5 F14 ₅₀	0.2*1.5 F14 ₅₀	0.2*1.5 F14 ₅₀	0.2*1.5 F14 ₅₀	0.2*1.5 F14 ₅₀	
belasting translatiegolf, ed.		1.5 F15 ₅₀	1.2 F15 ₅₀	1.1 F15 ₅₀	1.5 F15 ₁	1.2 F15 ₁	1.2 F15 ₁	1.5 F15 ₁	1.2 F15 ₁	1.1 F15 ₁	
vervalbel. agv. langsvaren		1.5 F17 ₅₀	1.2 F17 ₅₀	1.1 F17 ₅₀	1.5 F17 ₁	1.2 F17 ₁	1.2 F17 ₁	1.5 F17 ₁	1.2 F17 ₁	1.1 F17 ₁	
	slib	1.5 F18 ₅₀	1.2 F18 ₅₀	1.1 F18 ₅₀	1.5 F18 ₁	1.2 F18 ₁	1.2 F18 ₁	1.5 F18 ₁	1.2 F18 ₁	1.1 F18 ₁	
	restvervalkracht	1.5 F20	1.2 F20	1.1 F20	0.8*1.5 F20	0.8*1.2 F20	0.8*1.2 F20	0.8*1.5 F20	0.8*1.2 F20	0.8*1.1 F20	
	massatr water	1.5 F21	1.2 F21	1.1 F21	0.8*1.5 F21	0.8*1.2 F21	0.8*1.2 F21	0.8*1.5 F21	0.8*1.2 F21	0.8*1.1 F21	
	stromingsweerstand	1.5 F22	1.2 F22	1.1 F22	0.8*1.5 F22	0.8*1.2 F22	0.8*1.2 F22	0.8*1.5 F22	0.8*1.2 F22	0.8*1.1 F22	
	golfweerstand	1.5 F23	1.2 F23	1.1 F23	0.8*1.5 F23	0.8*1.2 F23	0.8*1.2 F23	0.8*1.5 F23	0.8*1.2 F23	0.8*1.1 F23	
	kasweerstand	1.5 F24	1.2 F24	1.1 F24	0.8*1.5 F24	0.8*1.2 F24	0.8*1.2 F24	0.8*1.5 F24	0.8*1.2 F24	0.8*1.1 F24	
	dynamica deur	1.5 F30	1.2 F30	1.1 F30	0.8*1.5 F30	0.8*1.2 F30	0.8*1.2 F30	0.8*1.5 F30	0.8*1.2 F30	0.8*1.1 F30	
	dynamica bew werk	1.5 F31	1.2 F31	1.1 F31	0.8*1.5 F31	0.8*1.2 F31	0.8*1.2 F31	0.8*1.5 F31	0.8*1.2 F31	0.8*1.1 F31	
	wrijving	1.5 F32	1.2 F32	1.1 F32	0.8*1.5 F32	0.8*1.2 F32	0.8*1.2 F32	0.8*1.5 F32	0.8*1.2 F32	0.8*1.1 F32	
	voorspankr. beweg. werk	1.5 F33	1.2 F33	1.1 F33	0.8*1.5 F33	0.8*1.2 F33	0.8*1.2 F33	0.8*1.5 F33	0.8*1.2 F33	0.8*1.1 F33	
	kabelstramheid	1.5 F34	1.2 F34	1.1 F34	0.8*1.5 F34	0.8*1.2 F34	0.8*1.2 F34	0.8*1.5 F34	0.8*1.2 F34	0.8*1.1 F34	
	BIJZONDER:										
	obstakel	1.0 F40	0	1.0 F40	0	0	0	0	0	0	
	falen wegmeetsysteem	1.0 F41	0	1.0 F41	0	0	0	0	0	0	
	sluiten op stroom	1.0 F51 _{50/1000}	0	1.0 F51 _{50/1000}	0	0	0	0	0	0	

*) is een bijzondere belasting dominant dan zijn alle belastingfactoren gelijk aan 1

Tabel 12.3 Rekenwaarden belastingen bewegingswerken sluisdeuren

BELASTING	BELASTINGCOMBINATIES						
	bcw1a	bcw1b	bcw1c	bcw1d	bcw1e	bcw1f	bcw1g
VERANDERLIJK: max. neg. vervalbelast. windgolfbelast. windbelast. belasting translatiegolf, ed. vervalkr. agv. langsvaren slib restvervalbelast. massatr. water stromingsweerst. golfweerstand kasweerstand dynamica deur dynamica bew. werk wrijving buffers & fenders	1.25 F11 ₁₀₀₀ 1.25 F13 ₁ 0.3 F14 ₅₀ 1.5 F15 ₁	1.2 F11 ₁₀₀₀ 1.2 F13 ₁ 0.24 F14 ₅₀ 1.2 F15 ₁	1.1 F11 ₁₀₀₀ 1.1 F13 ₁ 0.22 F14 ₅₀ 1.1 F15 ₁	1.25 F13 ₅₀ 1.5 F14 ₅₀ 1.5 F15 ₁	1.2 F13 ₅₀ 1.2 F14 ₅₀ 1.2 F15 ₁	1.1 F13 ₅₀ 1.1 F14 ₅₀ 1.1 F15 ₁	1.25 F13 ₁ 0.3 F14 ₅₀ 1.5 F15 ₅₀ 1.1 F17 ₅₀

Tabel 12.4a Belastingcombinaties deurbewegingswerk puntdeur

BELASTINGEN	BELASTINGCOMBINATIES					
	bcw3a	bcw3b	bcw3c	bcw3d	bcw3e	bcw3f
VERANDERLIJK: max. neg. vervalbelast. windgolfbelast. windbelast. belasting translatiegolf, ed. vervalkr. agv. langsvaren slib restvervalbelast. massatr. water stromingsweerst. golfweerstand kasweerstand dynamica deur dynamica bew. werk wrijving buffers & fenders	1.25 F13 ₁ 0.3 F14 ₅₀ 1.5 F15 ₁ 1.5 F18 ₁ 1.5 F20 1.5 F21	1.2 F13 ₁ 0.24 F14 ₅₀ 1.2 F15 ₁ 1.2 F18 ₁ 1.2 F20 1.2 F21	1.1 F13 ₁ 0.22 F14 ₅₀ 1.1 F15 ₁ 1.1 F18 ₁ 1.1 F20 1.1 F21	1.25 F13 ₅₀ 1.5 F14 ₅₀ 1.5 F15 ₁ 1.5 F18 ₁ 1.2 F20 1.2 F21	1.25 F13 ₁ 0.3 F14 ₅₀ 1.5 F15 ₅₀ 1.5 F18 ₁ 1.2 F20 1.2 F21	0.8 F13 ₁ 0.14 F14 ₅₀ 0.8 F15 ₁ 0.8 F18 ₁ 1.0 F20 1.0 F21
	1.5 F30 1.5 F31 1.2 F32	1.2 F30 1.2 F31 1.0 F32	1.1 F30 1.1 F31 0.9 F32	1.2 F30 1.2 F31 1.2 F32	1.2 F30 1.2 F31 1.2 F32	1.0 F30 1.0 F31 0.9 F32

Tabel 12.4b Belastingcombinaties deurbewegingswerk puntdeur (vervolg)

BELASTINGEN	BELASTINGCOMBINATIES							
	bcw4a	bcw4b	bcw4c	bcw4d	bcw5a	bcw5b	bcw5c	bcw5d
VERANDERLIJK: max. neg. vervalbelast. windgolfbelast. windgolfbelast. windbelast. belasting translatiegolf, ed. vervalkr. agv. langsvaren slib	1.25 F13 ₁ 0.3 F14 ₅₀	1.2 F13 ₁ 0.24 F14 ₅₀	1.1 F13 ₁ 0.22 F14 ₅₀	0.8 F13 ₁ 0.14 F14 ₅₀				
restvervalbelast. massatr. water stromingsweerst. golfweerstand kasweerstand	1.5 F22 1.5 F23	1.2 F22 1.2 F23	1.1 F22 1.1 F23	1.0 F22 1.0 F23	1.5 F21 1.5 F24	1.2 F21 1.2 F24	1.1 F21 1.1 F24	1.0 F21 1.0 F24
dynamica deur dynamica bew. werk wrijving buffers & fenders	1.2 F32	1.0 F32	0.9 F32	0.9 F32	1.5 F30 1.5 F31 1.2 F32	1.2 F30 1.2 F31 1.0 F32	1.1 F30 1.1 F31 0.9 F32	1.0 F30 1.0 F31 0.9 F32

Tabel 12.4c Belastingcombinaties deurbewegingswerk puntdeur (vervolg)

Uiterste grenstoestand: kracht op hydraulische cilinder				Rekenwaarden van de krachten inclusief dynamische effecten (zie NEN 6786; VOBB)	
Grenstoestand	Bedrijfsstoestand	Belastingscombinaties in bedrijfsstoestand	F_{ed} Rekenwaarde van de uitwendige belasting	F_{ed} Rekenwaarde door versnellen	F_{ed} Rekenwaarde van de krachten inclusief dynamische effecten (zie NEN 6786; VOBB)
gtw1 (overbelasten)	btw1 (deur gesloten)	bow1a (negatief verval) bow1d (windgolven) bow1g (translatiegolven)	11.25 F11 ₁₀₀₀ + 1.25 F13 ₁ + 0.3 F14 ₅₀ + 1.5 F15 ₁ /η 11.25 F13 ₅₀ + 1.5 F14 ₅₀ + 1.5 F15 ₁ /η 11.25 F13 ₁ + 0.3 F14 ₅₀ + 1.5 F15 ₅₀ /η		F_{ed} F_{ed} F_{ed}
	btw3 (begin openen)	bow3a (restinterval en massatraagheid) bow3d (extreme windgolven) bow3e (extreme translatiegolven)	11.25 F13 ₁ + 0.3 F14 ₅₀ + 1.5 F15 ₁ + 1.5 F18 ₁ + 1.5 F20 + 1.2 F32/η 11.25 F13 ₅₀ + 1.5 F14 ₅₀ + 1.5 F15 ₁ + 1.5 F18 ₁ + 1.2 F20 + 1.2 F32/η 11.25 F13 ₁ + 0.3 F14 ₅₀ + 1.5 F15 ₅₀ + 1.5 F18 ₁ + 1.2 F20 + 1.2 F32/η	1.5 F21 + 1.5 F30 + 1.5 F31 1.2 F21 + 1.2 F30 + 1.2 F31 1.2 F21 + 1.2 F30 + 1.2 F31	$F_{ed} + F_{ad} + 0.9\sqrt{(F_{ad}^2 + 1.5^2 \cdot v_z^2 \cdot C_2 \cdot m_2)}$ $F_{ed} + F_{ad} + 0.9\sqrt{(F_{ad}^2 + 1.5^2 \cdot v_z^2 \cdot C_2 \cdot m_2)}$ $F_{ed} + F_{ad} + 0.9\sqrt{(F_{ad}^2 + 1.5^2 \cdot v_z^2 \cdot C_2 \cdot m_2)}$
	btw4 (tijdens openen)	bow4a (stromings- en golfweerstand)	11.25 F13 ₁ + 0.3 F14 ₅₀ + 1.5 F22 + 1.5 F23 + 1.2 F32/η		F_{ed}
	btw5 (einde openen)	bow5a (kasweerstand en massatraagheid)	11.5 F24 + 1.2 F32/η	1.5 F21 + 1.5 F30 + 1.5 F31	$F_{ed} + \phi_a \cdot F_{ad}$
	btw1 (deur gesloten)	bow1b (negatief verval) bow1e (windgolven)	11.2 F11 ₁₀₀₀ + 1.2 F13 ₁ + 0.24 F14 ₅₀ + 1.2 F15 ₁ /η 11.2 F13 ₅₀ + 1.2 F14 ₅₀ + 1.2 F15 ₁ /η		F_{ed} F_{ed}
gtw2 (vermoeing)	btw3 (begin openen)	bow3b (restinterval en massatraagheid)	11.2 F13 ₁ + 0.24 F14 ₅₀ + 1.2 F15 ₁ + 1.2 F18 ₁ + 1.2 F20 + 1.0 F32/η	1.2 F21 + 1.2 F30 + 1.2 F31	$F_{ed} + F_{ad} + 0.9\sqrt{(F_{ad}^2 + 1.2^2 \cdot v_z^2 \cdot C_2 \cdot m_2)}$
	btw4 (tijdens openen)	bow4b (stromings- en golfweerstand)	11.2 F13 ₁ + 0.24 F14 ₅₀ + 1.2 F22 + 1.2 F23 + 1.0 F32/η		F_{ed}
	btw5 (einde openen)	bow5b (kasweerstand en massatraagheid)	11.2 F24 + 1.0 F32/η	1.2 F21 + 1.2 F30 + 1.2 F31	$F_{ed} + \phi_a \cdot F_{ad}$
Bruikbaarheidsgrenstoestand: kracht op hydraulisch pompaggregaat en overstort					
Grenstoestand	Bedrijfsstoestand	Belastingscombinaties in bedrijfsstoestand	F_{ed} Rekenwaarde van de uitwendige belasting	F_{ed} Rekenwaarde door versnellen	Rekenwaarde van de krachten
gtw3 (overschrijden maximale druk)	btw3 (begin openen)	bow3c (restinterval en massatraagheid)	11.1 F13 ₁ + 0.22 F14 ₅₀ + 1.1 F15 ₁ + 1.1 F18 ₁ + 1.1 F20 + 0.9 F32/η	1.1 F21 + 1.1 F30 + 1.1 F31	$F_{ed} + F_{ad}$
	btw4 (tijdens openen)	bow4c (stromings- en golfweerstand)	11.1 F13 ₁ + 0.22 F14 ₅₀ + 1.1 F22 + 1.1 F23 + 0.9 F32/η		F_{ed}
	btw5 (einde openen)	bow5c (kasweerstand en massatraagheid)	11.1 F24 + 0.9 F32/η	1.1 F21 + 1.1 F30 + 1.1 F31	$F_{ed} + F_{ad}$
	btw1 (deur gesloten)	bow1c (negatief verval) bow1f (windgolven)	11.1 F11 ₁₀₀₀ + 1.1 F13 ₁ + 0.22 F14 ₅₀ + 1.1 F15 ₁ /η 11.1 F13 ₅₀ + 1.1 F14 ₅₀ + 1.1 F15 ₁ /η		F_{ed} F_{ed}
	btw2 (deur geopend)	bow2a (langsvaren schip)	11.1 F17 ₅₀ /η		F_{ed}
gtw5 (overschrijden gemiddelde druk)	btw3 (begin openen)	bow3f (restinterval en massatraagheid)	10.8 F13 ₁ + 0.14 F14 ₅₀ + 0.8 F15 ₁ + 0.8 F18 ₁ + 1.0 F20 + 0.9 F32/η	1.0 F21 + 1.0 F30 + 1.0 F31	$F_{ed} + F_{ad}$
	btw4 (tijdens openen)	bow4d (stromings- en golfweerstand)	10.8 F13 ₁ + 0.14 F14 ₅₀ + 1.0 F22 + 1.0 F23 + 0.9 F32/η		F_{ed}
	btw5 (einde openen)	bow5d (kasweerstand en massatraagheid)	11.0 F24 + 0.9 F32/η	1.0 F21 + 1.0 F30 + 1.0 F31	$F_{ed} + F_{ad}$

v_z = snelheid van de zuigerstang
 m_2 = som van de massa's van te verplaatsen water en deur, herleid naar de zuigerstang
 C_2 = stijfheid van overbrenging inclusief olie, herleid naar de zuigerstang
 ϕ_a = 1.9 (dynamische vergrotingsfactor)
 η volgens art. 8.4.2.1.5 (VOBB)
 (η) = rendementsfactor voor inwendige verliezen

Tabel 12.5a Rekenwaarden van krachten op het bewegingswerk indien elektrohydraulisch aangedreven.

Uiterste grenstoestand: moment op overbrenging		Belastingscombinaties in bedrijfstoestand		M _{sd}		M _{sd}		Rekenwaarde van de krachten inclusief dynamische effecten (zie NEN 6786; VOBB)	
Grenstoestand	Bedrijfstoestand								
gtw1 (overbelasten)	btw1 (deur gesloten)	bcw1a (negatief verval) bcw1d (windgolven) bcw1g (translatiegolven)		1.25 M11 ₁₀₀₀ + 1.25 M13 ₁ + 0.3 M14 ₉₀ + 1.5 M15 ₁ /l ₁ 1.25 M13 ₉₀ + 1.5 M14 ₉₀ + 1.5 M15 ₁ /l ₁ 1.25 M13 ₁ + 0.3 M14 ₉₀ + 1.5 M15 ₉₀ /l ₁				M _{sd} M _{sd} M _{sd}	
	btw3 (begin openen)	bcw3a (restverval en massatraagheid) bcw3d (extreme windgolven) bcw3e (extreme translatiegolven)		1.25 M13 ₁ + 0.3 M14 ₉₀ + 1.5 M15 ₁ + 1.5 M18 ₁ + 1.5 M20 + 1.2 M32/l ₁ 1.25 M13 ₉₀ + 1.5 M14 ₉₀ + 1.5 M15 ₁ + 1.5 M18 ₁ + 1.2 M20 + 1.2 M32/l ₁ 1.25 M13 ₁ + 0.3 M14 ₉₀ + 1.5 M15 ₉₀ + 1.5 M18 ₁ + 1.2 M20 + 1.2 M32/l ₁		1.5 M21 + 1.5 M30 + 1.5 M31 1.2 M21 + 1.2 M30 + 1.2 M31 1.2 M21 + 1.2 M30 + 1.2 M31		M _{sd} + ε * M _{sd} + 0.9 * (ε * M _{sd}) ² + 1.5 * ω ² * C ₁ * I ₂ M _{sd} + ε * M _{sd} + 0.9 * (ε * M _{sd}) ² + 1.5 * ω ² * C ₁ * I ₂ M _{sd} + ε * M _{sd} + 0.9 * (ε * M _{sd}) ² + 1.5 * ω ² * C ₁ * I ₂	
	btw4 (tijdens openen)	bcw4a (stromings- en golfweerstand)		1.25 M13 ₁ + 0.3 M14 ₉₀ + 1.5 M22 + 1.5 M23 + 1.2 M32/l ₁				M _{sd}	
	btw5 (einde openen)	bcw5a (kasweerstand en massatraagheid)		1.5 M24 + 1.2 M32/l ₁		1.5 M21 + 1.5 M30 + 1.5 M31		φ _s * ε * (M _{sd} + M _{sd}) + 1.1 * φ _s * ε _{cl} * M _{sd} (noot ¹⁾)	
	btw1 (deur gesloten)	bcw1b (negatief verval) bcw1e (windgolven)		1.2 M11 ₁₀₀₀ + 1.2 M13 ₁ + 0.24 M14 ₉₀ + 1.2 M15 ₁ /l ₁ 1.2 M13 ₉₀ + 1.2 M14 ₉₀ + 1.2 M15 ₁ /l ₁		M _{sd} M _{sd}			
gtw2 (vermoeling)	btw3 (begin openen)	bcw3b (restverval en massatraagheid)		1.2 M13 ₁ + 0.24 M14 ₉₀ + 1.2 M15 ₁ + 1.2 M18 ₁ + 1.2 M20 + 1.0 M32/l ₁		1.2 M21 + 1.2 M30 + 1.2 M31		M _{sd} + ε * M _{sd} + 0.9 * (ε * M _{sd}) ² + 1.2 * ω ² * C ₁ * I ₂	
	btw4 (tijdens openen)	bcw4b (stromings- en golfweerstand)		1.2 M13 ₁ + 0.24 M14 ₉₀ + 1.2 M22 + 1.2 M23 + 1.0 M32/l ₁				M _{sd}	
	btw5 (einde openen)	bcw5b (kasweerstand en massatraagheid)		1.2 M24 + 1.0 M32/l ₁		1.2 M21 + 1.2 M30 + 1.2 M31		φ _s * ε * (M _{sd} + M _{sd}) + 1.1 * φ _s * ε _{cl} * M _{sd} (noot ¹⁾)	
Bruikbaarheidsgrenstoestand: moment op motor en rem		Belastingscombinaties in bedrijfstoestand		F _{sd}		F _{sd}		Rekenwaarde van de krachten	
Grenstoestand	Bedrijfstoestand								
gtw3 (overschrijden grensmotorkoppel)	btw3 (begin openen)	bcw3c (restverval en massatraagheid)		1.1 M13 ₁ + 0.22 M14 ₉₀ + 1.1 M15 ₁ + 1.1 M18 ₁ + 1.1 M20 + 0.9 M32/l ₁		1.1 M21 + 1.1 M30 + 1.1 M31		M _{sd} + φ _s * M _{sd}	
	btw4 (tijdens openen)	bcw4c (stromings- en golfweerstand)		1.1 M13 ₁ + 0.22 M14 ₉₀ + 1.1 M22 + 1.1 M23 + 0.9 M32/l ₁		M _{sd}			
	btw5 (einde openen)	bcw5c (kasweerstand en massatraagheid)		1.1 M24 + 0.9 M32/l ₁		1.1 M21 + 1.1 M30 + 1.1 M31		M _{sd} + φ _s * M _{sd}	
	btw1 (deur gesloten)	bcw1c (negatief verval) bcw1f (windgolven)		1.1 M11 ₁₀₀₀ + 1.1 M13 ₁ + 0.22 M14 ₉₀ + 1.1 M15 ₁ /l ₁ 1.1 M13 ₉₀ + 1.1 M14 ₉₀ + 1.1 M15 ₁ /l ₁		M _{sd} M _{sd}			
	btw2 (deur geopend)	bcw2a (langsvaren schip)		1.1 M17 ₉₀ /l ₁		M _{sd}			
gtw5 (overschrijden toegekend motorkoppel)	btw3 (begin openen)	bcw3f (restverval en massatraagheid)		1.0 M13 ₁ + 0.14 M14 ₉₀ + 0.8 M15 ₁ + 0.8 M18 ₁ + 1.0 M20 + 0.9 M32/l ₁		1.0 M21 + 1.0 M30 + 1.0 M31		M _{sd} + M _{sd}	
	btw4 (tijdens openen)	bcw4d (stromings- en golfweerstand)		1.0 M13 ₁ + 0.14 M14 ₉₀ + 1.0 M22 + 1.0 M23 + 0.9 M32/l ₁		M _{sd}			
	btw5 (einde openen)	bcw5d (kasweerstand en massatraagheid)		1.0 M24 + 0.9 M32/l ₁		1.0 M21 + 1.0 M30 + 1.0 M31		M _{sd} + M _{sd}	

η volgens art. 8.4.2.1.5 (VOBB)
 (η = rendementsfactor voor inwendige verliezen van de overbrenging)
 noot¹⁾ geen ...! bij regeling van ω

C₁ = stijfheid van overbrenging, herleid naar de motoras
 φ_s = 1.9 (dynamische vergrotingsfactor)
 ε = 1.2 I₂ / (I₁ + 1.2 I₂)

ω = hoeksnelheid motoras, afhankelijk van de beschouwde situatie
 I₁ = massatraagheidsmoment van de motoras inclusief meedraaiende delen
 I₂ = som van de massa's van te verplaatsen water en deur, herleid naar de motoras

Tabel 12.5b Rekenwaarden van krachten op het bewegingswerk indien elektromechanisch aangedreven.

Literatuur

- [12.1] NEN 6702, Technische grondslagen voor bouwconstructies, TGB 1990, Belastingen en vervormingen
- [12.2] NEN 6770, Staalconstructies TGB 1990, Basiseisen en rekenregels voor overwegend statisch belaste constructies
- [12.3] NEN 6788, Ontwerpen van stalen bruggen, Basiseisen en eenvoudige rekenregels, VOSB 1995
- [12.4] NEN 6786, Voorschriften voor het ontwerpen van beweegbare bruggen, VOBB
- [12.5] TAW (Technische Adviescommissie Waterkeringen) met Leidraad Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies, 1997 (inclusief basisrapport) en Leidraad voor het Ontwerpen van Rivierdijken, deel 1 (bovenrivierengebied) en deel 2 (benedenrivierengebied)



Foto 13.1 Heien van trekpalen voor onderwaterbetonvloer van Tweede sluis te Lith. Op achtergrond de met groutankers verankerde diepwand als kolkwand.

Hoofdstuk 13 **Betonconstructies en fundering**

13.1 Inleiding

In de hoofdstukken 8 en 9 zijn de sluishoofden en de sluiskolken aan de orde gekomen voor wat betreft de functionele eisen, de vormgeving, de alternatieven naar constructie en bouwmethode en de selectie van de alternatieven. In dit hoofdstuk is ervan uitgegaan dat een alternatief gekozen is voor wat betreft vorm, constructie en bouwmethode van de sluishoofden en de sluiskolk.

Het hoofdstuk behandelt de rekentechnische aspecten van de betonconstructie en fundering van sluishoofden en sluiskolk. Dit betreft alleen de voor sluizen specifieke zaken van de betonconstructies en de hieraan gerelateerde geotechnische aspecten. Algemeen geldende zaken voor betonconstructies worden niet behandeld; verwezen wordt naar de desbetreffende normen en richtlijnen (TGB 1990, zie ook par. 2.9) en verdere literatuur. Zaken als damwanden, diepwanden of L-muren worden nauwelijks behandeld maar in hoofdstuk 14.

Eerst wordt in par. 13.2 in korte bewoordingen een overzicht gegeven van dwarsdoorsneden van de sluis als resultaat van de hoofdstukken 8 en 9. In par. 13.3 worden de voorschriften besproken. Daarna worden in par. 13.4 resp. 13.5 de afzonderlijke belastingcomponenten resp. de mogelijke belastingcombinaties gepresenteerd. In par. 13.6 worden de sterkte en de stabiliteit van een betonbak behandeld. Par. 13.7 bespreekt de voor sluizen specifieke betondetails en in par. 13.8 worden voorbeelden van uitgevoerde sluizen gepresenteerd. De appendix 13.1 bevat een publicatie over pneumatisch afgezonden sluishoofden.

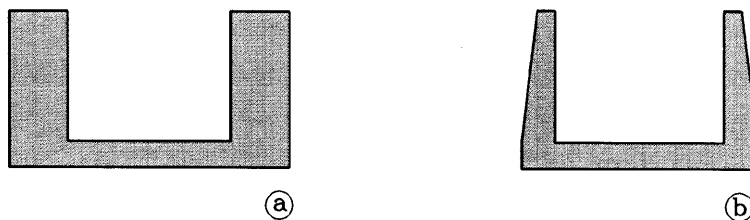
13.2 Dwarsdoorsneden sluis

13.2.1 Betonbak



Foto 13.2 U-vormige betonbakken van sluiscomplex te Maasbracht

De U-vormige betonbak wordt altijd toegepast voor de sluishoofden (boven- en benedenhoofd en eventueel tussenhoofd) en in veel gevallen ook voor de sluiscolk die dan in moten wordt opgebouwd.



Figuur 13.1 U-vormige betonbak

Voor het sluishoofd wordt in de regel een monolithische betonbak toegepast die dus als één geheel werkt: hierbij zijn de wanden vormvast aan de vloer bevestigd (fig. 13.1a). Dit wordt gedaan om de volgende redenen:

- de in langsrichting werkende vervalcracht over de deuren moet via de wanden en de vloer naar een groot funderingsvlak worden overgedragen;
- de in dwarsrichting werkende grond- en waterdrukken en spatkrachten bij gebruik van puntdeuren moeten opgenomen kunnen worden;
- de betonbak moet vanwege de maatvoering van de deuren zo vormvast mogelijk zijn;

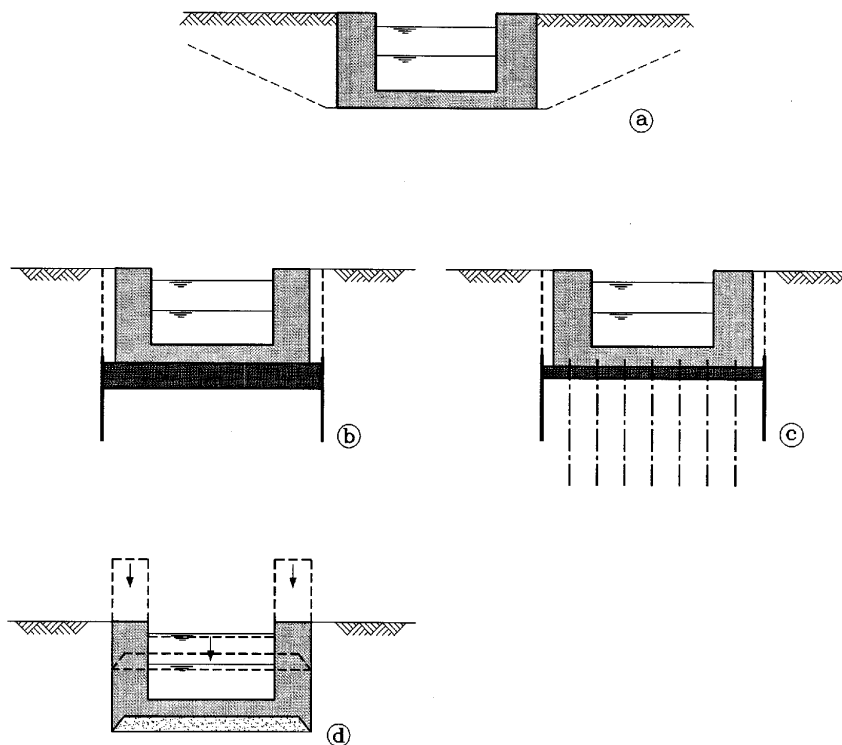
- het sluishoofd moet indien mogelijk voor onderhoud drooggezet kunnen worden (Opm. Wanneer dit te veel extra kosten met zich meebrengt, worden droogzetkuipen toegepast).

In het hoofd zijn de deurkassen ondergebracht, de bewegingswerkkelders, heftoren bij hefdeuren, een woelkelder bij hoog-verval sluizen en eventueel een brugfundatie bij het sluishoofd (Opm. Voorkeursplaats voor brug is meestal bij het benedenhoofd vanwege de doorvaarthoogte).

In plaats van een monolithische betonbak kan het voor zeer brede zeesluizen vanwege de krimp in het beton gewenst zijn dat in de vloer van het hoofd een of twee scharnieren worden aangebracht. Ook een roldeurkas wordt soms door een voeg gescheiden van het sluishoofd. Deze voorzieningen moeten dwarskrachten kunnen opnemen zodat geen hoogteverschillen ontstaan.

De sluiskolk hoeft het verval over de sluis niet naar de fundering over te dragen maar wel de dwarsbelasting van grond- en waterdrukken op de wanden. De vormvastheid van de kolk is minder kritisch dan bij het hoofd en de kolk hoeft in het algemeen niet drooggezet te worden. De kolk wordt bij de bouw in een droge bouwkuip of -put als betonbak uitgevoerd (fig. 13.1b), bij andere bouwwijzen worden andere dwarsdoorsneden toegepast (zie par. 13.2.2 en 13.2.3, fig. 13.3, 13.4 en 13.5). Bij hoogverval sluizen ligt een monolithische betonbak voor de hand omdat een aparte vloer of erg dik, of met veel trekpalen of met veel filterdrains uitgevoerd moet worden om opdrijven hiervan te voorkomen. Bij toepassing van een betonbak kan deze monolithisch zijn maar bij brede sluizen (grote zeesluizen) worden ook wel een of twee scharnieren in de vloer (in langsrichting van de sluis) aangebracht.

Fundering en bouwwijze hangen nauw met elkaar samen. Een betonbak wordt in den droge gebouwd. De betonbak kan afhankelijk van de ondergrond op staal worden gefundeerd al of niet met gebruikmaking van een onderwaterbetonvloer of een paalfundering. Er bestaan thans drie bouwwijzen waarbij de eerste grondwaterspiegelverlaging vereist en de ander twee niet (fig 13.2).



Figuur 13.2 Bouwwijze betonbak

- Open bouwput (fig. 13.2a)



Foto 13.3 Open bouwput voor bouw sluis Wijk bij Duurstede

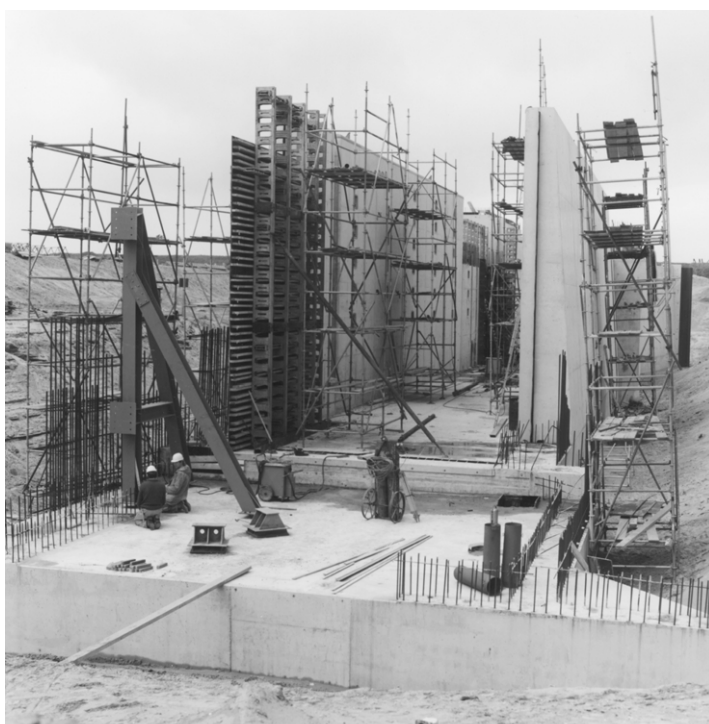


Foto 13.4 Open bouwput voor bouw Bergse Diepsluis

Bij een open bouwput, voorzien van een bemaling voor het drooghouden hiervan, wordt de betonbak op staal (eventueel met grondverbetering bij slechte ondergrond) of op palen gefundeerd.

- Damwandkuip (fig. 13.2b en 13.2c)



Foto 13.5 Damwandkuip voor sluishoofd van Nieuwe Oranjesluis met onderwaterbetonvloer en trekpalen



Foto 13.6 Damwandkuip voor roldeurkassen van schutsluizen te Hansweert

Bij een damwandkuip wordt de betonbak normaliter op een vooraf gestorte en verharde onderwaterbetonvloer aangebracht. De onderwaterbetonvloer vereist zonder gebruik te maken van palen een aanzienlijke dikte om opdrijven te voorkomen na het leegpompen van de kuip. Bij het toepassen van (trek-)palen wordt de onderwaterbetonvloer dun uitgevoerd waarbij de palen zowel aan de onderwaterbetonvloer als (later) aan de kolkvloer bevestigd worden. Soms is een grondverbetering nodig onder de onderwaterbetonvloer om ontoelaatbare zettingen tijdens het storten tegen te gaan. (Opm. Grondverbetering met zand is moeilijk toepasbaar daar verdichting hiervan

nauwelijks mogelijk is; wel wordt grof zand of grind toegepast als veen- of sliblagen aanwezig zijn.) Bouwen in een damwandkuip zonder een onderwaterbetonvloer is mogelijk bij afsluitende grondlagen of grondinjectione.

De damwanden van de kuip worden tegen elkaar gestempeld of verankerd (afhankelijk van mogelijkheden en kosten).

- Pneumatisch afzinken (fig. 13.2d)

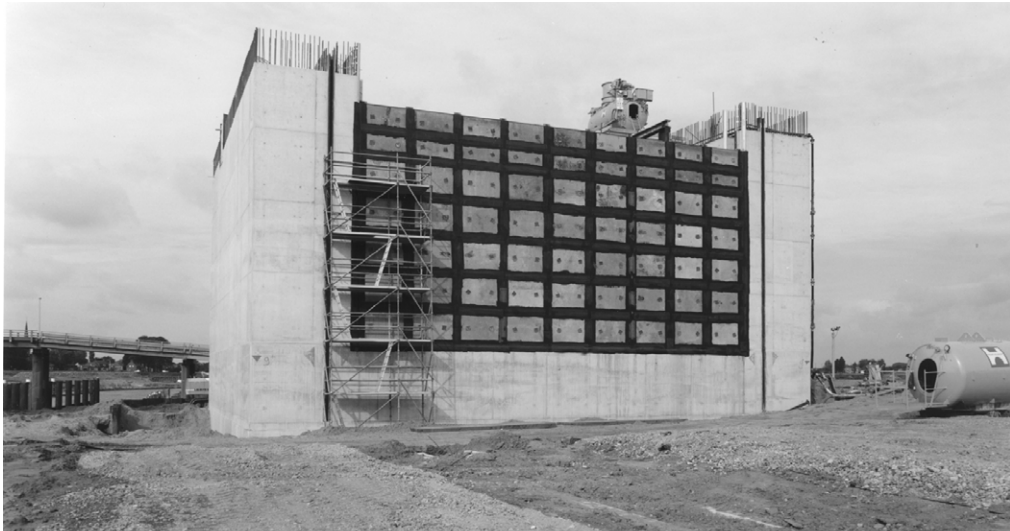


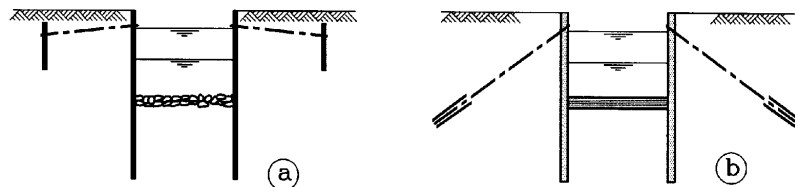
Foto 13.7 Pneumatisch af te zinken sluishoofd van Tweede schutsluis te Lith

Bij het pneumatisch afzinken van hoofden of van een gehele, kleine sluis, wordt het sluishoofd op staal gefundeerd. Na het afzinken wordt de ruimte tussen ondergrond en betonbak (de werkruimte) opgevuld wordt met beton. De methode is economisch aantrekkelijk wanneer de caisson bijvoorbeeld 8 m of meer moet zakken.

Een bij sluizen nog niet toegepaste methode is die waarbij de drijvend aangevoerde sluishoofden en de sluiskolk in een sleuf worden afgezonken. De moeilijkheid hierbij kan zijn het benodigde drijfvermogen bij het grote eigengewicht van hoofden, alsmede het te grote vrijboord bij brede kolknoten en het later daarvoor aan te brengen definitieve ballastgewicht.

Omdat het tijdelijk verlagen van de grondwaterspiegel aan beperkingen is onderworpen, komt de werkwijze met een diepe, open bouwput heden ten dage minder vaak voor. Het gevolg is dat veel sluishoofden tegenwoordig in een damwandkuip worden gebouwd of pneumatisch worden afgezonken terwijl de sluiskolk niet meer als betonbak wordt uitgevoerd.

13.2.2 Dam-/diepwanden met aparte vloer



Figuur 13.3 Dam- en diepwanden met aparte vloer

Een sluiskolk wordt tegenwoordig vaak gebouwd met stalen damwanden als kolkwanden en een aparte kolkvloer (fig. 13.3a). Behalve stalen damwanden worden ook wel betonnen diepwanden gebruikt (fig. 13.3b). Voordeel van dam- en diepwanden is dat het werk in de natte uitgevoerd kan worden.

Tijdens de bouw is dus geen grondwaterspiegelverlaging nodig. Dit type kolk mag voor onderhoud niet drooggezet worden, tenzij de vloer en wanden erop geconstrueerd zijn.



Foto 13.8 Sluiskolk van damwanden met betonnen voorwand en bodembescherming van Nieuwe Oranjesluis te Amsterdam



Foto 13.9 Sluiskolk van diepwanden met (nog aan te brengen) betonnen voorwanden en onderwaterbetonvloer van Tweede sluis te Lith

De dam- of diepwanden zijn bovenaan verankerd aan ankerwanden of groutankers en vinden hun inklemming en oplegging diep in de grond. In plaats van ankerwanden of groutankers wordt incidenteel ook wel een kistdamconstructie toegepast met aan elkaar verankerde wanden met een zandvulling tus-

sen de damwanden in.

De vloer van de kolk kan bestaan uit losse stortsteen of uit onderwaterbeton.

Losse stortsteen als bodem beschermt de bodem tegen de overtrekkende stroom en voorkomt waterdrukverschillen onder en boven de stortsteen. Bij een stortstenen bodem worden op een geotextiel een aantal in diameter toenemende lagen grind en stortsteen aangebracht.

De onderwaterbetonvloer heeft behalve als beschermingsfunctie van de bodem ook een stempelfunctie tussen beide wanden waardoor de wanden lichter geconstrueerd kunnen worden. De dikte van de onderwaterbetonvloer wordt bepaald door het al of niet toepassen van trekpalen en door de maximaal optredende opwaartse waterdruk die gereduceerd kan worden door filterbuizen in de vloer (drains) toe te passen. Heeft de wand ook een dragende functie voor de vloer (oftewel overdracht van verticale belasting van vloer naar wand) dan wordt door middel van ankers de verbinding tussen wanden en onderwaterbetonvloer tot stand gebracht.

De (stalen) damwand wordt vanaf het maaiveld of het water in de grond gebracht (geslagen, getrild of gedeeltelijk gespoten).

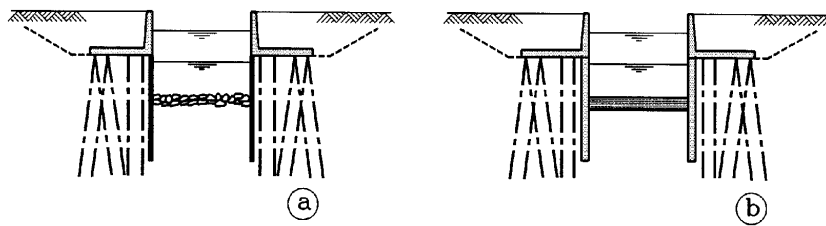
De (betonnen) diepwand moet altijd vanaf maaiveld in de grond worden gebracht. Hierbij wordt een verticale sleuf in de grond gegraven die opgevuld wordt met bentoniet (water/kleimengsel). Na het inbrengen van een wapeningsnet wordt deze sleuf opgevuld met beton onder uitdrijving van het bentoniet.

Na het weghalen van de grond tussen de dam- of diepwanden (de kolk) worden in de natte (eventueel) de palen en de vloer aangebracht. De dam- of diepwanden worden meestal nog bekleed met een aparte betonwand of met losse schorten (alleen bij stalen damwand). Deze bekleding reikt vanaf de bovenkant tot onder de laagste waterstand. Voor het aanbrengen van deze wand wordt tijdens de bouw de waterstand in de kolk tijdelijk verlaagd tot genoemde laagste waterstand.



Foto 13.10 Voorwand voor de diepwand van sluiskolk van Tweede sluis te Lith

13.2.3 Hooggelegen L-wanden met dam- of diepwanden en aparte vloer



Figuur 13.4 Hooggelegen L-wanden met dam-/diepwanden en aparte vloer

Hooggelegen L-wanden in combinatie met een dam- of diepwand voor sluiskolken worden met name toegepast wanneer bouwen in een diepe bouwput niet mogelijk is. De wanden zijn in principe geschikt voor alle sluiskolktypen maar worden vooral toegepast bij grote sluiskolken, bijvoorbeeld zeesluizen. De kolk kan voor onderhoud niet worden drooggezet (fig. 13.4a en 13.4b).



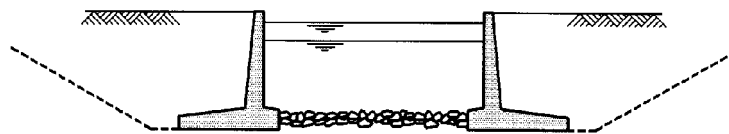
Foto 13.11 Eerste stadium bouw kolkwand door aanbrengen van laaggeplaatste damwanden van schutsluizen te Hansweert (met compartimenteringswanden)



Foto 13.12 Verdere afbouw kolkwand door aanbrengen van hooggefundeerde L-muren van schutsluizen te Hansweert

De hooggelegen, gewapend-betonnen L-wanden rusten aan de voorzijde op een dam- of diepwand en zijn aan de achterzijde gefundeerd op schoorpalen. Door het gewicht van de grond op de L-wand is de mogelijke trekkracht in de palen beperkt. De L-wand werkt voor de dam- of diepwand als een ontlastplaat die de horizontale gronddruk op de dam- of diepwand beperkt en tevens de ankerkrachten opneemt. Voor deze L-wanden is slechts een geringe diepte van de bouwput nodig. De vloer kan bestaan uit losse stortsteen, uit een dikke onderwaterbetonvloer direct op de ondergrond of dan wel een grondverbetering, of uit een dunne onderwaterbetonvloer op palen.

13.2.4 L-muren met aparte vloer



Figuur 13.5 L-muren met aparte vloer

L-muren die de gehele wandhoogte beslaan worden toegepast voor zeer grote sluiskolken, bijvoorbeeld grote zeesluizen (fig. 13.5). De kolk kan voor onderhoud niet drooggezet worden. De bouw ervan vereist een diepe bouwput, anders kan de constructie niet gerealiseerd worden. Ook hoge L-wanden worden meestal op staal gefundeerd, maar een fundering op palen is ook mogelijk, echter niet erg logisch omdat dit een zogenaamde gewichtsconstructie is, die op zich zelf stabiel is. De voorzijde van de vloer steekt veelal iets buiten de wand. De kolkvloer bestaat uit losse stortsteen.

13.3 Voorschriften

13.3.1 Begrippen uit de TGB 1990

In de TGB 1990 (NEN 6700 serie) worden diverse begrippen gehanteerd waarvan de belangrijkste hier in het kort worden opgesomd.

- **Veiligheidsklasse en referentieperiode**
De TGB 1990 onderscheidt veiligheidsklassen voor bouwconstructies. Schutsluizen vallen in veiligheidsklasse 3 (NEN 6700, art. 5) waarbij de gevolgen van bezwijken bestaan uit een grote kans op levensgevaar en economische schade. Bij een bepaalde veiligheidsklasse hoort een referentieperiode en een betrouwbaarheidsindex. Voor veiligheidsklasse 3 (dus ook schutsluizen) is de referentieperiode 50 jaar (dat wil zeggen het tijdsbestek waarin de constructie aan de gestelde eisen moet blijven voldoen). (Opm. Voor nieuwe schutsluizen wordt in de regel als referentieperiode 100 jaar genomen.)
- **Grenstoestanden**
De bouwconstructie wordt ontworpen op een aantal grenstoestanden tijdens de gebruiks- en bouwphase. Voor de gebruiksfase gelden uiterste grenstoestanden en bruikbaarheidsgrenstoestanden. De uiterste grenstoestanden betreffen die waarbij in de grond een bezwijkmechanisme optreedt of waarbij de bouwconstructie zelf bezwijkt. De bruikbaarheidsgrenstoestand wordt overschreden bij een ongewenst verlies aan functionaliteit (bijvoorbeeld te grote doorbuigingen zonder bezwijken), schade of hoge onderhoudskosten.
- **Permanente, veranderlijke en bijzondere belastingen**
Belastingen worden onderscheiden in permanente, veranderlijke en bijzondere belastingen. De in de TGB genoemde voorbeelden van belastingen zijn gericht op gebouwen en niet op waterbouwkundige constructies. In de TGB worden onder permanente belastingen verstaan het eigen gewicht, belasting door grond en grondwater en belasting door het oppervlaktewater. Veranderlijke belastingen zijn belastingen die wel of niet aanwezig kunnen zijn zoals vloer-, wind-, sneeuw- en verkeersbelastingen. Bijzondere belastingen zijn belastingen die aanleiding kunnen geven tot voortgaande instortingen zoals brand, explosies, aardbevingen en stootbelastingen.
- **Representatieve waarde van de belastingen en reductie/combinatie-factoren**
Elke belasting heeft een representatieve waarde F_{rep} .
Voor permanente belastingen kan voor het eigen gewicht de gemiddelde waarde aangehouden worden als representatieve waarde. Voor de belasting door grond, grondwater en oppervlaktewater moeten de hoogste en laagste waarden in de beschouwde referentieperiode aangehouden worden als representatieve waarden.
Bij veranderlijke belastingen wordt onderscheid gemaakt in puntlasten, lijnlasten en gelijkmatig verdeelde belastingen. In de TGB worden de representatieve waarden gegeven van belastingen van vloeren (personen, goederen, machines etc.), wind, sneeuw, voertuigen etc. Bij veranderlijke, gelijkmatig verdeelde belastingen, is verder sprake van reductie/combinatie-factoren ψ waarmee de belasting vermenigvuldigd wordt om de representatieve waarde te verkrijgen. De reductiefactor is van toepassing bij een extra korte referentieperiode van de constructie en de combinatiefactor bij een belastingcombinatie om aan te geven dat niet alle veranderlijke belastingen tegelijkertijd in een combinatie maximaal zijn.
De representatieve waarde van een bijzondere belasting wordt verkregen op basis van deskundig inzicht.
- **Belastingfactoren en rekenwaardes van de belastingen**
Bij de diverse veiligheidsklassen, typen belastingen en belastingcombinaties horen belastingfactoren γ_f die de onzekerheden in de belastingen en de schematisering daarvan moeten compenseren. De belastingfactor moet met de representatieve waarde van de belasting worden vermenigvuldigd om de rekenwaarde van de belasting te verkrijgen. In formulevorm is dit $F_d = F_{rep} \gamma_f$, waarin F_d = rekenwaarde belasting, F_{rep} = representatieve waarde belasting en γ_f = belastingfactor. Deze belas-

tingfactoren zijn steeds gelijk aan of groter dan 1. Indien de belasting juist gunstig voor de constructie werkt is een factor van 0,9 mogelijk.

- **Belastingcombinaties**

Elke bouwconstructie is onderworpen aan een aantal belastingcombinaties die bestaan uit permanente belastingen (altijd), veranderlijke belastingen (altijd indien ongunstig) en bijzondere belastingen (soms).

In elke belastingcombinatie zijn de permanente belastingen dus steeds aanwezig. Hieraan worden een hoge (ongunstige) en een lage (gunstige) waarde toegekend omdat meestal op voorhand niet duidelijk is welke waarde een maatgevende belastingcombinatie oplevert.

In belastingcombinaties zijn meestal ook veranderlijke belastingen aanwezig. Van deze veranderlijke belastingen is er steeds één extreem (of dominant) gesteld. (Opm. Bestaat er onderlinge afhankelijkheid tussen twee veranderlijke belastingen, dan worden beide extremen meegenomen.) Voor de andere veranderlijke belastingen in de betreffende combinatie worden dan momentane (of combinatie-)waarden aangehouden dan wel worden zij geheel weggelaten als dit ongunstiger mocht uitvallen. De diverse veranderlijke belastingen in een belastingcombinatie moeten fysisch gezien wel tegelijk kunnen optreden.

Voor belastingcombinaties met een bijzondere belasting is er hooguit één bijzondere belasting aanwezig naast permanente belastingen en momentane waarden van de veranderlijke belastingen.

Voor de verschillende grenstoestanden wordt de bouwconstructie doorgerekend met de maatgevende belastingcombinaties.

- **Partiële materiaalfactoren**

Voor het constructieonderdeel wat wordt doorgerekend, worden partiële materiaalfactoren γ_m ingevoerd die de onzekerheid in de materiaaleigenschappen moeten afdekken. In formulevorm is dit $X_d = X_{rep} / \gamma_m$, waarin X_d = rekenwaarde materiaalgrootheid, X_{rep} = representatieve waarde materiaalgrootheid en γ_m = partiële materiaalfactor. Deze materiaalfactoren zijn groter dan of gelijk aan 1. Opgemerkt wordt dat deze materiaalfactoren dus niet gebruikt worden voor het afleiden van de belastingen, maar alleen voor het doorrekenen van het constructieonderdeel.

Resultierend wil dit zeggen dat voor het bepalen van de grenstoestanden de belasting-, reductie- en combinatiefactoren in de representatieve waarden van de belastingen verwerkt moeten worden. Hieruit ontstaan de rekenwaarden van de belasting. De rekenwaarden van de belastingcomponenten moeten vervolgens gecombineerd worden tot belastingcombinaties. In het constructie-onderdeel wat wordt doorgerekend (vloer, wand, fundering enz.) worden de betreffende materiaalfactoren ingevoerd bij de berekening. Zie verder NEN 6700 (Algemene basiseisen), NEN 6702 (Belastingen en vervormingen), NEN 6720 (Voorschriften Beton) en NEN 6740 (Geotechniek, basiseisen en belastingen).

13.3.2 Te onderzoeken belastingcombinaties volgens TGB 1990

Bouwconstructies moeten per bezwijkmechanisme worden doorgerekend op de ongunstigste combinatie van belastingen die tegelijkertijd kan optreden. De belastingcombinatie is opgebouwd uit permanente, veranderlijke en/of bijzondere belastingen.

Er worden (ten minste) 4 typen belastingcombinaties onderscheiden die afhangen van de grenstoestanden, te weten:

- 1 Fundamentele combinatie 1, uiterste grenstoestand met permanente belastingen en veranderlijke belastingen (één extreem, rest momentaan):

$$\gamma_{f,g} G_{rep} + \gamma_{f,q} \psi_t Q_{1;rep} + \sum \gamma_{f,q} \psi_i Q_{i;rep} \quad (13.1)$$

waarin:

G_{rep}	= representatieve permanente belastingen
$\gamma_{f,g}$	= belastingfactor voor permanente belasting
$Q_{1;rep}$	= representatieve veranderlijke belasting, ranggetal 1
$\gamma_{f,q}$	= belastingfactor voor veranderlijke belasting

- ψ_t = reductiefactor voor eventuele omrekening naar kortere referentieperiode
 $Q_{i;rep}$ = representatieve veranderlijke belasting, ranggetal i
 ψ_i = combinatiefactor voor omrekening naar momentane waarde, ranggetal i

- 2 Fundamentele combinatie 2, uiterste grenstoestand met alleen permanente belastingen (indien G_{rep} dominant is versus Q_{rep}):

$$\gamma_{f,g} G_{rep} \quad (13.2)$$

- 3 Bijzondere combinatie 3, uiterste grenstoestand met permanente, bijzondere en veranderlijke (momentane waarde) belastingen:

$$\gamma_{f,g} G_{rep} + \gamma_{f,a} F_{a;rep} + \sum \gamma_{f,q} \psi_i Q_{i;rep} \quad (13.3)$$

- waarin: $F_{a;rep}$ = representatieve bijzondere belasting
 $\gamma_{f,a}$ = belastingfactor voor bijzondere belasting

- 4 Incidentele combinatie 4, bruikbaarheidsgrenstoestand met permanente belastingen en veranderlijke belastingen (één extreem, rest momentaan):

$$\gamma_{f,g} G_{rep} + \gamma_{f,q} \psi_t Q_{1;rep} + \sum \gamma_{f,q} \psi_i Q_{i;rep} \quad (13.4)$$

De belastingfactoren γ zijn in tabel 13.1 verzameld.

Combinatie	$\gamma_{f,g}$		$\gamma_{f,q}$	$\gamma_{f,a}$
	ongunstig	gunstig		
1	1,2	0,9	1,5	
2	1,35	0,9		
3	1,0	1,0	1,0	1,0
4	1,0	1,0	1,0	

Tabel 13.1 Belastingfactoren volgens TGB 1990

De reductiefactor ψ_t is voor een referentieperiode van 50 jaar gelijk aan 1 (dus geen reductie). De combinatiefactor ψ_i voor omrekening naar een momentane waarde hangt af van het soort (gelijkmatig verdeelde) veranderlijke belasting en is bijvoorbeeld 0,4, 0,5 of 0,7.

Voor het door te rekenen constructieonderdeel worden materiaalfactoren ingevoerd. (Opm. Deze factoren hebben dus geen betrekking op de belasting.)

Wat betreft de partiële materiaalfactoren γ_m is voor beton de materiaalfactor voor de betondruksterkte 1,2, voor de betontreksterkte 1,4 en voor de staaltrek- en staaldruksterkte 1,15 (zie NEN 6720, art. 6). Opgemerkt wordt hierbij dat voor de Bijzondere combinatie 3 lagere materiaalfactoren gelden (1, 1,2 en 1).

Bij de berekening van de fundering worden voor de grondeigenschappen zoals volumieke massa van de grond, hoek van inwendige wrijving, schuifweerstand, cohesie, paaldrukken e.d. ook partiële materiaalfactoren γ_m ingevoerd. Hierbij is de belastingfactor van gronddrukken (een permanente belasting) voor de uiterste grenstoestanen - in afwijking van het voorgaande - steeds op $\gamma_{f,g} = 1$ gesteld. De materiaalfactor hangt af van de geotechnische categorie (t.w. 3 voor sluizen). Als voorbeeld van partiële materiaalfactoren kunnen genoemd worden die voor de volumieke massa $\gamma_{m,g} = 1,1$ en voor de hoek van inwendige wrijving $\gamma_{m,\phi} = 1,2$ (zie verder NEN 6740, art. 8). Opgemerkt wordt nu dat voor de bruikbaarheidsgrenstoestand (Incidentele combinatie 4) lagere materiaalfactoren gelden (1 en 1).

13.3.3 TAW-Leidraad Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies

Zoals vermeld is de TGB 1990 met name afgestemd op gebouwen e.d. en niet op waterbouwkundige constructies zoals schutsluizen in primaire keringen. In deze leemte voorziet de Leidraad Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies van de TAW (juni 1997). De leidraad moet als aanvulling op de TGB 1990 gezien worden - en niet in de plaats van - aangezien de terminologie en de aspecten niet het water betreffende, in de Leidraad grotendeels overeenkomen met die van de TGB 1990.

De belangrijkste aanvullingen van de TAW Leidraad op de TGB 1990 zijn de volgende.

- **Representatieve belastingen.**
De representatieve waarde van de veranderlijke en bijzondere belastingen worden in de Leidraad gebaseerd op voorgeschreven *overschrijdingskansen* van deze belastingen.
Bij de dominante (of volgens terminologie van de TGB 1990: extreme) belasting worden voor (hoog-)waterstanden en windgolven de belastingen aangehouden die een kans van voorkomen hebben gelijk aan de normfrequenties van 1/1250 tot 1/10000 maal per jaar (dus de MHW-waarde, Maatgevend Hoog Water, voor primaire keringen), voor de overige veranderlijke belastingen 1/50 per jaar en voor de bijzondere belastingen 1/1000 per jaar. Bij de combinante (of volgens TGB 1990: momentane) belastingen voor hoogwaterstanden en windgolven bedragen de overschrijdingsfrequenties 1/10 maal per jaar en voor de overige veranderlijke belastingen 1 maal per jaar. Voor de combinante (of momentane) belastingen wordt dan niet meer gebruik gemaakt van de in de TGB genoemde factor ψ (= factor voor bepaling van momentane belasting) met uitzondering van windbelasting.
- **Te onderscheiden belastingen**
Als veranderlijke belastingen van het water zijn aan te merken drukverschillen door waterstanden, windgolven, translatiegolven, spuistromingen alsmede scheepsgolven en -stromingen. Verdere veranderlijke belastingen zijn troskrachten, windbelasting, temperatuur- en verkeersbelasting. Bijzondere belastingen zijn aanvaringen, aardbevingen, explosies en ijs.
Twee opmerkingen zijn van belang. Eerste opmerking: In de Leidraad is de belasting door waterdrukverschillen een veranderlijke belasting, terwijl de belasting door waterdrukken (grondwaterdrukken en druk ten gevolge van buitenwater loodrecht op de sluisas) een permanente belasting is. Tweede opmerking: Permanente belastingen zoals eigen gewicht, gronddruk en (grond-)waterdruk worden in de Leidraad op dezelfde manier behandeld als in de TGB 1990.
- **Belastingfactoren**
De belastingfactor in de Leidraad waarmee de representatieve waarde wordt vermenigvuldigd om de rekenwaarde te verkrijgen, wijkt af van de TGB 1990 voor wat betreft de veranderlijke belastingen bij de uiterste grenstoestanden. Bij de TGB is deze belastingfactor 1,5. Bij de TAW Leidraad is voor waterstandsverschillen en windgolven de belastingfactor $\gamma_{f,q} = 1,25$, voor translatiegolven, spuistromingen en scheepsgolven en -stromingen en troskrachten $\gamma_{f,q} = 1,3$ en voor belastingen door wind, temperatuur en verkeer $\gamma_{f,q} = 1,5$. Deze belastingfactoren zijn zo gekozen dat ten minste dezelfde betrouwbaarheid (via betrouwbaarheidsindex β) verkregen wordt.

De permanente belastingen eigen gewicht, grond- en grondwaterdrukken zijn ongewijzigd overgenomen in de Leidraad met een belastingfactor van $\gamma_{f,g} = 1,2$ (ongunstig werkend), 0,9 (gunstig werkend) en 1,35 (eigen gewicht als enige belasting) voor een niet-geotechnische constructie zoals een betonbak. Voor een geotechnische constructie zoals een damwand wordt voor de permanente belastingen een belastingfactor $\gamma_{f,g} = 1$ gehanteerd maar als materiaalfactor γ_m voor de schuifsterkte-eigenschappen van de grond een waarde groter dan 1.

Een overzicht van de rekenwaarden voor de uiterste grenstoestanden geeft tabel 13.2 (tabel 3.1 uit de TAW Leidraad). De te onderzoeken belastingcombinaties zoals vermeld in par. 13.3.2, zijn voor de TAW Leidraad ook van kracht.

Belasting	Rekenwaarde dominante belasting	Rekenwaarde combinante belasting
<i>Permanent:</i> eigen gewicht gronddruk grondwaterdruk	(1,35 of 1,2 of 1,0 of 0,9) F_{rep} (1,2 of 1,0 of 0,9) F_{rep} (1,2 of 1,0 of 0,9) F_{rep}	(1,2 of 1,0 of 0,9) F_{rep} (1,2 of 1,0 of 0,9) F_{rep} (1,2 of 1,0 of 0,9) F_{rep}
<i>Veranderlijk:</i> drukverschillen tgv. waterstanden drukverschillen tgv. windgolven stroming scheepsgolf scheepstroming troskrachten windbelasting temperatuur verkeersbelasting	1,25 $F_{1250} - F_{10000}$ 1,25 $F_{1250} - F_{10000}$ 1,3 F_{50} 1,3 F_{50} 1,3 F_{50} 1,3 F_{50} 1,3 F_{50} 1,3 F_{50} 1,3 F_{50}	1,25 F_{10} 1,25 F_{10} 1,3 F_1 1,3 F_1 1,3 F_1 1,3 F_1 $\psi \gamma F_{50} = 0,2 * 1,5 * F_{50}$ F_1 F_1
<i>Bijzonder:</i> aanvaring aardbeving explosie ijs	F_{1000} F_{1000} F_{1000} F_{1000}	0 0 0 0

F_{rep} = representatieve of karakteristieke belasting voor permanente belastingen

F_n = belasting die gemiddeld één maal per n jaar wordt overschreden

Tabel 13.2: Belastingfactoren volgens Leidraad TAW

13.3.4 Resumerend

Voor belastingen van schutsluizen worden de voorschriften van de TGB 1990 aangehouden, aangevuld met de bepalingen uit de TAW Leidraad Waterkerende Kunstwerken en Bijzonder Constructies. Voor de uiterste grenstoestand kan het volgende opgemerkt worden:

- Permanente belastingen**
 Voor de rekenwaarden van de eigen gewichten, waterdrukken, gronddrukken (van niet-geotechnische constructies) en grondwaterdrukken worden de eigen gewichten vermenigvuldigd met een belastingfactor van 1,2 (ongunstig werkende belasting) of 0,9 (gunstig werkende belasting). Bij alleen permanente belastingen wordt voor betonberekeningen 1,35 aangehouden in plaats van 1,2.
 Voor de gronddrukken van een geotechnische constructie wordt als belastingfactor 1 aangehouden terwijl de materiaalfactoren waarden hebben groter dan of gelijk aan 1.
 Als grondwaterstanden worden de hoogste en laagste waarde aangehouden die eenmaal in de referentieperiode voorkomen.
 De hoogste waterstand is de ontwerphoogte van de schutsluis. Voor primaire keringen is dit de MHW-waarde volgens de normfrequentie inclusief windgolven, opwaaiing, seiches e.d. (zie art. 4.2 van de Leidraad). Als laagste waterstand wordt aangehouden de waterstand die hooguit eenmaal in de referentieperiode voorkomt.
- Veranderlijke belastingen**
 Veranderlijke belastingen zijn drukverschillen t.g.v. waterstanden, windgolven, translatiegolven, spuistromen, scheepsgolven en -stromingen, bolderkrachten en belastingen door wind, verkeer en temperatuur.
 Representatieve belastingen door drukverschillen t.g.v. waterstanden en windgolven over de deu-

ren behoren bij waterstanden die voorkomen met een kans die gelijk is aan de kans van voorkomen van MHW. In combinatie met een andere extreme waarde is de normfrequentie van de waterstand 1/50 keer per jaar. Deze belastingen worden vermenigvuldigd met een belastingfactor 1,25 (primaire kering) of 1,2 (niet-primaire kering) om de rekenwaarde te bepalen.

Representatieve belastingen door translatiegolven, spuistromen, scheepsgolven en -stromingen en bolderkrachten en belastingen door wind, verkeer en temperatuur betreffen een frequentie van 1/50 resp. 1 keer per jaar als extreem van de combinatie resp. in combinatie met ander extreem). Deze belastingen worden voor de rekenwaarde vermenigvuldigd met een belastingfactor 1,3 of 1,5.

- Bijzondere belastingen
Belastingen door aanvaringen, aardbevingen, explosies en ijs hebben een overschrijdingsfrequentie van 1/1000 keer per jaar als extreem van de combinatie. Belastingfactor is hierbij 1.

In de volgende par. 13.4 worden in algemene zin de representatieve waardes van de belastingcomponenten afgeleid. Bedacht moet worden dat de waardes nog wel vermenigvuldigd moeten worden met de belastingfactoren om de rekenwaardes van de belastingen te verkrijgen.

13.4 Belastingcomponenten

In deze paragraaf wordt een volgorde van belastingen aangehouden die is afgestemd op de constructie van sluishoofden en -kolk, te weten wanden en vloeren met voor de wanden een onderverdeling in horizontaal loodrechte, horizontaal evenwijdige en verticale richting.

De diverse belastingcomponenten zijn in tabel 13.3 opgesomd en hebben de notatie F met cijferindex (en in de navolgende tekst ook f voor belasting per m breedte). In de tabel wordt een andere volgorde dan in deze paragraaf aangehouden, te weten permanente, veranderlijke en bijzondere belastingen met onderverdeling in de richtingen verticaal, horizontaal loodrecht (dat wil zeggen loodrecht op de sluisas) en horizontaal evenwijdig (dat wil zeggen evenwijdig aan de sluisas).

Wel komen de notaties van de belastingcomponenten uit tabel 13.3 overeen met die in deze paragraaf.

13.4.1 Wanden

De wanden van de sluis-kolk en de sluishoofden worden in drie richtingen belast:

- a horizontale belastingen loodrecht sluiswand;
- b horizontale belastingen evenwijdig sluiswand;
- c verticale belasting sluiswand.

13.4.1.1 Horizontale belastingen loodrecht op de sluiswand

Als horizontale belasting loodrecht op de sluiswanden zijn te onderscheiden:

- Waterdruk waterzijde (f_5 , permanente belasting)
Aan de waterzijde zijn hydrostatische waterdrukken aanwezig met een driehoekig verloop over de hoogte die een resulterende kracht opleveren van (fig. 13.6a):

$$f_5 = 1/2 \gamma_w (h_k - z_k)^2 \quad (13.5)$$

waarin:	f_5	= horizontale kracht agv. waterdruk per m	[N/m]
	γ_w	= volumiek gewicht van water	[N/m ³]
	h_k	= waterstand	[m NAP]
	z_k	= niveau bovenkant kolkbodem	[m NAP]

De resulterende kracht bevindt zich op $1/3$ van de hoogte.

- Gronddruk ($f_{6,o}$, permanente belasting)
Gerekend wordt met een neutrale gronddruk voor wanden die nauwelijks vervormen (wanden van een betonbak en diepwanden); deze gronddruk is horizontaal gericht. De resulterende horizontale kracht is bij een neutrale gronddruk van het maaiveld tot aan de bovenkant van de vloer voor homogene, niet-cohesieve gronden (fig. 13.6b):

$$f_{6,o} = 1/2 K_{\gamma o} \gamma_{dr} (h_b - h_g)^2 + K_{\gamma o} \gamma_{dr} (h_b - h_g) (h_g - z_b) + 1/2 K_{\gamma o} (\gamma_{sat} - \gamma_w) (h_g - z_b)^2 + 1/2 \gamma_w (h_g - z_b)^2 \quad (13.6a)$$

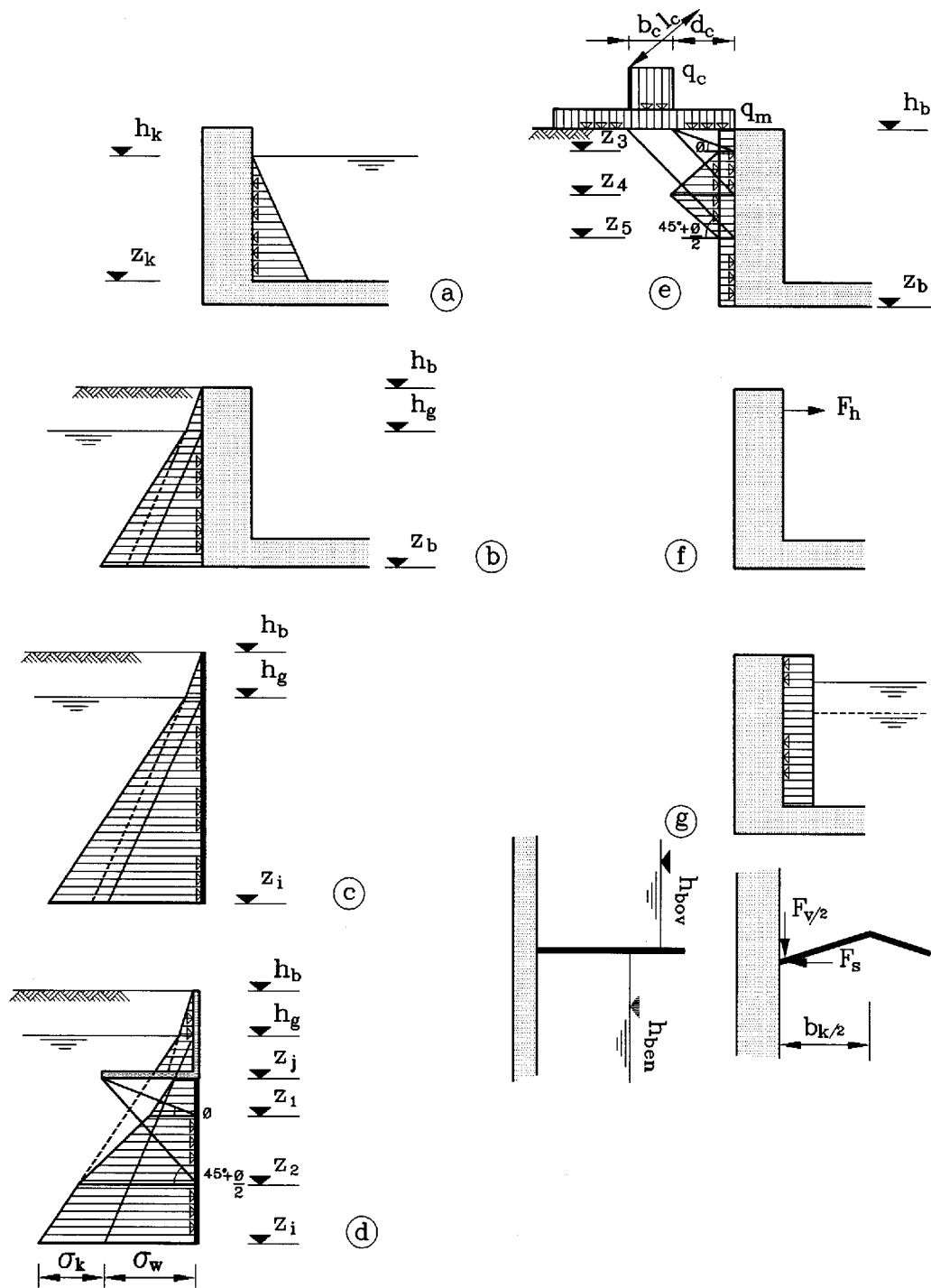
waarin:	$f_{6,o}$	= horizontale kracht agv. neutrale gronddruk per m	[N/m]
	$K_{\gamma o}$	= coëfficiënt neutrale gronddruk	[-]
	γ_{dr}	= volumiek gewicht van droge grond	[N/m ³]
	γ_{sat}	= volumiek gewicht van natte grond	[N/m ³]
	γ_w	= volumiek gewicht van water	[N/m ³]
	h_b	= niveau maaiveld	[m NAP]
	h_g	= grondwaterspiegel	[m NAP]
	z_b	= niveau onderkant kolkbodem	[m NAP]

Uit het zwaartepunt van de drukfiguur kan het niveau van de resulterende horizontale kracht worden bepaald. Voor het doorrekenen van de wand kan volstaan worden met de gronddruk tot aan de bovenkant van de kolkbodem (z_k) in plaats van de onderkant van de kolkbodem z_b .

Belastingcomponenten	Rekenwaarden belasting					
	Fundamentele combinatie 1,		Fundamentele combinatie 2,		Fundamentele combinatie 3,	Fundamentele combinatie 4,
	belastend	ontlastend	belastend	ontlastend	Uiterste grenstoestand	Uiterste grenstoestand
<i>Permanent:</i>						
• vert.↓: eigen gewicht	1,20 F0	0,90 F0	1,35 F0) *	0,90 F0	1,00 F0	1,00 F0
• vert.↓: result. waterdruk onder&boven vloer	1,20 F1	0,90 F1	1,20 F1	0,90 F1	1,00 F1	1,00 F1
• vert.↓: grondgewicht	1,20 F2	0,90 F2	1,35 F2) *	0,90 F2	1,00 F2	1,00 F2
• vert.↓: wandwrijving grondzijde	1,20 F3		1,35 F3) *		1,00 F3	1,00 F3
• vert.↓: gewicht van deuren, bruggen, ed.	1,20 F4	0,90 F4	1,35 F4) *	0,90 F4	1,00 F4	1,00 F4
• hor.↓: waterdruk waterzijde	1,20 F5	0,90 F5	1,20 F5	0,90 F5	1,00 F5	1,00 F5
• hor.↓: gronddruk grondzijde	1,20 F6	0,90 F6	1,35 F6) *	0,90 F6	1,00 F6	1,00 F6
• hor.//: waterdruk kopse zijden	1,20 F7	0,90 F7	1,20 F7	0,90 F7	1,00 F7	1,00 F7
• hor.//: gronddruk kopse zijden	1,20 F8	0,90 F8	1,35 F8) *	0,90 F8	1,00 F8	1,00 F8
<i>Veranderlijk, Dominant:</i>						
• vert.↓: bovenbelasting sluiswand	1,50 F10	1,50 F10			1,00 F10	1,00 F10
• vert.↓: verkeersbelasting brug, ed.	1,50 F11	1,50 F11			1,00 F11	1,00 F11
• hor.↓: spatkracht puntdeuren	1,50 F12	1,50 F12			1,00 F12	1,00 F12
• hor.↓: gronddruk agv. bovenbel. sluissterrein	1,50 F13	1,50 F13			1,00 F13	1,00 F13
• hor.↓: troskrachten	1,30 F14 ₅₀	1,30 F14 ₅₀			1,00 F14 ₁	1,00 F14 ₁
• hor.//: vervalbelasting	1,25 F15;1250/10000	1,25 F15;1250/10000			1,00 F15 ₁₀	1,00 F15 ₁₀
• hor.//: golfbelasting	1,25 F16;1250/10000	1,25 F16;1250/10000			1,00 F16 ₁₀	1,00 F16 ₁₀
• hor.//: troskrachten	1,30 F17 ₅₀	1,30 F17 ₅₀			1,00 F17 ₁	1,00 F17 ₁
<i>Veranderlijk, Combinant:</i>						
• vert.↓: bovenbelasting sluiswand	0,50*1,50 F10	0,50*1,50 F10			0,50*1,00 F10	0,50*1,00 F10
• vert.↓: verkeersbelasting brug, ed.	0,50*1,50 F11	0,50*1,50 F11			0,50*1,00 F11	0,50*1,00 F11
• hor.↓: spatkracht puntdeuren	1,50 F12	1,50 F12			1,00 F12	1,00 F12
• hor.↓: gronddruk agv. bovenbel. sluissterrein	0,50*1,50 F13	0,50*1,50 F13			0,50*1,00 F13	0,50*1,00 F13
• hor.↓: troskrachten	1,30 F14 ₁	1,30 F14 ₁			1,00 F14 ₁	1,00 F14 ₁
• hor.//: vervalbelasting	1,25 F15 ₁₀	1,25 F15 ₁₀			1,00 F15 ₁₀	1,00 F15 ₁₀
• hor.//: golfbelasting	1,25 F16 ₁₀	1,25 F16 ₁₀			1,00 F16 ₁₀	1,00 F16 ₁₀
• hor.//: troskrachten	1,30 F17 ₁	1,30 F17 ₁			1,00 F17 ₁	1,00 F17 ₁
<i>Bijzonder:</i>						
• aanvaarbelasting					1,00 F20 ₁₀₀₀	1,00 F20 ₁₀₀₀
• zinkend schip					1,00 F21 ₁₀₀₀	1,00 F21 ₁₀₀₀
• vallend anker					1,00 F22 ₁₀₀₀	1,00 F22 ₁₀₀₀

)* Voor de geotechnische aspecten is de belastingfactor 1,2 in plaats van 1,35

Tabel 13.3 Belastingcomponenten en rekenwaarden belastingen voor sluishoofden en -kolk



Figuur 13.6 Horizontale belastingen loodrecht op de sluiswand

De coëfficiënt van de neutrale gronddruk ($K_{\gamma 0}$) hangt af van de hoek van inwendige wrijving van de grond (ϕ'), (zie NEN 6740, art. 12.4.5):

$$K_{\gamma 0} = 1 - \sin \phi' \quad (13.6b)$$

waarin: ϕ' = hoek van inwendige wrijving, betrokken op korrelspanningen $[\circ]$

Voor wanden die merkbaar vervormen - dus stalen damwanden - wordt de actieve gronddruk toegepast die onder een hoek δ met de horizontaal staat (verticale component is naar beneden gericht wandwrijving). De horizontale belasting als gevolg van actieve gronddruk tot aan de inklemingsdiepte z_i is gelijk aan (fig. 13.6c):

$$f_{6;a} = \frac{1}{2} K_{\gamma a} \gamma_{dr} (h_b - h_g)^2 + K_{\gamma a} \gamma_{dr} (h_b - h_g) (h_g - z_i) + \frac{1}{2} K_{\gamma a} (\gamma_{sat} - \gamma_w) (h_g - z_i)^2 + \frac{1}{2} \gamma_w (h_g - z_i)^2 \quad (13.7a)$$

waarin:	$f_{6;a}$	= horizontale kracht agv. actieve gronddruk per m	[N/m]
	$K_{\gamma a}$	= coëfficiënt actieve gronddruk	[-]
	z_i	= onderzijde dam- of diepwand	[m NAP]

De coëfficiënt van de actieve gronddruk ($K_{\gamma a}$) hangt af van de hoek van inwendige wrijving van de grond (ϕ') en de wandwrijvingshoek δ (zie NEN 6740, art. 12.4.3):

$$K_{\gamma a} = \cos^2 \phi' / \{1 + \sqrt{(\sin(\phi' + \delta) \sin \phi' / \cos \delta)}\}^2 \quad (13.7b)$$

waarin:	ϕ'	= hoek van inwendige wrijving	[°]
	δ	= wandwrijvingshoek	[°]

(Opmerking: Normaliter worden computerprogramma's toegepast voor het doorrekenen van damwanden en dus voor deze belastingen, zie CUR publ. 166: Damwandconstructies. Voor diepwanden zie CUR publicatie 189.)

Voor de horizontale, neutrale gronddruk tegen een hooggelegen L-wand kan vergelijking (13.6a) worden toegepast waarbij z_b vervangen wordt door z_j , zijnde het niveau van de onderkant van de L-wand (fig. 13.6d).

Hooggelegen L-wanden werken voor de hieronder gelegen damwand als ontlastplaat en ankerconstructie, zie ook CUR publ. 166 (Damwandconstructies). Onder de L-wand worden voor de horizontale, actieve gronddruk tegen de damwand drie gebieden onderscheiden. Gebied A loopt van de onderkant L-wand tot aan snijpunt z_1 van de lijn onder een hoek ϕ' met de horizontaal vanuit achterkant L-wand met de lijn van damwand. Gebied C loopt vanaf snijpunt z_2 van de lijn onder een hoek $(45^\circ + \phi'/2)$ vanuit achterkant L-wand met de lijn van damwand en verder naar beneden toe. Gebied B zit tussen A en C (of z_1 en z_2) in.

De horizontale, actieve gronddrukkracht tegen de damwand wordt in gebied A bepaald door het niveau van de onderzijde van de L-wand en in gebied C door het maaiveldniveau; gebied B is overgangsgebied.

Bij een grondwaterspiegel boven niveau onderkant L-wand is de horizontale kracht ten gevolge van actieve gronddruk tegen de damwand als volgt te schrijven (fig. 13.6d):

$$f_{6;a} = \frac{1}{2} K_{\gamma a} (\gamma_{sat} - \gamma_w) (z_j - z_1)^2 + \frac{1}{2} K_{\gamma a} \{(\gamma_{sat} - \gamma_w) (z_j - z_1 + h_g - z_2) + \gamma_{dr} (h_b - h_g)\} (z_1 - z_2) + \frac{1}{2} K_{\gamma a} \{(\gamma_{sat} - \gamma_w) (h_g - z_2 + h_g - z_i) + 2 \gamma_{dr} (h_b - h_g)\} (z_2 - z_i) + \frac{1}{2} \gamma_w \{(h_g - z_i)^2 - (h_g - z_j)^2\} \quad (13.8)$$

waarin:	$f_{6;a}$	= horizontale kracht door actieve gronddruk tegen damwand per m	[N/m]
	h_b	= niveau maaiveld	[m NAP]
	z_j	= niveau onderkant L-wand	[m NAP]
	h_g	= niveau grondwater	[m NAP]
	z_1	= niveau snijpunt 1	[m NAP]
	z_2	= niveau snijpunt 2	[m NAP]
	z_i	= onderzijde damwand	[m NAP]

Bovengenoemde vergelijkingen gelden voor niet-cohesieve, homogene gronden en een horizontaal maaiveld. De vergelijkingen moeten worden aangepast wanneer verschillende lagen in de

grond onderscheiden kunnen worden, overspannen grondwater optreedt of het maaiveld niet horizontaal is. Voor diepwanden geldt vergelijking (13.8) met dien verstande dat de neutrale in plaats van de actieve gronddruk genomen wordt.

- Bovenbelasting sluisterrein (f_{13} , veranderlijke belasting)
Op het sluisterrein kan een gelijkmatig verdeelde bovenbelasting aanwezig zijn die in de berekening meegenomen wordt indien dit een ongunstiger belastingcombinatie oplevert. Bij wanden van een betonbak wordt de gelijkmatig verdeelde bovenbelasting als een neutrale horizontale druk, gelijkmatig over de hoogte verdeeld, op de wand uitgeoefend (fig. 13.6e):

$$f_{13;m} = K_{\gamma 0} q_m (h_b - z_b) \quad (13.9a)$$

waarin:	$f_{13;m}$	= horizontale kracht door gelijkmatig verdeelde bovenbelasting per m	[N/m]
	q_m	= gelijkmatig verdeelde bovenbelasting sluisterrein	[N/m ²]
	$K_{\gamma 0}$	= coëfficiënt neutrale gronddruk	[-]
	h_b	= niveau maaiveld	[m NAP]
	z_b	= niveau onderkant kolkbodembodem	[m NAP]

De resulterende kracht bevindt zich halverwege de hoogte. Bij dam- of diepwanden wordt dezelfde formule gebruikt met dien verstande dat de coëfficiënt van de actieve gronddruk $K_{\gamma a}$ ingevoerd wordt.

Geconcentreerde lasten zoals kraanbelastingen, geven voor het nabijgelegen deel van de wand extra horizontale belastingen. Het invloedsgebied van de belasting loodrecht op de wand strekt zich verticaal gezien uit tussen de niveaus z_3 en z_5 met een driehoekig verlopende druk, met als top het niveau z_4 . Het bovenste niveau z_3 is het snijpunt van de lijn vanaf de voorste begrenzing van de last onder een hoek ϕ' met de horizontaal met de lijn door het vlak van de wand. Evenzo kunnen ook z_4 en z_5 bepaald worden met lijnen onder een hoek $(45^\circ + \phi'/2)$ (zie fig. 13.6e). In langsrichting van de wand spreidt de last zich onder hoeken van 45° naar de wand. De horizontale belasting tegen de wand per m' is dan:

$$f_{13;c} = 0,5 K_{\gamma 0} q_c (z_3 - z_5) l_c / (l_c + 2d_c) \quad (13.9b)$$

waarin:	$f_{13;c}$	= horizontale kracht agv. geconcentreerde bovenbelasting per m	[N/m]
	q_c	= bovenbelasting sluisterrein	[N/m ²]
		= $P_c / (l_c b_c)$	
	P_c	= geconcentreerde verticale last	[N]
	l_c	= lengte verticale last	[m]
	b_c	= breedte verticale last	[m]
	d_c	= afstand last tot wand	[m]
	$K_{\gamma 0}$	= coëfficiënt neutrale gronddruk	[-]
	z_3	= niveau 3	[m NAP]
	z_5	= niveau 5	[m NAP]

Voor geconcentreerde lasten nabij dam- of diepwanden wordt verwezen naar CUR publ. 166.

- Belasting door trossen (f_{14} , veranderlijke belasting)
Met de trossen kunnen de schepen aan de bolders en haalkommen trekken, bijvoorbeeld loodrecht op de sluiswand. Gerekend wordt op $F = 200$ kN per haalkom of bolder voor binnenvaartsluizen en 1000 kN voor grote zeesluizen. De belasting spreidt zich afhankelijk van de constructie: bij een betonbak kan hiervoor de mootlengte genomen worden, voor damwanden een aantal meewerkende planken. De belasting per m is (fig. 13.6f):

$$f_{14} = F_h / l_h \quad (13.10)$$

waarin:	f_{14}	= horizontale kracht tgv. troskracht per m	[N/m]
	F_h	= belasting haalkom of bolder	[N]
	l_h	= meewerkende lengte	[m]

In de regel is de bolder bovenop de sluiswand maatgevend.

- Belasting door spatkrachten bij puntdeuren (f_{12} , veranderlijke belasting)
Puntdeuren staan in het horizontale vlak onder een helling van 1:3 (meestal). De vervalkracht over de gesloten deuren geeft spatkrachten die als (verticale) lijnlasten de wanden van de hoofden loodrecht belasten. Als de deur niet gelijkmatig aanligt tegen zijn oplegging, is de belasting ongelijkmatig over de hoogte verdeeld. De spatkracht per wand in de richting loodrecht op de wand is gelijk aan (fig. 13.6g):

$$F_{12} = (1 - \alpha^2) / (4\alpha) \quad F_{15} \quad (13.11)$$

waarin:	F_{12}	= spatkracht per wand	[N]
	F_{15}	= totale vervalkracht over deuren in langsrichting sluis, zie formule (13.12)	[N]
	α	= helling deuren (bijv. 1 : 3)	[-]

Bij een helling van 1:3 is $F_{12} = 2/3 F_{15}$. Wanneer de deur op het boven- en onderdraaipunt of bij de oplegpunten steunt, worden de spatkrachten overgedragen als twee puntlasten naar het beton.

- Overige belastingen (bijzondere belasting)
Bij het betonontwerp en de fundering wordt in normale situaties voor de hoofdconstructie geen rekening met botsbelastingen gehouden aangezien de vaarsnelheden en aanvaarhoeken in de kolk beperkt zijn. Een kleine verplaatsing van de wand doet de gronddruk daar stijgen tot waarden boven de actieve of neutrale gronddruk waardoor de reactie grotendeels lokaal geleverd wordt. Ook wordt geen rekening gehouden met ijsdrukken tegen de sluiswanden als gevolg van het uitzetten van de ijslaag bij een snelle stijging van de temperatuur. Met dit soort belastingen wordt wel rekening gehouden in geval van specifieke constructies, detailonderdelen (bijvoorbeeld bekledingsschorten) e.d.

Ten gevolge van de horizontale belastingen loodrecht op de sluiswand ontstaan momenten en dwarskrachten onderin de sluiswanden. Bij een monolithische betonbak worden de belastingen overgedragen naar de vloer. Daardoor ontstaan momenten aan de uiteinden van de vloer en een drukkracht in de vloer. Bij een dam- of diepwand is er een evenwicht tussen de horizontale, loodrechte belastingen, de ankerkrachten, de drukkracht in de vloer (afwezig bij losse stortsteen) en de passieve oplegging en/of inklemming van de dam- of diepwand.

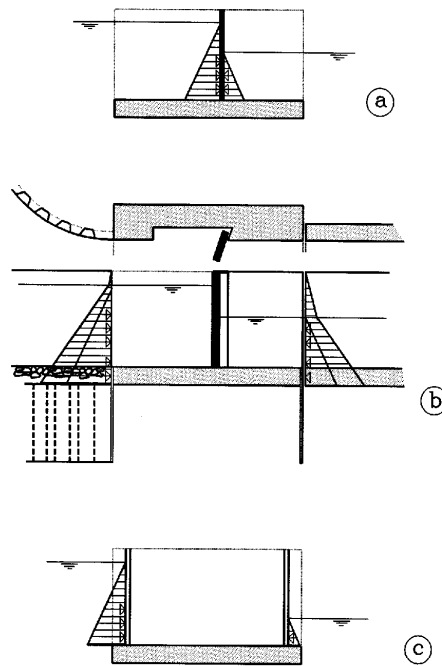
13.4.1.2 Horizontale belastingen evenwijdig aan de sluiswand

De volgende horizontale belastingen evenwijdig aan de sluiswanden zijn te onderscheiden.

- Vervalbelasting over de deur(en) (F_{15} , veranderlijke belasting)
De vervalbelasting over de deur(en) wordt overgedragen naar de beide wanden van de hoofden. De belasting van de deur(en) in langsrichting van de sluisas is gelijk aan (fig. 13.7a):

$$F_{15} = b_k \{ 1/2 \gamma_w (h_{bov} - z_k)^2 - 1/2 \gamma_w (h_{ben} - z_k)^2 \} \quad (13.12)$$

waarin:	F_{15}	= horizontale kracht t.g.v. verval	[N]
	γ_w	= specifiek volumegewicht water	[N/m ³]
	h_{bov}	= bovenwaterstand	[m NAP]
	h_{ben}	= benedenwaterstand	[m NAP]
	z_k	= niveau bovenkant kolkbodembodem	[m NAP]
	b_k	= breedte tussen kolkwanden	[m]



Figuur 13.7 Horizontale belastingen evenwijdig aan de sluiswand

Als er sprake is van verticale lijnopleggingen van de deur(en) dan wordt de kracht volgens het resulterende waterdrukfiguur via de lijnopleggingen naar beide wanden overgebracht. Een beperkt deel van de vervalbelasting kan ook via de drempel op het sluishoofd worden overgebracht. Voor de wandbelasting wordt hier evenwel geen rekening mee gehouden. Bij puntdeuren en enkele draaideuren kan er sprake van zijn dat de vervalbelasting over de deuren wordt overgebracht via puntlasten bij de boven- en onderdraaipunten of bij de oplegpunten van de deur.

- Grond- en waterdrukken tegen de kopse vlakken van de hoofden (permanente belasting F_7 en F_8). Op de kopse vlakken van het hoofd werken naar gelang het hoofd daar is aangeaard of in het water staat grond- of waterdrukken. De gronddrukken bestaan uit neutrale korreldrukken en (grond-)waterdrukken. Door verschillen in waterstanden in langsrichting van de sluis en het al of niet aangeaard zijn van de diverse kopse vlakken van het hoofd, levert dit een resulterende kracht in langsrichting van het hoofd. Berekening van deze kracht geschiedt met inachtneming van de getroffen oppervlakken op vergelijkbare wijze als behandeld in par. 13.4.1.1 (water- en gronddrukken) (zie fig. 13.7b).

Opgemerkt wordt nog dat bij de voeg tussen het sluishoofd en de aanliggende kolkmoot een grond- en waterdicht staal/rubber profiel is opgenomen. Aan weerszijden van dit profiel kunnen verschillende waterdrukken staan.

- Vervalbelasting over schotbalken (veranderlijke belasting)
Voor onderhoud kan het hoofd dichtgezet worden met schotbalken (of schotten) in sponningen. De vervalbelasting hierover wordt via de sponningen naar de wanden overgebracht (zie fig. 13.7c).
- Overige belastingen (veranderlijke en bijzondere belastingen)
De kolkwanden kunnen via de haalkommen met troskrachten in de richting evenwijdig aan de wanden belast worden (F_{17}). Zoals vermeld in par. 17.3.4 wordt bij binnenvaart bijvoorbeeld 200 kN per bolder of haalkom aangehouden en 1000 kN voor grote zeesluizen.

Schepen die door een ongeval tegen de sluisdeuren, de aanvaarbalk- of kabel, of de brug varen, geven via de opleggingen een belasting op de wanden van het sluishoofd in de richting evenwijdig aan de sluisas.

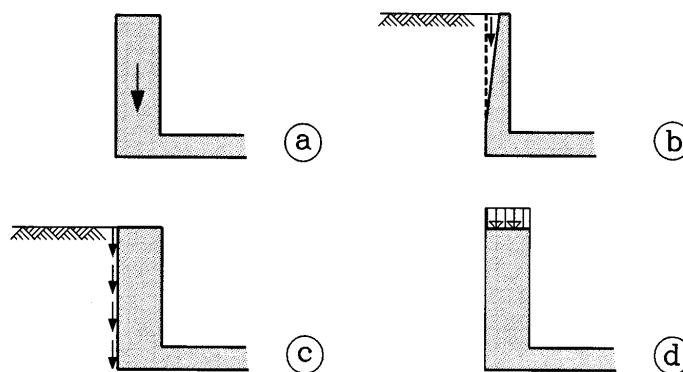
De druk van een ijsveld voor een sluishoofd kan een kracht op het sluishoofd geven evenwijdig aan de sluisas.

Bij geringe kanteling van het bovenhoofd wordt een deel van de vervalbelasting over de deuren ook overgebracht op de wanden van de naastliggende kolkmoet bij toepassing van een betonbak.

In de regel wordt geen rekening gehouden met deze overige belastingen wat betreft de sterkte en stabiliteit van de gehele constructie. Dit vanwege het feit dat deze krachten gering zijn ten opzichte van de andere krachten en ook niet tegelijkertijd optreden. Wel worden de wanden gedimensioneerd op de lokale afdracht van de krachten van de bolders, haalkommen, aanvaarbalk etc.

De horizontale belastingen evenwijdig aan de sluiswand worden bij een monolithische betonbak via schuifkrachten en via de vloer overgedragen naar de ondergrond. Voor een sluiswolk met dam- of diepwanden en een losse vloer worden deze belastingen alleen als wandwrijving naar de grond overgebracht.

13.4.1.3 Verticale belastingen op de sluiswand



Figuur 13.8 Verticale belastingen op de sluiswand

De volgende verticale belastingen van de sluiswanden zijn te onderscheiden.

- Eigen gewicht wand, heftorens, brug, bewegingswerkkelders e.d. (fig. 13.8a, f_0 en f_4 , permanente belasting).
- Grondprisma achter een in dikte verlopende sluiswand (f_2 , permanente belasting)
Bij een betonbak neemt de wanddikte naar beneden toe vaak toe. Het gewicht van het grondprisma boven deze in dikte verlopende wand is een extra verticale belasting op de wand (fig. 13.8b).
- Wandwrijving grondzijde (f_3 , permanente belasting)
Wandwrijving langs de grondzijde van de wand wordt voornamelijk veroorzaakt door het nazakken van de grond waardoor een naar beneden gerichte belasting ontstaat (negatieve kleeft) (fig. 13.8c). Als verticale belasting bij een betonbak wordt met een gedeelte van de neutrale, horizontale korreldruk gerekend. Er wordt alleen mee gerekend als deze belasting de belastingcombinatie ongunstiger maakt.

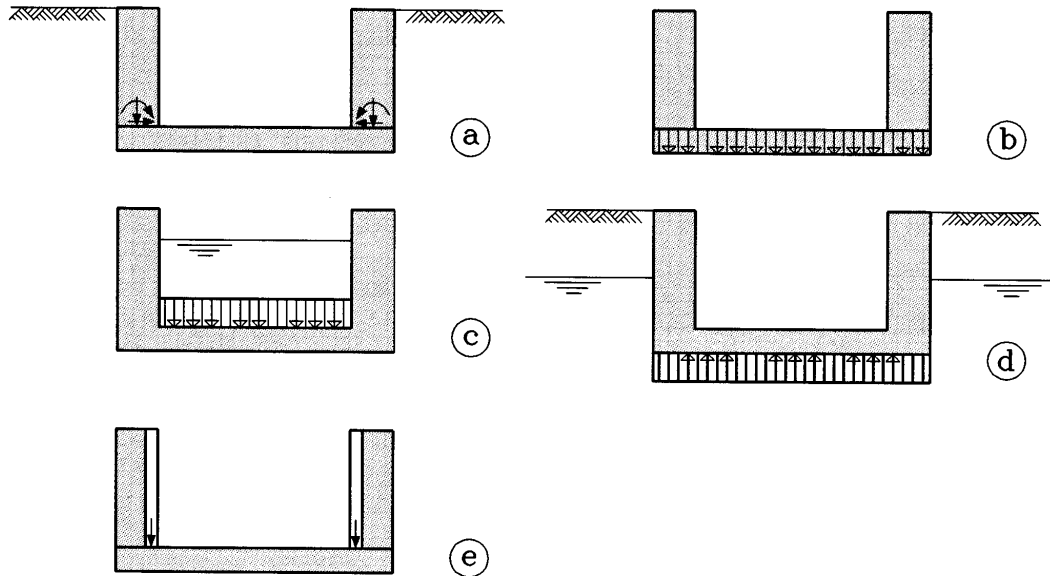
$$f_3 = \tan \delta \left\{ \frac{1}{2} K_{\gamma_0} \gamma_{dr} (h_b - h_g)^2 + K_{\gamma_0} \gamma_{dr} (h_b - h_g) (h_g - z_b) + \frac{1}{2} K_{\gamma_0} (\gamma_{sat} - \gamma_w) (h_g - z_b)^2 \right\} \quad (13.13)$$

$$\begin{aligned} \text{waarin: } f_3 &= \text{verticale wrijvingskracht per m} & [\text{N/m}] \\ \delta &= \text{wandwrijvingshoek (bijv. } \delta = \frac{2}{3} \phi') & [^\circ] \end{aligned}$$

- Bovenbelasting sluiswand en grondprisma (f_{10} , veranderlijke belasting)
Over de breedte van de bovenkant van de wand kan een bovenbelasting aanwezig zijn (fig. 13.8d).

De belastingen worden bij een monolithische betonbak overgedragen als verticale krachten en momenten op de uiteinden van de vloer. Bij een dam- of diepwand wordt de verticale kracht als een wrijvingskracht naar de grond overgedragen of als een drukbelasting onder de punt.

13.4.2 Vloer



Figuur 13.9 Vloerbelastingen

De vloer van de sluiskolk en de hoofden worden belast door onderstaande belastingen.

- Wandbelastingen (fig. 13.9a, permanent of veranderlijk naar gelang de aard van oorspronkelijke belasting).
In dwarsdoorsnede van de betonbak gezien, worden de horizontale belastingen loodrecht op de sluiswand via de inklemming van wand/vloer overgebracht in de vorm van momenten en een drukkracht in de vloer. Als systeemlijnen wordt nu het midden of de onderkant van de vloer aangehouden. Bij een dam- of diepwand met een onderwaterbetonvloer wordt geen moment overgebracht maar alleen een drukkracht in de vloer.
De verticale belastingen van de sluiswanden leveren verticale krachten en momenten op de vloer bij de wanden.
In langsdoorsnede van het sluishoofd gezien geeft het moment ten gevolge van de horizontale belasting evenwijdig aan de sluiswanden (bijvoorbeeld vervalbelasting) verticale krachten op de vloer bij de wanden. (gelijke trek- en drukkrachten, die tezamen het moment vertegenwoordigen).
- Eigen gewicht vloer (fig. 13.9b, f_0 , permanente belasting)
- Waterdrukken aan de bovenzijde van de vloer (fig. 13.9c, f_1 , permanente belasting)
Het gewicht van het water boven de vloer geeft een verticale, naar beneden gerichte en gelijkmatig verdeelde belasting op de vloer.
- Waterdrukken aan de onderzijde van de vloer (fig. 13.9d, f_1 , permanente belasting)
De (grond-)waterdruk aan de onderzijde van de vloer geeft een verticale, naar boven gerichte en gelijkmatig verdeelde belasting op de vloer.
- Deurgewicht in de hoofden (fig. 13.9e, f_4 , permanente belasting)
Bij punt- en draaideuren wordt het gewicht van de deur via de taats rechtstreeks op de vloer overgebracht en bij roldeuren via de onderrolwagens.

- Door het verschil in horizontale water- en/of gronddrukken aan de beide kope of langsijden van de vloer ontstaat een horizontale belasting op de vloer (betreft permanente belasting). Deze wordt meegerekend als excentrische drukkracht in de vloer.

De belastingen op de betonnen vloer worden bij een fundering op staal opgenomen als korrelspanningen (normaal- en schuifspanningen) onder de vloer en bij een paalfundering door de palen. Bovendien kan bij toepassing van een blijvende bouwkuip een deel van deze belastingen op de vloer opgenomen worden door dam- of diepwanden, indien een goede verbinding tussen vloer en wand tot stand is gebracht.

13.5 Belastingcombinaties

13.5.1 Inleiding

Op de sluishoofden en -kolk werken permanente, veranderlijke en bijzondere belastingen. Deze belastingen op de wanden en de vloer zijn verder in te delen als verticale belastingen, horizontale belastingen loodrecht op de sluiswanden en horizontale belastingen evenwijdig aan de sluiswanden. Par. 13.4 geeft een overzicht van de representatieve waarden van de belastingcomponenten.

In par. 13.3.2 zijn voor de gebruikssituatie vier typen belastingcombinaties gedefinieerd:

- 1 fundamentele combinatie 1, uiterste grenstoestand met permanente en veranderlijke belastingen;
- 2 fundamentele combinatie 2, uiterste grenstoestand met alleen permanente belastingen;
- 3 bijzondere combinatie 3, uiterste grenstoestand met permanente, veranderlijke en bijzondere belastingen;
- 4 incidentele combinatie 4, bruikbaarheidsgrenstoestand met permanente en veranderlijke belastingen.

De representatieve waarden van de belastingen worden in een belastingcombinatie vermenigvuldigd met belastingfactoren vanwege de onzekerheden in de belastingen en met factoren voor de momentane belasting om aan te geven welke belastingen tegelijkertijd kunnen optreden; zie par. 13.3.2 en 13.3.3. Hiermee worden de rekenwaardes van de belastingen verkregen.

Tabel 13.3 geeft het overzicht van de diverse belastingcomponenten en de rekenwaardes van de belastingen voor de sluis in bedrijf. Onderscheid is daarbij gemaakt in:

- permanente, veranderlijke en bijzondere belastingen;
- verticale, horizontaal loodrechte en horizontaal evenwijdige belastingen;
- dominante (extreme) en combinante (momentane) belastingen;
- belastingcombinaties 1 t/m 4;
- belastend en ontlastend.

Belastingcombinaties worden opgesteld voor het doorrekenen van de betonconstructie en de fundering van de sluishoofden en -kolk.

- Constructie van de wanden en de vloer
Voldaan moet worden aan eisen betreffende de sterkte (toelaatbare materiaalspanningen) van de wanden en de vloer en betreffende de stijfheid (toelaatbare vervormingen) van dam- en diepwanden. Verder worden eisen gesteld aan de bruikbaarheid wat betreft scheurwijdte.
- Stabiliteit van sluishoofden en sluis-kolk, dat wil zeggen de fundering
Voldaan moet worden aan eisen betreffende maximum-draagkracht (loodrecht funderingsvlak), maximum-schuifweerstandskracht (evenwijdig funderingsvlak), het voorkomen van opdrijven, voldoende kantelstabiliteit en maximum-zakking van de fundering

Reacties van de fundering op de belastingcombinaties.

- Fundering op staal:
Korrelspanningen onder de vloer (als normaal- en schuifspanningen) en korrelschuifspanningen langs de wanden.
- Paalfundering:
Paalkrachten (druk- en trekreacties).
- Dam- of diepwanden
Passieve korrelspanningen tegen dam- of diepwanden en ankerkrachten (ankerscherm, groutankers, etc.).

Vanwege het verschillend gedrag wordt uitgegaan van drie verschillende constructies (of dwarsdoorsneden, zie par. 13.2):

- 1 betonbak voor hoofden en kolk;
- 2 dam- of diepwanden met aparte vloer voor de kolk;
- 3 hooggelegen L-wanden met dam- of diepwanden en aparte vloer voor de kolk.

Hoge L-muren worden buiten beschouwing gelaten.

Tijdens de bouw van de sluis is er sprake van diverse eigen gewichten en grond- en waterdrukken. Tijdens het normaal bedrijf van de sluis wisselen de waterstanden in de sluis sterk en kunnen hoge of lage grondwaterstanden aanwezig zijn. Gedurende onderhoud van de sluis worden de hoofden (en eventueel de kolk) soms drooggezet of het waterpeil wordt sterk verlaagd. Onderscheid wordt daarom gemaakt in:

- stadium tijdens de bouw;
- stadium tijdens bedrijf;
- stadium tijdens onderhoud.

In par. 13.5.2 worden eerst de waterstanden en grondwaterstanden op zich zelf en in relatie met elkaar behandeld. In de par. 13.5.3 worden de combinaties van de verschillende belastingcomponenten afgeleid voor de betonbak en voor dam- en diepwanden.

13.5.2 Waterstanden en grondwaterstand

13.5.2.1 Extreme waterstanden en grondwaterstanden

Bij de belastingcombinaties die tijdens het bedrijf van de sluis gelden, wordt meestal uitgegaan van extreem hoge waterstanden (primaire keringen: MHW, maatgevend hoogwater, vermeerderd met een toeslag voor zeespiegelrijzing, seiches, opwaaiing, windgolven e.d. oftewel ontwerppeil), extreem lage waterstanden, extreme vervallen over de sluis of extreem hoge of lage grondwaterstanden. Deze waterstanden, vervallen of grondwaterstanden hebben elk een bepaalde kans van voorkomen gedurende de levensduur van de sluis. Belangrijk is de vraag of deze extremen ook tegelijkertijd kunnen optreden of niet.

Bij de relatie tussen waterstand en grondwaterstand moet bedacht worden dat de grondwaterstand tijd nodig heeft om de (buiten)waterstand te bereiken. Zo zal bij een extreem hoge buitenwaterstand die mede opgebouwd is uit factoren windopzet en windgolven, de grondwaterstand nabij het buitenhoofd deze hoogte waarschijnlijk nooit bereiken. Evenzo zal bij een extreem hoge waterstand die bijvoorbeeld in natte periodes bereikt wordt, geen extreem lage grondwaterstand optreden die bij erg droge tijden behoort.

De extreme hoge waterstand (ontwerppeil) hoeft niet altijd samen te gaan met het extreme verval over de deur(en). Het beheer is meestal zo ingericht dat het schutbedrijf stilgelegd wordt wanneer de waterstand zich buiten zekere grenzen bevindt, de zgn. maximum- en minimum-schutpeilen.

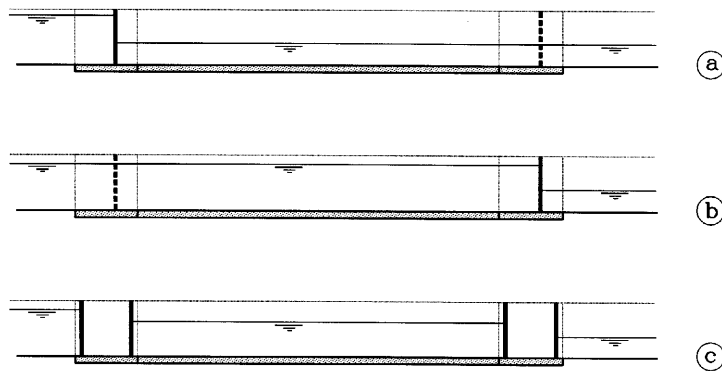
Verder kan voorgeschreven zijn dat wanneer de waterstand in de buurt van het ontwerppeil komt, de kolkwaterstand tussen die van boven- en benedenpand ingesteld wordt; dit getrapte verval wordt nog weinig toegepast omdat het vaak moeilijk te realiseren en te beheersen is. Het verval over het hoofd bij het ontwerppeil is bij getrapt keren minder dan het extreme verval.

De kans dat tijdens de bouw van een sluiskolk in de natte of tijdens onderhoud van de sluishoofden en -kolk extreme waterstanden optreden van het buiten- of binnenpand, extreme vervallen over de sluis of extreme grondwaterstanden, is klein. Dit hangt samen met het feit dat een bouw- of onderhoudsperiode een beperkte tijdsduur heeft. Uiteraard kunnen tijdens onderhoud wel extra lage waterstanden in de sluis, of het droogvallen van het hoofd (en de kolk) optreden door het (kunstmatig) wegpompen van het water in het hoofd (en de kolk).

De situatie tijdens de bouw van een sluis in een open bouwput is uiteraard heel anders omdat geen buitenwater wordt toegelaten en de grondwaterstand door bemaling verlaagd is. Tijdens de bouw van een sluishoofd in een bouwkuip met damwanden, wordt het buitenwater buitengesloten maar de grondwaterstand wordt ongemoeid gelaten.

Resumerend kan gezegd worden dat voor waterstanden, vervallen en grondwaterstanden steeds realistische combinaties gekozen moeten worden die leiden tot de maatgevende belastingcombinaties.

13.5.2.2 Verloop van waterstanden in lengterichting van de sluis



Figuur 13.10 Verloop waterstand in lengterichting sluis

De waterstanden verschillen in lengterichting van de kolk (fig. 13.10a en b). Tijdens de bedrijfssituatie zal in het hoofd ter plaatse van de kerende deur(en) de waterstand een sprong maken. In de sluis kolk en in het hoofd met geopende deuren is de waterstand steeds (vrijwel) horizontaal maar wel afwisselend hoog en laag. In de onderhoudsfase zullen de waterstanden aan beide zijden van de schotbalken of droogzetschotten sprongen maken (fig. 13.10c).

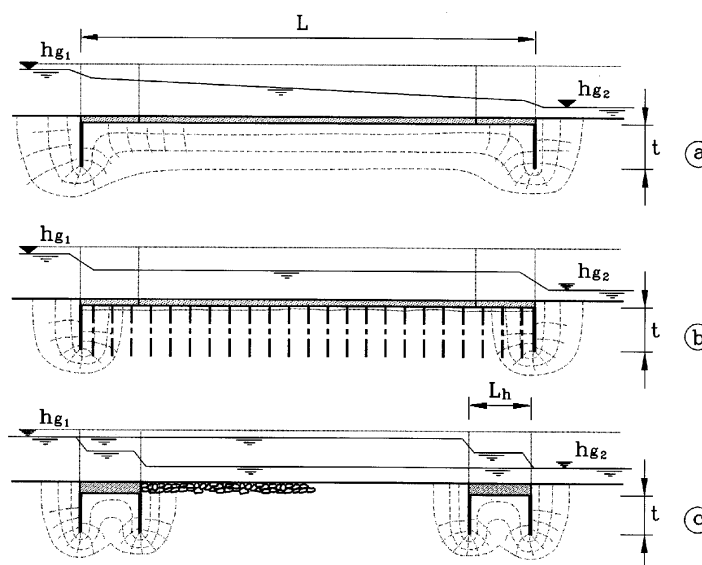
Voor het hoofd met de gesloten deur kan een extreem verval over de deur optreden dat - zoals gezegd - niet noodzakelijkerwijs bij het ontwerppeil behoort. Ook kan over de deur een verval optreden dat behoort bij het ontwerppeil met een al of niet voorgeschreven kolkwaterstand.

In het hoofd met geopende deur is een horizontale waterstand aanwezig die overeenkomt met die van het aanliggende pand. Voorschrift kan zijn dat de deur gesloten wordt mocht de waterstand in het aanliggende pand het ontwerppeil bereiken.

Tijdens onderhoud van het hoofd kan een bepaalde extreme waterstand aan de buitenzijde van het hoofd optreden, een voorgeschreven waterstand aan de kolkzijde van het hoofd en (bijvoorbeeld) geen water in het hoofd.

In de schutkolk treedt een horizontale waterstand op die zich bevindt tussen het maximum- en minimum-ontwerppeil of tussen andere, voorgeschreven waterstanden.

13.5.2.3 Verloop van grondwaterstanden in lengterichting van de sluis



Figuur 13.11 Verloop grondwaterstand in lengterichting sluis

Onder- en achterloopsheid van de sluis is de benaming voor de stroming van het grondwater in de richting van de laagste grondwaterstand. Zie hoofdstuk 10 "Onder- en achterloopsheid". Om de stroming te beperken worden bij beide hoofden één (of twee) schermwanden geslagen die de kwelweg vergroten. Dit is vooral van belang bij sluishoofden (en -kolken) op palen waarbij de vloer niet goed aansluit op de ondergrond en bij een open kolkvloer tussen op staal gefundeerde sluishoofden (dit laatste mede om ontgrondingen te voorkomen onder de vloer aan de laagwaterzijde van het hoofd).

De grondwaterstand verloopt in langsrichting van de sluis. Berekeningen moeten uitsluitsel geven over het verloop van de grondwaterspiegel. Voor een eerste schatting kan gezegd worden dat langs de kwelweg de grondwaterstand lineair afneemt mits geen sprake is van bijzondere/specifieke zijdelingse toestroming (bijvoorbeeld stuwcomplex of spuimiddel).

Als voorbeeld wordt de grondwaterstand net buiten het bovenhoofd gesteld op h_{g1} (komt vrijwel overeen met buitenwaterstand bij bovenhoofd) en net buiten het benedenhoofd op h_{g2} (ook vrijwel overeenkomstig buitenwaterstand), het totale verval is dan $\Delta h_g = h_{g1} - h_{g2}$. De diepte van de schermwanden in de grond is t en de sluislengte is L .

Een sluis is geheel uitgevoerd als betonbak, op staal gefundeerd. De voegen zijn waterdicht en de sluis is voorzien van enkele schermwanden aan de buitenzijden van de sluis (fig. 13.11a). De kwellengte is $(4t + L/3)$. Opgemerkt wordt dat de horizontale kwellengte door een factor 3 gedeeld wordt volgens de regel van Lane (hoofdstuk 10). Als eerste benadering kan worden aangenomen dat de grondwaterstand onder de het bovenhoofd gelijk is aan $h_{g1} - \Delta h_g \cdot 2t / (4t + L/3)$ en onder het benedenhoofd $h_{g1} - \Delta h_g \cdot (2t + L/3) / (4t + L/3)$. Onder de sluisvloer verloopt de grondwaterstand lineair tussen deze waarden. Is de als betonbak uitgevoerde sluis op palen gefundeerd waarbij de vloer niet goed aansluit op de ondergrond, dan is de kwellengte $4t$ (fig. 13.11b). De grondwaterstanden onder het bovenhoofd, de sluisvloer en het bovenhoofd zijn dan aan elkaar gelijk en wel $h_{g1} - \Delta h_g/2$.

Bij een open kolkvloer worden aan weerszijden van het hoofd schermwanden geslagen (fig. 13.11c). De kwellengte over een hoofd is gelijk aan $4t + L_h$ met t als schermwanddiepte en L_h als lengte van het hoofd. Onder het bovenhoofd heerst een grondwaterstand variërend tussen de bovenwaterstand en het gemiddelde van boven- en benedenwaterstand in. Onder de open kolkvloer heerst een gemiddelde grondwaterstand die varieert tussen boven- en benedenwaterstand in. Onder het benedenhoofd zal de grondwaterstand variëren tussen de benedenwaterstand en het gemiddelde van boven- en benedenwaterstand in.

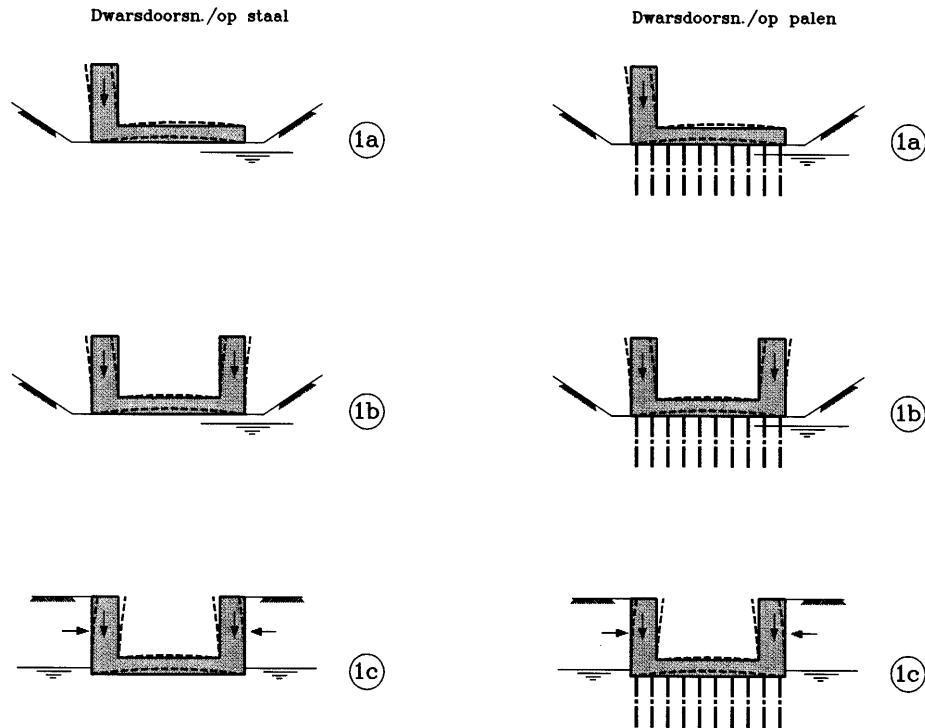
Resumerend kan gezegd worden dat de grondwaterspiegel verloopt over de lengte van de sluis en bij een open vloer ook duidelijk in de tijd varieert. Bovendien volgt de grondwaterstand de wisselende rivierstanden of getijbewegingen in vertraagde zin.

13.5.3 Voorbeelden van belastingcombinaties

De belastingcombinaties worden toegespitst op mogelijke bezwijkmechanismen van de betonconstructie en de fundering en op de diverse stadia (bouw-, bedrijf- en onderhoudstadium) van de sluis. In deze paragraaf wordt als beperking gesteld dat alleen voorbeelden van de maatgevende combinaties ontwikkeld worden: er is echter *niet* gestreefd naar volledigheid. Op voorhand kan daarom gezegd worden dat in deze paragraaf zeker maatgevende belastingcombinaties voor de hoofdconstructie, detailonderdelen, bijzondere omstandigheden of andersoortige bouwwijzen zullen ontbreken. Bij een voorkomend sluisontwerp is het noodzakelijk op een systematische manier de belastingcombinaties door te rekenen waarbij elke grootheid (moment, dwarskracht, normaalkracht) ter plaatse van een bepaalde snede zijn eigen maatgevende combinatie bezit. Op voorhand is daarom niet te zeggen welke combinaties maatgevend zijn.

13.5.3.1 Situatie tijdens bouw van betonbak

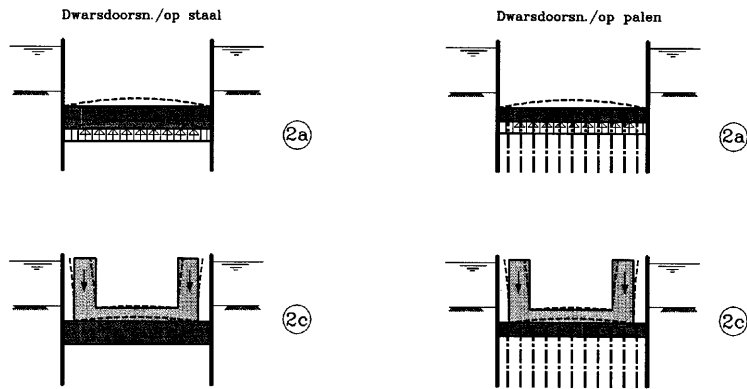
Tijdens de bouw zijn afhankelijk van de bouwwijze en het bouwstadium verschillende maatgevende belastingcombinaties mogelijk.



Figuur 13.12 Belastingcombinaties tijdens bouw van betonbak in open bouwput

- Open bouwput
 Voor het sluishoofd of de sluiscolk wordt de betonbak in den droge gestort. De grondwaterspiegel bevindt zich dan onder de vloer. Vervolgens worden de wanden aan weerszijden van de sluis aangeaard waarna de bemaling stopgezet wordt.
 Te onderzoeken belastingcombinaties.

1A	Stadium:	Na bouw vloer met één wand (fig. 13.12.1a)
	Doel:	Berekening betonconstructie vloer en stabiliteit tegen kantelen
	Randvw.:	Geen water op vloer (hoofd en colk droog), grondwaterspiegel onder vloer, betonbak niet aangeaard
	Belasting:	Eigen gewicht
	Reactie:	Korrelspanningen (vloer elastisch ondersteund bij fundering op staal) of paalkrachten
1B	Stadium:	Na bouw betonbak (fig. 13.12.1b)
	Doel:	Berekening betonconstructie vloer
	Randvw.:	Zie 1A
	Belasting:	Zie 1A
	Reactie:	Zie 1A
1C	Stadium:	Na aanaarden betonbak (fig. 13.12.1c)
	Doel:	Berekening betonconstructie vloer en wanden en fundering
	Randvw.:	Geen water op vloer, grondwaterspiegel onder bovenkant vloer
	Belasting:	Eigen gewicht, horizontale gronddrukken, waterdruk tegen onderzijde vloer (Opm. Voor de vloer kunnen bovenbelasting terrein en negatieve kleef ongunstig zijn)
	Reactie:	Zie 1A



Figuur 13.13 Belastingcombinaties tijdens bouw van betonbak in bouwkuip

- Damwandkuip

Bij een damwandkuip voor een sluishoofd wordt eerst de onderwaterbetonvloer (al of niet uitgevoerd met palen) gestort. Na verharding van deze vloer en het wegpompen van het water in de kuip wordt de betonbak in den droge gebouwd. Na het aanaarden van de betonconstructie in de kuip wordt water in de damwandkuip toegelaten. De damwanden blijven achter in de grond of worden gedeeltelijk afgebrand of getrokken. De wanden worden aangeaard.

Te onderzoeken belastingcombinaties:

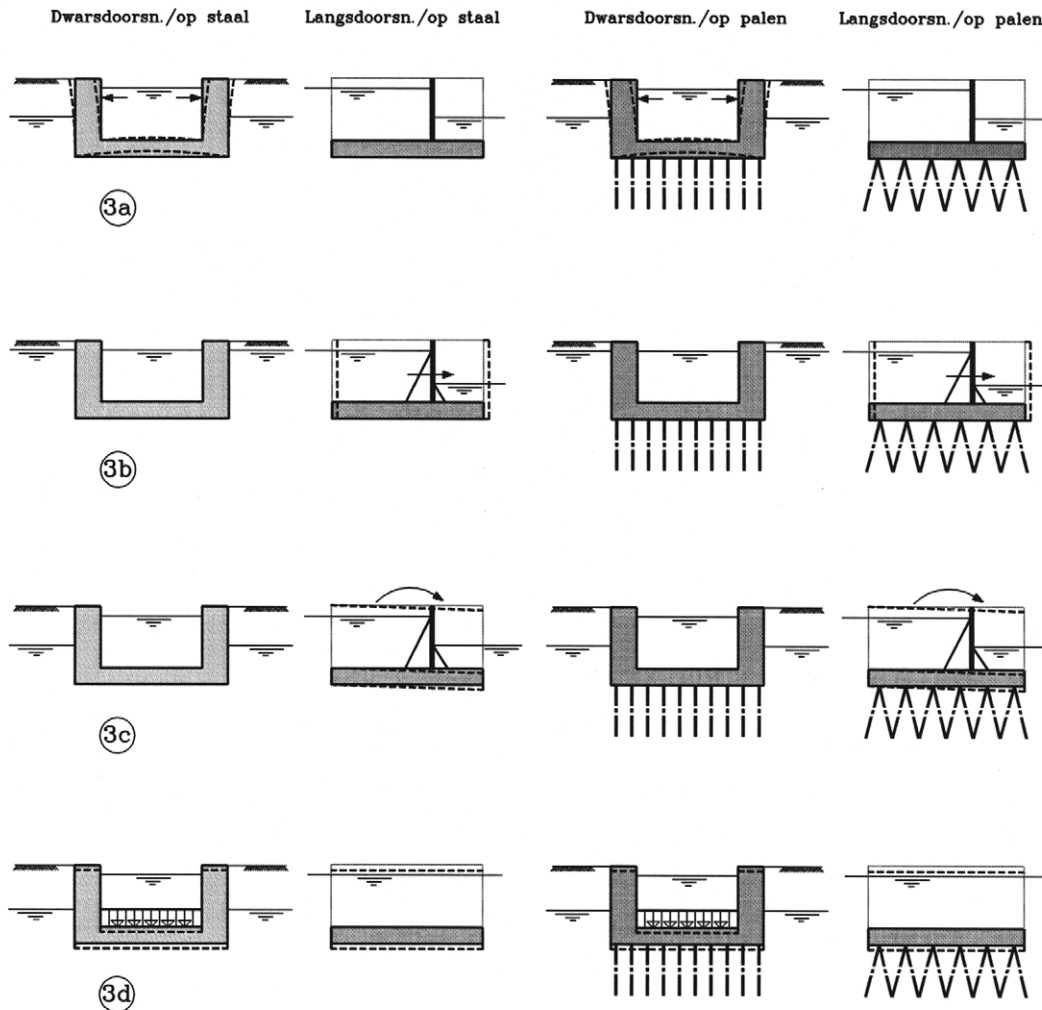
- | | | |
|----|-------------|---|
| 2A | Stadium: | Ontgraving tot onderzijde onderwaterbetonvloer |
| | Doel: | Berekening stabiliteit dam-/diepwand en verloop momenten, dwarskracht en doorbuiging in dam-/diepwand |
| | Randvw.: | Water binnen damwand op grondwaterniveau of iets hoger opgezet, grondwaterspiegel op niveau omringend grondwater |
| | Belasting: | Waterdrukken, grondwaterdrukken en actieve gronddrukken tegen wanden, mogelijke terreinbelasting |
| | Reactie: | Passieve gronddrukken, verankerings- of stempelkrachten |
| 2B | Stadium: | Na aanbrengen onderwaterbetonvloer en leegpompen damwandkuip (fig. 13.13.2a) |
| | Doel: | Berekening mogelijk opdrijven onderwaterbetonvloer, dimensionering paalfundering, berekening spanningen onderwaterbetonvloer (buigtrekspanningen in onderwaterbeton en bij palen schuifspanningen langs paal), berekening dam-/diepwand inclusief anker- of stempelkrachten |
| | Randvw.: | Geen water op vloer, grondwaterspiegel op niveau omringend grondwater |
| | Belasting: | Eigen gewicht onderwaterbetonvloer, waterdruk tegen onderzijde vloer |
| | Reactie: | Korrelspanningen onder onderwaterbetonvloer of paalkrachten |
| 2C | Stadium: | Na bouw vloer met één wand |
| | Doel: | Berekening constructievloer van betonbak |
| | Randvw.: | Geen water op of onder constructievloer (bouwkuip droog), grondwaterspiegel onder onderwaterbetonvloer, betonbak niet aangeaard |
| | Belasting: | Eigen gewicht |
| | Reactiekr.: | Elastische ondersteuning op onderwaterbetonvloer of (ongelijke) paalkrachten |
| 2D | Stadium: | Na bouw gehele betonbak (fig. 13.13.2c) |
| | Doel: | Zie 2B |
| | Randvw.: | Zie 2B |
| | Belasting: | Zie 2B |
| | Reactiekr.: | Zie 2B |
| 2E | Stadium: | Na aanaarden betonbak |
| | Doel: | Berekening betonconstructie |
| | Randvw.: | Geen water op constructievloer, grondwaterspiegel onder onderwaterbetonvloer |
| | Belasting: | Eigen gewicht, horizontale gronddrukken |

Reactiekr.: Elastische ondersteuning van onderwaterbetonvloer (het ongewapende onderwaterbeton is bij overbelasting gescheurd) of (ongelijke) paalkrachten

- Pneumatisch afzinken, zie appendix 13.1.

13.5.3.2 Situatie tijdens bedrijf voor een betonbak

Belastingen tijdens het schutbedrijf hangen af van mogelijke combinaties van de boven-, beneden- en grondwaterstanden. Terreinbelasting, troskrachten en negatieve wandwrijving worden alleen meegenomen als deze de belastingcombinatie ongunstiger maakt.



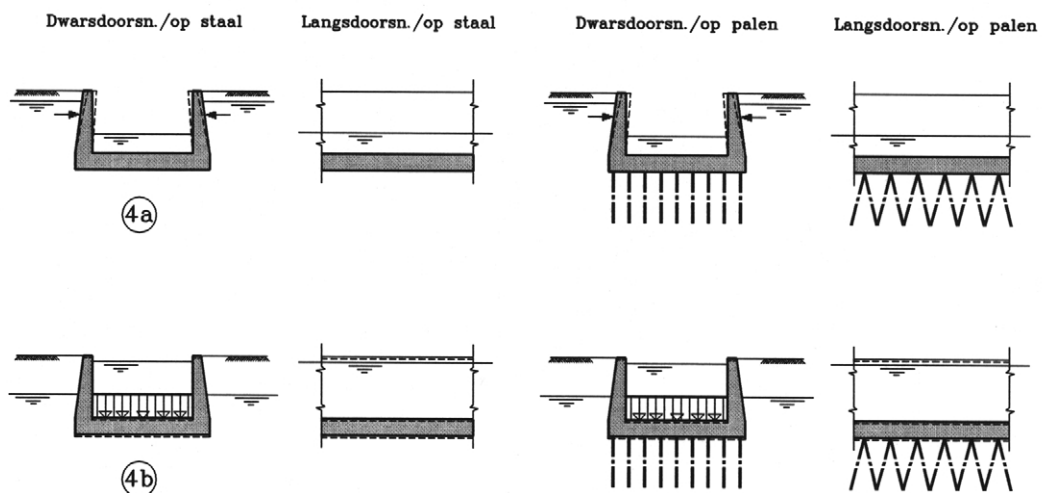
Figuur 13.14 Belastingcombinaties tijdens bedrijf van sluishoofd

Sluishoofden:

Te onderzoeken belastingcombinaties:

- 3A1 Doel: Berekening betonconstructie van sluishoofd
- Randvw.: Deuren van bovenhoofd zijn gesloten, grootste verval, hoogste grondwaterstand
Deuren van benedenhoofd zijn geopend, laagste kolkwaterstand, hoogste grondwaterstand
- Belast.: Water- en gronddrukken tegen wanden, eigen gewicht, waterdrukken boven en onder vloer, verval over deuren en tegen kopse vlakken
- Reactie: Korrelspanningen (vloer elastisch ondersteund bij fundering op staal), elastische ondersteuning van onderwaterbeton-vloer of paalkrachten

- 3A2 Doel: Berekening betonconstructie van sluishoofd bij puntdeuren (fig. 13.14.3a)
 Randvw.: Deuren zijn gesloten, grootste verval over deuren, laagste grondwaterstand
 Belast.: Spatkrachten wanden, water- en gronddrukken tegen wanden, eigen gewicht, waterdrukken boven en onder vloer, verval over deuren en kopse vlakken
 Reactie: Korrelspanningen (vloer elastisch ondersteund bij fundering op staal), elastische ondersteuning van owb-vloer of paalkrachten
- 3B Doel: Berekening fundering op stabiliteit tegen schuiven (fig. 13.14.3b)
 Randvw.: Deuren zijn gesloten, grootste verval over deuren, hoogste grondwaterstand
 Belast.: Vervalbelasting over deuren, grond- en waterdrukken tegen kopse vlakken, eigen gewicht inclusief eventuele onderwaterbetonvloer, waterdrukken tegen vloer, gronddrukken tegen wanden
 Reactiekr.: Korrelspanningen onder vloer, korrelschuifspanningen langs wanden en vloer of paalkrachten
- 3C Doel: Berekening fundering op stabiliteit tegen kantelen (fig. 13.14.3c)
 Randvw.: Zie 3A2
 Belast.: Zie 3B
 Reactiekr.: Zie 3B
- 3D Doel: Berekening fundering op verticale draagkracht of op paalkrachten (fig. 13.14.3d)
 Randvw.: Deuren zijn geopend, hoogste waterstand, laagste grondwaterstand
 Belast.: Eigen gewicht inclusief eventuele onderwaterbetonvloer, waterdrukken tegen vloer, bovenbelasting, negatieve wrijving
 Reactiekr.: Zie 3A2



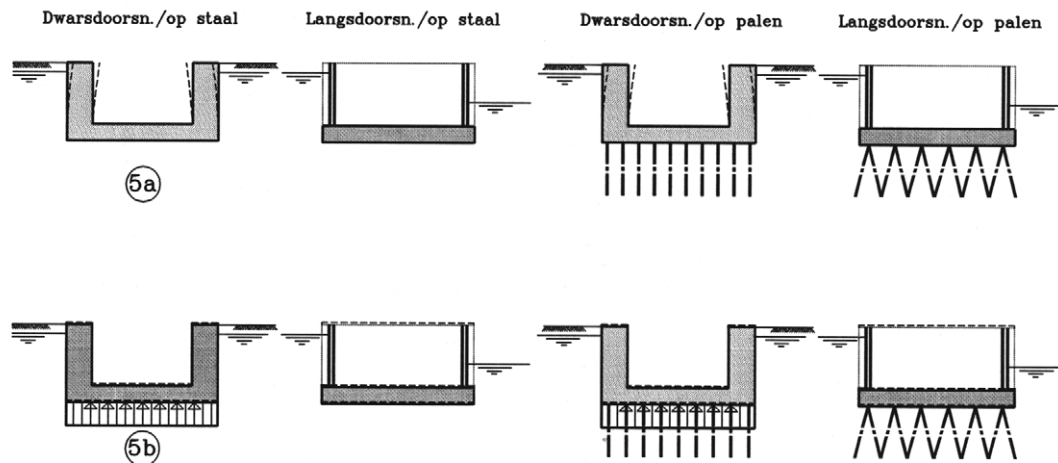
Figuur 13.15 Belastingcombinaties tijdens bedrijf van sluiskolk

Sluiskolk:

Te onderzoeken belastingcombinaties:

- 4A Doel: Berekening betonconstructie en mogelijk opdrijven van de kolk (fig. 13.15.4a)
 Randvw.: Laagste kolkwaterstand, hoogste grondwaterstand
 Belast.: Waterdrukken tegen wanden en vloer, horizontale gronddrukken, eigen gewicht, troskrachten, bovenbelasting
 Reactie: Korrelspanningen (vloer elastisch ondersteund bij fundering op staal) of paalkrachten (verende elementen)
- 4B Doel: Berekening fundering op verticale draagkracht of paalkrachten (fig. 13.15.4b)
 Randvw.: Hoogste kolkwaterstand, laagste grondwaterstand
 Belast.: Eigen gewicht, waterdrukken tegen vloer, bovenbelasting, negatieve wrijving
 Reactie: Zie 4A

13.5.3.3 Situatie tijdens onderhoud van een betonbak



Figuur 13.16 Belastingcombinaties tijdens onderhoud van sluishoofd

De hoofden moeten vaak drooggezet kunnen worden door middel van schotbalken in sponningen aan weerszijden van elk hoofd. Voor de sluiskolk kan veelal worden volstaan met een verlaagde kolkwaterstand.

Sluishoofden:

Te onderzoeken belastingcombinatie:

- 5 Doel: Berekening betonconstructie wanden en vloer en fundering op stabiliteit tegen opdrijven, schuiven en kantelen (fig. 13.16.5a en 13.16.5b)
- Randvw.: Hoofd is drooggezet, hoge buitenwaterstand, kolkwaterstand tegen schotbalken, hoge grondwaterstand
- Belast.: Water- en gronddrukken tegen wanden, schotbalken en kopse vlakken, eigen gewicht, waterdruk onder de vloer, bovenbelasting
- Reactie: Korrelspanningen (vloer elastisch ondersteund bij fundering op staal), elastische ondersteuning op owb-vloer of paalkrachten (verende elementen)

Sluiskolk:

Te onderzoeken belastingcombinatie:

- 6 Doel: Berekening betonconstructie en fundering op stabiliteit tegen opdrijven
- Randvw.: Verlaagde kolkwaterspiegel, hoge grondwaterstand
- Belast.: Water- en gronddrukken tegen wanden, eigen gewicht betonbak, waterdrukken tegen vloer, bovenbelasting (niet bij oprijfcontrole)
- Reactie: Korrelspanningen (vloer elastisch ondersteund bij fundering op staal) of paalkrachten (als verende elementen)

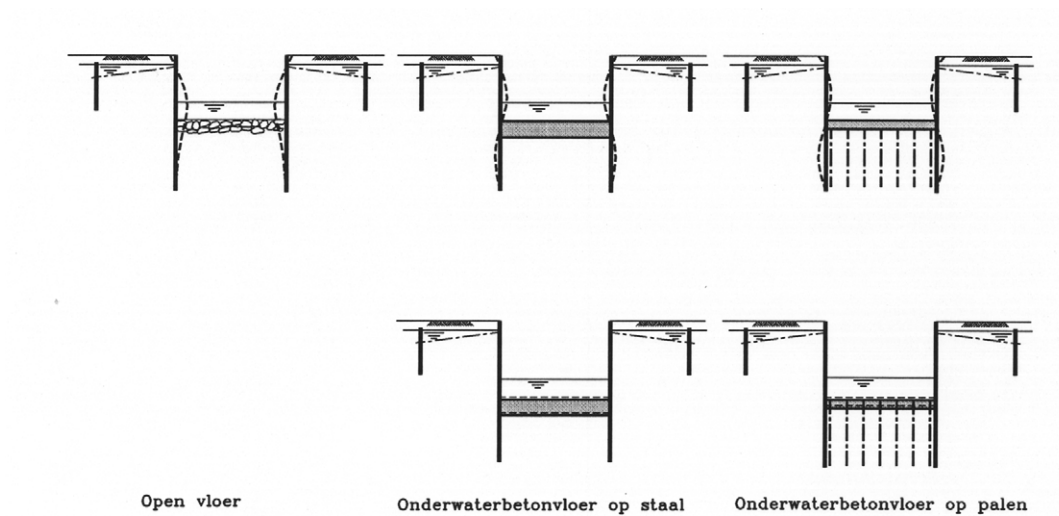
13.5.3.4 Dam- en diepwanden met aparte vloer

Maatgevend voor de sluiskolk is de situatie tijdens bouw of onderhoud met een verlaagde kolkwaterstand en de hoogste grondwaterstand. Ook kan de laagste kolkwaterstand tijdens de gebruiksfase (minimum-schutpeil) bepalend zijn.

Te onderzoeken belastingcombinatie:

- 7 Doel: Berekening stabiliteit van dam- of diepwand, momenten, dwarskrachten en doorbuiging van dam- of diepwand, ankerkrachten, (eventueel) stabiliteit tegen opdrijven onderwaterbetonvloer en ponscapaciteit (fig. 13.17)
- Randvw.: Verlaagde kolkwaterspiegel, hoge grondwaterstand
- Belast.: Waterdrukken, grondwaterdrukken en actieve gronddrukken tegen wanden, boven-

belastingen, bolderkrachten
Reactie: Passieve gronddrukken, verankeringskrachten en stempelkrachten in onderwaterbetonvloer (indien aanwezig)



Figuur 13.17 Belastingcombinaties voor dam- en diepwanden voor sluisolk

13.6 Sterkte en stabiliteit betonbak

In deze paragraaf komen aspecten van de sterkte en de stabiliteit van de betonbak aan de orde. De algemene lijnen worden uitgezet, gedetailleerde uitwerkingen van de betonconstructie en de fundering (oftewel de beton- en geotechnische berekeningen) worden niet gepresenteerd. De in deze paragraaf aan te halen belastingcombinaties zijn in par. 13.5 verwoord.

Voor berekeningen van sluiskolken waarbij gebruik wordt gemaakt van damwanden, wordt verwezen naar CUR-publicatie 166, voor diepwanden naar CUR-publicatie 189. In deze paragraaf wordt niet ingegaan op de berekening van L-wanden.

13.6.1 Sterkte en stijfheid betonbak

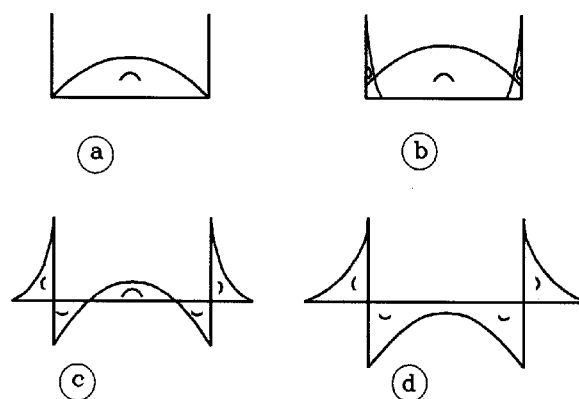
Voor het bepalen van de sterkte en stijfheid van de betonbak wordt in deze paragraaf alleen de dwarsdoorsnede beschouwd. In langsricting van de sluis zijn sluishoofden of kolknoten zeer stijf vanwege de wanden, dit wordt hier verder niet verder beschouwd.

13.6.1.1 Sterkte wanden

Bij een monolithische betonbak zijn de wanden te beschouwen als vrijstaande wanden die aan de onderzijde zijn ingeklemd (in de vloer) en die horizontaal belast worden met grond- en waterdrukken. De grond- en waterdrukken geven elk op zich driehoekige verlopende, horizontale belastingen. Behalve grond- en waterdrukken kunnen ook horizontale punt- of lijnlasten aanwezig zijn in de vorm van bolderkrachten, spatkrachten bij puntdeuren, botskrachten e.d. De maximale buigende momenten en dwarskrachten in de wand treden net boven de vloer op.

Voor de wanden te onderzoeken belastingcombinaties betreffen in elk geval (zie par. 13.5.3 voor belastingcombinaties).

- 1C: Bouwstadium: Wanden zijn aangeaard, nog geen water in sluishoofd (of sluiskolk)
- 3A1: Bedrijfsstadium sluishoofd: Laagste kolkwaterstand en hoogste grondwaterstand.
- 3A2: Bedrijfsstadium sluishoofd met puntdeuren: Spatkrachten bij grootste verval over de sluis en laagste grondwaterstand.
- 4A: Bedrijfsstadium sluiskolk: laagste kolkwaterstand en hoogste grondwaterstand.
- 5 en 6: Onderhoudsstadium: drooggezet hoofd of verlaagde kolkwaterstand, horizontale grondrukken met hoogste grondwaterstand.



Figuur 13.18 Momentenlijn voor een betonbak

Door de momenten in de wanden worden de wanden bij de belastingcombinaties 1C, 3A1, 4A, 5 en 6 naar elkaar toe gebogen (fig. 13.18c of 13.18d) en voor belastingcombinatie 3A2 (mogelijk) van elkaar af (fig. 13.18b). (NB. Dit is afgezien van de deformatie van de vloer). Bij deze belastingcombinaties worden de maximum-momenten en -dwarskrachten berekend die net boven de vloer optreden. Indien geen dwarskrachtwapening wordt toegepast (bij schutsluizen wordt dit niet gedaan), volgt de wanddikte juist

boven de vloer uit de op te nemen dwarskracht. Bij de hiermee vastgestelde wanddikte kan de hoofdwapening aan de grondzijde (belastingcombinatie 1C, 3A1, 4A, 5 en 6) en kolkzijde (belastingcombinatie 3A2) berekend worden.

De benodigde wanddikte wordt niet alleen door het moment en de dwarskracht onder in de wand bepaald maar ook door de volgende punten:

- er moet voldoende gewicht zijn voor de stabiliteit van het sluishoofd (weerstand tegen schuiven en opdrijven) en van sluiskolk (opdrijven);
- voor het sluishoofd wordt de wanddikte mede bepaald door de diepte van de deurkas;
- de stijfheid van de betonbak is in de regel erg groot. De wanddikte hoeft hier normaliter niet op aangepast te worden.

Naar aanleiding van het eerstgenoemde punt kan opgemerkt worden dat in plaats van de wand te verzwaren het ook mogelijk is de vloer aan de grondzijde te verlengen om grond te mobiliseren of (meer) trekpalen te gebruiken.

Voor het sluishoofd is de wanddikte over de hoogte constant. Bij de sluiskolk verloopt de wanddikte over de hoogte: de wanddikte bovenaan is de helft tot 2/3 van de wanddikte onderaan. Bovenaan wordt de wanddikte bepaald door de uitvoering (kunnen vlechten en storten) en het onderbrengen van voorzieningen zoals bolders, haalkommen en laddernissen.

13.6.1.2 Sterkte vloer

Bij een op staal gefundeerde, monolithische betonbak is de vloer te beschouwen als een verend ondersteunde plaat. In het vlak loodrecht op de sluisas gezien wordt de plaat aan de uiteinden belast door de momenten, normaalkrachten en verticale krachten van de wanden en over de gehele breedte belast door gelijkmatig verdeelde verticale belastingen bestaande uit het eigen gewicht van de vloer, het gewicht van het water op de vloer en de waterdrukken onder de vloer. De plaat wordt aan de onderzijde ondersteund door korreldrukken die evenredig gesteld kunnen worden met de plaatselijke indrukking van de ondergrond. Het maximum-buigend moment in de plaat kan optreden bij de uiteinden of in het midden van de plaat (fig. 13.18).

Bij een onderwaterbetonvloer onder de vloer van de betonbak mag aangenomen worden dat deze combinatie zeer stijf is waardoor de reactie van de grond verandert. De korrelspanningen onder de onderwaterbetonvloer worden aan de randen duidelijk groter dan in het midden van de vloer. Dit geldt in zijn algemeenheid omdat bij een berekening volgens elastische ondersteuning de schuifkrachten in de grond verwaarloosd worden. Bij een zeer stijve vloer wordt dit effect nog sterker. Maar de combinatie gewapend beton en onderwaterbetonvloer wordt toch iets minder stijf door de scheuren in het onderwaterbeton en het ontbreken van schuifkrachtdeuvels.

Bij gebruik van palen wordt de plaat in plaats van een doorlopende ondersteuning van de korrels ondersteund door puntopleggingen in de vorm van palen. De palen moeten bij de berekening van de vloer als verende ondersteuning worden beschouwd en geven oplegreacties die afhangen van de deformatie van de vloer.

Aan de *uiteinden van de vloer* ter plaatse van de dagzijde van de wanden komen de maximum-momenten in de vloer overeen met die in de wand (zie par. 13.6.1.1). Aan de uiteinden van de vloer geeft dit hoofdwapening aan de grondzijde (belastingcombinaties 1C, 3A1, 4A, 5 en 6, wanden naar elkaar toe gebogen) (zie fig. 13.18c en d) en voor sluishoofden met puntdeuren mogelijk ook aan de kolkzijde (belastingcombinatie 3A2, wanden van elkaar afgebogen) (fig. 13.18b). Door de wapening wordt een vormvaste verbinding van vloer met wand verkregen.

De dwarskrachten in de vloer ter plaatse van de dagzijde van de wanden waarop de vloer gecontroleerd moet worden, worden bepaald door de gewichten van de wanden en het grondprisma, negatieve wandwrijving, bovenbelasting, (eventueel) belasting heftorens en opwaartse grondwaterdruk, verticale korreldrukken en/of paalreacties.

De grootste momenten *in het midden de vloer die de vloer* kunnen doen opbollen zullen optreden wanneer de wandmomenten afwezig zijn (fig. 13.18a) of als de wanden uit elkaar worden gebogen (fig. 13.18b). Deze momenten nemen verder toe naarmate de vloer stijver geconstrueerd is door de niet-gelijkmatige korrelspannings- of paalkrachtverdeling. Voor deze momenten is hoofdwapening nodig aan de bovenzijde van de vloer.

De volgende belastingcombinaties moeten onderzocht worden:

- 1A of 2C: Bouwstadium: één wand is gestort
- 1B of 2D: Bouwstadium: beide wanden zijn gestort
- 3A2: Bedrijfsstadium sluishoofd met puntdeuren: spatkrachten bij grootste verval over de sluis en lage grondwaterstand
- 3D en 4B: Bedrijfsstadium: hoge kolkwaterstand, lage grondwaterstand

De momenten die de vloer in het midden kunnen doen doorbuigen, treden vooral op als de wanden sterk naar elkaar toe gebogen worden (fig. 13.18d). Dit vereist hoofdwapening aan de onderzijde van de vloer.

De volgende belastingcombinaties moeten onderzocht worden:

- 1C: Bouwstadium: wanden zijn aangeaard, nog geen water in sluishoofd (of sluiskolk), wel grondwater achter de wanden
- 3A1: Bedrijfsstadium sluishoofd: Laagste kolkwaterstand en hoogste grondwaterstand.
- 4A: Bedrijfsstadium sluiskolk: Laagste kolkwaterstand en hoogste grondwaterstand.
- 5 en 6: Onderhoudsstadium: drooggezet hoofd of verlaagde kolkwaterstand, horizontale gronddrukken met hoge grondwaterstand.

De benodigde vloerdikte wordt niet alleen door de momenten en dwarskrachten in de vloer bepaald. De stabiliteit van het sluishoofd (of sluiskolk) speelt een rol waarbij gedacht moet worden aan de vereiste weerstand tegen opdrijven of verschuiven, zie verder par. 13.6.2.2 t/m/ 4.

13.6.1.3 Stijfheid betonbak

De betonbak voor een sluishoofd of sluiskolk zal in de regel een vrij stijve constructie zijn zonder grote vervormingen. Toch zullen zowel de vloer als de wanden enigszins vervormen. Afhankelijk van de belastingcombinatie en de buigstijfheden en lengtes van wanden en vloer zal de vloer opbollen of doorbuigen terwijl de wanden naar elkaar toe of van elkaar af buigen.

Berekening van de stijfheid van de betonbak kan van belang zijn om een aantal redenen:

- vanwege de maatvoering van de deuren mogen sluishoofden nauwelijks vervormen;
- bij groot verval sluizen mag de kolkmoet tegen het bovenhoofd niet te veel vervormen ten opzichte van het bovenhoofd zelf;
- bij een fundering op staal hangt de reactie van de grond - dat wil zeggen de grootte van de korreldrukken onder de vloer - af van de deformatie van de vloer en hiermee ook van de momenten in de vloer. Dit geldt zeker voor een paalfundering; de reacties van de palen hangen af van de vervorming van de vloer.

13.6.1.4 Berekeningen

Voor het dimensioneren van de dwarsdoorsnede van de betonbak worden berekeningen van momenten, dwarskrachten, normaalkrachten en betonberekeningen uitgevoerd.

In plaats van het met de hand uitrekenen van momenten en dwarskrachten worden deze tegenwoordig voor het voorontwerp met behulp van een computerprogramma bepaald en wel als volgt:

- Door het hart van de wanden en de vloer worden systeemlijnen aangebracht. De wanden en de vloer worden in een aantal secties verdeeld met elk een eigen buigstijfheid (EI). De vloersecties hebben bij een fundering op staal oplegreacties in de vorm van een bepaalde veerstijfheid (beddingsconstante). Bij een fundering op palen hebben de secties ter plaatse van de palen een veerstijfheid afkomstig van de paalreacties.

- Op het systeem wordt de representatieve waarde van één bepaalde belastingcomponent aangebracht waarna het moment, de dwarskracht, de normaalkracht, de verplaatsing en eventueel de oplegreactie per sectie berekend worden. Dit wordt herhaald voor alle belastingcomponenten.
- Het moment, de dwarskracht, de normaalkracht, de verplaatsing en de eventuele oplegreactie van elke sectie en van elke belastingcomponent worden vermenigvuldigd met de bijbehorende belastingfactor zodat de rekenwaarden verkregen worden. Vervolgens worden de resultaten van de belastingcomponenten die bij een belastingcombinatie horen, bij elkaar opgeteld. Dit is toegestaan zolang het gedrag als lineair te beschouwen is. Zodoende worden per belastingcombinatie en voor elke sectie het moment, de dwarskracht, de normaalkracht, de verplaatsing en de eventuele oplegreactie afgeleid.

Het voordeel van deze methode is dat het veranderen van een belastingfactor of het samenstellen van een andere belastingcombinatie nauwelijks nog verdere berekeningen vereist.

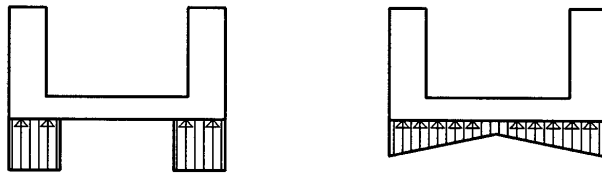


Fig. 13.19 Reactie korrelspanningen onder de vloer

In plaats van het invoeren van een beddingsconstante voor een fundering op staal kan ook de verticale korreldrukverdeling onder de vloer direct aangenomen worden als reactie van de grond. In de TGB 1990, NEN 6744 (Funderingen op staal), art. 7 wordt de methode gevolgd waarbij door de deformatie van de vloer de tegendruk van de grond voornamelijk geleverd wordt bij de wanden en in geringe mate tussen de wanden. Ook wordt wel een verdeling aangehouden met de grootse tegendruk bij de wanden en de kleinste tegendruk in het midden van de vloer met hiertussen schuine lijnen (fig. 13.19).

Wanneer de betonbak qua vorm of qua bouwmethode (bijv. pneumatisch afzinken) gecompliceerd is zodat niet met een tweedimensionale benadering volstaan kan worden, moet worden overgegaan op eindige-elementen programma's zoals DIANA of ANSYS. Voor het geval de spanningsverdeling in de grond gecompliceerd wordt en niet direct te schematiseren is, wordt gebruik gemaakt van het programma PLAXIS.

Uit het momenten- en dwarskrachtenverloop kunnen vervolgens met andere programmatuur de afmetingen gecontroleerd worden en de hoeveelheid hoofdwapening en (eventuele) dwarskrachtwapening worden vastgesteld. Voldaan moet worden aan de voorschriften volgens TGB 1990, NEN 6720 (Technische grondslagen voor bouwconstructies). Om te grote scheurvorming te voorkomen moet de hoofdwapening voldoen aan eisen betreffende de diameters en afstand van de staven en is een minimaal benodigde krimpwapening nodig. Bij de grote puntlasten zoals deuropleggingen, bolders en haalkommen moet aparte wapening worden aangebracht om deze krachten in het beton te spreiden.

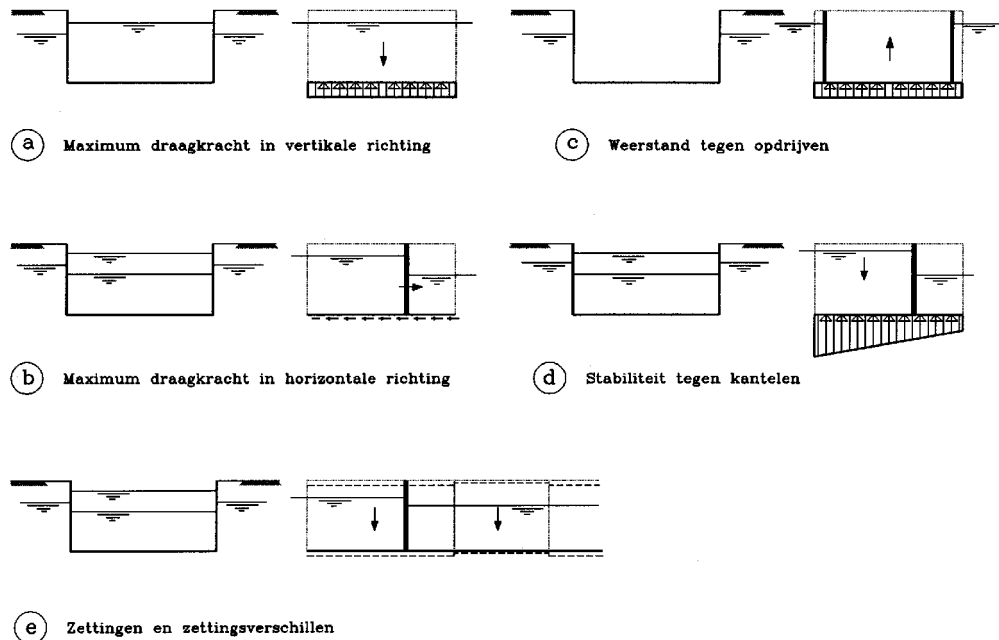
13.6.2 Fundering betonbak

Voor de fundering van de betonbak wordt uitgegaan van de maximum-draagkracht in verticale en horizontale richting, de weerstand tegen opdrijven en kantelen en mogelijke zettingen. Als voorschriften worden de TGB 1990, voorschriften NEN 6740, NEN 6743 en NEN 6744 gehanteerd. De betonbak wordt als monoliet gezien, gefundeerd op staal, op een grondverbetering of op palen indien de bodem te weinig draagkracht bezit en een grondverbetering geen zin heeft (draagkrachtige laag op te grote diepte) of te duur is.

13.6.2.1 Maximum-draagkracht in verticale richting

Bij een fundering op staal wordt de maximum-draagkracht in verticale richting bepaald uit het product van het effectieve funderingsvlak en de rekenwaarde van de funderingsdruk (Geotechniek, Funderingen

op staal, NEN 6744, art. 5.2). Mogelijk bezwijken treedt op door afschuiving of stabiliteitsverlies van de grondslag waarin de fundering zich bevindt. In norm NEN 6744 wordt de maximum-draagkracht verder uitgewerkt waarbij onder meer wordt ingegaan op ongedraineerde (of cohesieve) en gedraineerde situaties, aanlegdiepte ten opzichte van het maaiveld, gelaagdheid van de grond, de rekenwaarden voor de grondparameters en mogelijk doorponsen of wegpersen van een laag. Voor het volumieke eigen gewicht, de hoek van inwendige wrijving en de cohesie worden partiële materiaalfactoren toegepast (Geotechniek, Basiseisen en belastingen, NEN 6740, tabel 3).



Figuur 13.20 Geotechnische aspecten betonbak

De maximum-draagkracht van een drukpaal bestaat uit de puntweerstand (product van oppervlakte paalpunt en maximale puntweerstand bij de sondering) en de schachtweerstand (product van omtrek paal, lengte van schachtwrijving en maximum-paalschachtwrijving volgens de sondering). In NEN 6743 (Geotechniek, Berekening drukpalen) wordt dit verder uitgewerkt waarbij onder andere wordt ingegaan op meerdere palen onder al of niet stijve bouwwerken, enkele palen, maximale puntweerstand en paalschachtwrijving voor verschillende paalvormen. Negatieve kleef door maaiveldzakkingen is een extra paalbelasting. Partiële materiaalfactoren voor de maximum-draagkracht worden toegepast volgens NEN 6740.

De rekenwaarde van de representatieve verticale belasting mag de maximum-draagkracht van de fundering op staal of op palen niet overschrijden. De volgende belastingcombinaties met de grootste naar beneden gerichte, verticale belasting (moment is afwezig) moeten in elk geval onderzocht worden (fig. 13.20a):

- 1B en 2D: Bouwstadium: eigen gewicht betonbak, grondwaterstand nog onder vloer
- 3D: Bedrijfsstadium sluishoofd: geopende deuren, hoogste kolkwaterstand, laagste grondwaterstand, terreinbelasting, negatieve wandwrijving
- 4B: Bedrijfsstadium sluiskolk: hoogste kolkwaterstand, laagste grondwaterstand, terreinbelasting, negatieve wandwrijving

Voor funderingen op staal hoeft volgens NEN 6744 (Fundering op staal) voor wat betreft de maximum-draagkracht geen rekening gehouden te worden met vervormingen van de vloer (betonbak "oneindig" stijf), de funderingsdrukken zijn recht evenredig met de verplaatsingen. (Opm. Voor de betontechnische berekeningen is dit niet toegestaan, zie par. 13.6.1.4.)

Bij paalfunderingen is de maximum-draagkracht van de palen bij een niet-stijf bouwwerk kleiner dan voor een stijf bouwwerk (NEN 6743, Paalfunderingen, art. 5.3.2.2). Dit hangt mede af van het aantal palen en het aantal sonderingen. Uit de constructieve berekeningen van een op palen gefundeerde betonbak (beschreven in par. 13.6.1.4) volgen de afzonderlijke paalreacties die door de vervorming van de vloer niet gelijk hoeven te zijn. Elke paal moet daarbij voldoen aan zijn maximum-draagkracht.

Naast drukkrachten in de palen is het ook denkbaar dat voor bepaalde belastingcombinaties vanwege de deformatie van de vloer trekkrachten optreden in de palen nabij het midden van de vloer of bij de uiteinden van het sluishoofd en in schoorpalen onder het hoofd. (Opm. Alleen indien de palen vast zijn verbonden met de vloer, dus niet zoals bij oude sluizen met houten palen). Zie verder ontwerpregels voor trekpalen CUR 98-9. Deze trekkrachten moeten ook gecontroleerd worden. Belastingcombinaties 1B, 2B en 2D (Bouwstadium, voor aanaarden) en 3A2 (Bedrijfsstadium sluishoofd, spatkrachten bij puntdeuren), 3C (Bedrijfsstadium sluishoofd met grootste verval over deuren, kantelstabiliteit) zijn hier het meest gevoelig voor.

Bij overschrijding van de maximum-draagkracht door de verticale belasting moet het funderingsoppervlak vergroot worden, een grondverbetering worden toegepast, meer palen onder de vloer worden aangebracht of de palen moeten anders over de breedte of lengte verdeeld worden, danwel een andere heling krijgen.

13.6.2.2 Maximum-draagkracht in horizontale richting

Mogelijk afschuiven van het hoofd door de vervalkracht over de deuren in langsrichting van de sluis, is vooral van belang voor het benedenhoofd. In tegenstelling tot het bovenhoofd wordt het benedenhoofd niet door een aangrenzende kolkmoet gesteund. Toch wordt er ook bij het bovenhoofd van uitgegaan dat het hoofd zelfstandig de vervalkracht moet kunnen opnemen, waarbij de hoofden alleen gesteund worden door de grond ter plaatse van de vloer of door de paalfundering. (Opm. Bij reconstructies van bestaande sluizen wordt in de berekening soms uitgegaan van steun voor het bovenhoofd vanuit de kolk.)

Bij een op staal gefundeerd sluishoofd is de maximum-draagkracht in horizontale richting (weerstand tegen afschuiven) in de richting van de sluisas gelijk aan de som van twee weerstanden (NEN 6744, art. 5.3):

- Schuifweerstand tussen funderingsoppervlak en de grond
De schuifweerstand tussen funderingsoppervlak en de grond is in gedraineerde toestand gelijk aan het product van de rekenwaarde van de verticale belasting en een wrijvingscoëfficiënt. De wrijvingscoëfficiënt is gelijk $\tan(\delta)$ met $\delta = \frac{2}{3} \phi$ en ϕ = hoek van inwendige wrijving. In ongedraineerde toestand speelt ook de cohesie hierin een rol.
- Resulterende passieve schuifweerstand van de grond tegen de kopvlakken van het hoofd
De resulterende passieve schuifweerstand van de grond tegen de vloer van het sluishoofd is gelijk aan het verschil tussen de passieve en actieve gronddruk tegen deze vloer.

Ook de wanden van de betonbak leveren door de horizontale gronddruk hiertegen een schuifweerstand in de richting van de sluisas. Deze wordt echter meestal niet meegenomen voor de maximum-draagkracht in horizontale richting.

Bij een op palen gefundeerd sluishoofd kunnen schoorpalen worden toegepast om de horizontale belastingen in de richting van de sluisas op te nemen. De weerstand van deze palen in horizontale richting komt in de plaats van de schuifweerstand tussen funderingsoppervlak en grond bij een fundering op staal. De drukkracht in een paal die in de richting van de belasting geheid staat, moet een zodanige paalreactie opleveren dat deze de maximum-draagkracht hiervan niet overschrijdt. Evenzo mag de eventuele trekkracht in de paal die tegen de richting van de belasting is geheid, ook zijn toegestane trekkracht niet overschrijden.

In plaats van schoorpalen kan, bij toepassing van een bouwkuip, onderwaterbetonvloer en verticaal staande palen, de horizontale belasting worden afgedragen via de damwanden van de bouwkuip en via buiging van de op druk belaste palen. Dit laatste levert maar weinig reactie op en is niet gunstig voor de palen.

De rekenwaarde van de horizontale belasting op het sluishoofd in de richting van de sluisas, moet minder zijn dan de maximum-draagkracht in horizontale richting. De volgende belastingcombinaties met de grootste horizontale belasting moeten in elk geval onderzocht worden (fig. 13.20b):

- 3B: Bedrijfsstadium sluishoofd: gesloten deuren, grootste verval over deuren, hoogste grondwaterstand voor trekschoorpalen en laagste grondwaterstand voor drukschoorpalen
- 5: Onderhoudsstadium sluishoofd: schotbalken met verval hierover, hoge grondwaterstand voor trekschoorpalen en lage grondwaterstand voor drukschoorpalen

Bij overschrijding van de maximum-schuifweerstand moet het sluishoofd verzaamd of verlengd worden (fundering op staal) of moeten meer schoorpalen geheid worden.

Naast het mogelijk schuiven in langsrichting is ook het mogelijk dat sluishoofden of kolkmoten zijdelings verschuiven wanneer deze in het bouwstadium ongelijk worden aangeaard. Het is daarom zeer belangrijk dat het aanaarden gelijkmatig aan weerszijden plaatsvindt. Als een sluis naast een bestaande sluis gebouwd wordt, moet gedacht worden aan het feit dat de neutrale gronddruk aan de zijde van de bestaande sluis toeneemt.

13.6.2.3 Weerstand tegen opdrijven

Tijdens de uitvoering in een bouwkuip mag de onderwaterbetonvloer niet opdrijven. In het bedrijfs- en onderhoudsstadium mag de betonbak niet opdrijven (fig. 13.20c). Dit gevaar is aanwezig wanneer weinig water in de kolk aanwezig is en hoge grondwaterdrukken tegen de onderkant van de vloer werken. Bij een fundering op staal mogen de korrelspanningen onder de vloer niet nul worden of bij een paalfundering mogen de maximum-trekkkrachten in de palen niet overschreden worden (zie ook CUR-rapport 98-9, "Ontwerpregels voor trekpalen").

De volgende belastingcombinaties moeten in elk geval onderzocht worden:

- 2B: Bouwstadium bij bouwkuip: Na aanbrengen onderwaterbetonvloer en leegpompen bouwkuip
- 3A1: Bedrijfsstadium sluishoofd: Laagste kolkwaterstand, hoogste grondwaterstand
- 4A: Bedrijfsstadium sluiskolk: Laagste kolkwaterstand, hoogste grondwaterstand
- 5: Onderhoudsstadium sluishoofd: Drooggezet hoofd, hoge grondwaterstand
- 6: Onderhoudsstadium sluiskolk: Verlaagde kolkwaterspiegel, hoge grondwaterstand

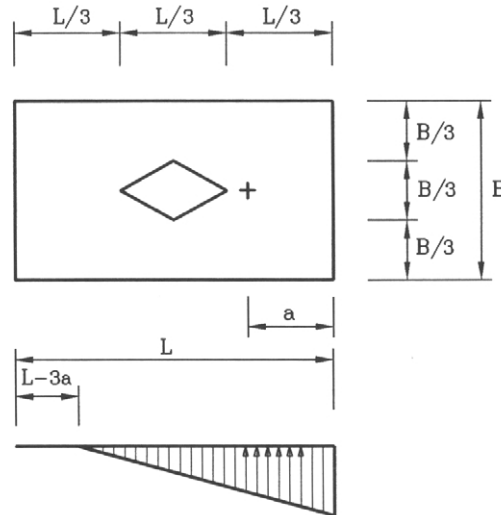
Bij mogelijk opdrijven moet de onderwaterbetonvloer dikker worden gemaakt, de betonbak verzaamd, of de vloer aan de grondzijde verlengd, danwel meer trekpalen worden geheid. Het is in het algemeen economischer een dunne onderwaterbetonvloer met trekpalen te maken dan een dikke zonder (zie Appendix 8.1 bij par. 8.5.2).

Bij toepassing van een bouwkuip met een onderwaterbetonvloer moet ervan worden uitgegaan dat de grondwaterdruk via scheuren in het onderwaterbeton of door lekkage tussen palen en onderwaterbeton zich ook opbouwt onder de constructievloer. Voor de weerstand tegen opdrijven van de betonbak mag het gewicht van het onderwaterbeton alleen in rekening gebracht worden bij gebruik van palen die een verbinding vormen tussen onderwaterbeton en constructievloer (ribbelpalen bij onderwaterbeton en stekeinden in constructievloer). Zonder deze verbinding mag het gewicht van het onderwaterbeton niet worden meegerekend in de weerstand tegen opdrijven van de betonbak. Het onderwaterbeton heeft alleen een functie tijdens de bouw.

13.6.2.4 Stabiliteit tegen kantelen

Zowel het boven- als het benedenhoofd worden gecontroleerd op mogelijk (langs-)kantelen ten gevolge van de vervalkracht van het water over de deuren (fig. 13.20d). Voor het bovenhoofd geldt weer dat dit hoofd tegen de naastliggende kolkmoet steunt maar dit wordt niet in rekening gebracht, behoudens bij renovaties.

In de TGB 1990, NEN 6744 (Funderingen op staal), art. 5.4 staat vermeld wanneer op kantelstabiliteit gecontroleerd moet worden. Dit is als de effectieve lengte van de fundering kleiner is dan $\frac{2}{3}$ van de werkelijke lengte van het funderingsoppervlak waarbij de effectieve lengte bepaald wordt door de excentriciteit van de verticale belasting (NEN 6744, art. 5.2.1). De controle moet uitgevoerd worden volgens de bepalingen uit hoofdstuk 12 van NEN 6740.



Figuur 13.21 Stabiliteit betonbak tegen kantelen

Door de horizontale belasting van het verval over de gesloten deuren (of schotbalken) en het ongelijkmatig over de lengte van het hoofd verdeelde gewicht van het water, is een moment aanwezig om het midden van het funderingsvlak. Dit kantelmoment wordt bij een fundering op staal gecompenseerd door de korreldrukken onder het funderingsoppervlak. De resultante van de verticale en horizontale belastingen op het sluishoofd snijdt het funderingsoppervlak op een bepaald punt.

Als dit snijpunt binnen de kern van het funderingsoppervlak valt (ruit met diagonalen van $\frac{1}{3}$ van de lengte en breedte van funderingsoppervlak), hebben de korreldrukken onder het funderingsoppervlak een trapeziumvormig verloop en worden de korreldrukken nergens gelijk aan nul. Er wordt effectief gebruik gemaakt van het funderingsoppervlak. De korreldrukken aan de rand mogen de toelaatbare waarde niet overschrijden.

Als het snijpunt buiten de kern ligt, wordt maar een deel van het funderingsoppervlak gebruikt (fig. 13.21). De korreldrukken zijn voor een gedeelte van het funderingsoppervlak afwezig terwijl voor de rest de korreldrukken een driehoekig verloop hebben met een grote waarde aan de rand. Als a de horizontale afstand tussen het snijpunt van de resultante en de dichtstbijzijnde rand is ter plaatse van het funderingsoppervlak en L de lengte van het sluishoofd, dan heeft het gedeelte dat geen belastingen overbrengt een lengte $L - 3a$. Zolang de maximum-korreldrukken aan de rand toelaatbaar zijn, is het hoofd stabiel.

De paalfundering wordt eveneens gecontroleerd op kantelstabiliteit. Hierbij wordt geëist dat de druk- en de trekkrachten in de palen beneden toelaatbare waarden blijven. Er wordt zo nuttig mogelijk gebruik gemaakt van de palen door bij de verschillende belastingcombinaties de resulterende belasting zoveel mogelijk te laten samenvallen met het systeempunt van de paalfundering. Dit voorkomt te grote excentriciteit, waardoor de palen binnen een groep zo gelijkmatig mogelijk worden belast.

De volgende belastingcombinaties moeten in elk geval onderzocht worden:

- 3B: Bedrijfsstadium sluishoofd: Grootste verval over deuren, hoogste grondwaterstand
- 3C: Bedrijfsstadium sluishoofd: Grootste verval over deuren, laagste grondwaterstand
- 5: Onderhoudsstadium sluishoofd: Drooggezet hoofd, hoge grondwaterstand

Bij 3B ligt het snijpunt van de resultante met het funderingsvlak het dichtst bij de rand. Bij 3C is de excentriciteit kleiner, maar kunnen de korreldrukken nabij de rand ook te hoog zijn. Gezorgd moet worden dat de maximum-korreldrukken hun maximum-waarde niet overschrijden. Voor schoortrekpalen is meestal belastinggeval 3B maatgevend.

Valt de resultante buiten de kern dan kunnen bij een fundering op staal de deuren naar de laagwaterzijde verplaatst worden, het hoofd verlengd of verzwaaard, of de vloer verlengd tot buiten de wanden (extra grondgewicht mobiliseren). Verder zou de opwaartse grondwaterdruk verlaagd kunnen worden door het onder- en achterloopsheidscherm aan de hoogwaterzijde van het benedenhoofd aan te brengen en alleen een kort scherm aan de laagwaterzijde van het benedenhoofd aan te brengen (de functie van het korte scherm is dan handhaven stabiliteit benedenhoofd bij falen stortebed). Deze mogelijkheden bieden ook een oplossing indien niet wordt voldaan aan het criterium inzake afschuiving. Wel moet er voor worden gewaakt dat de maximale korrelspanningen (ten gevolge van kantelen) aan de benedenstroomse zijde van het hoofd niet te groot worden. Dit laatste probleem kan spelen bij alle genoemde oplossingen, behalve bij het verlengen van het hoofd. In het algemeen zullen deze oplossingen echter niet nodig zijn omdat met de afmetingen van het hoofd, bepaald uit de functionele eisen (hoofdstuk 8) en uit de vereiste sterkte in dwarsrichting, geen problemen ten aanzien van afschuiven en kantelen zullen optreden, behoudens in bijzondere omstandigheden, zoals grote vervallen.

Als de druk -of trekkrachten in de palen hun maximum-waarde overschrijden, moet het palenschema worden aangepast.

13.6.2.5 Zettingen

Sluishoofden en sluiskolken worden gecontroleerd op hun maximum-zettingen (fig. 13.20e). In de TGB 1990, NEN 6740 wordt geëist dat de zakking hooguit 0,15 m mag bedragen (art. 5.2). Voor schutsluizen wordt normaliter echter orde 0,05 m aangehouden.

Daarnaast moet ervoor gezorgd worden dat geen grote zakkingsverschillen tussen twee los van elkaar gefundeerde elementen (bijvoorbeeld het sluishoofd en de naastliggende kolkmoet of naast elkaar gelegen kolkmoten) optreden. Dit is vaak een veel stringenter eis: orde 0,02 m of minder.

De berekening van zettingen voor een fundering op staal is te vinden in NEN 6744, art. 6 en voor paalfunderingen in NEN 6743, art. 6. Voor de zettingsberekeningen worden alleen de representatieve waarden van de momentane belastingen in rekening gebracht (belastingcombinatie 4 uit par. 13.5.1, bruikbaarheidsgrenstoestand). Bij funderingen op staal bestaat de zetting uit een (direct na de bouw optredende) primaire zetting en de (in de loop der tijd ontstane) secundaire zetting. Bij paalfunderingen bestaat de zetting uit de zakking van het bovenende van de paal (zakking door belasting paalpunt en door elasticiteit paal) en de zakking door samendrukking van de onder het paalpuntniveau gelegen grondlagen (voor dicht bij elkaar staande palen).

13.7 Details betonconstructie



Foto 13.13 Betonconstructies van hoofd van Nieuwe Oranjesluis te Amsterdam

13.7.1 Beton- en wapeningkwaliteiten

- Voor eisen, vervaardiging en keuring van beton worden de normen volgens NEN 5950 (VBT 1995) aangehouden.
- De afmetingen worden meestal bepaald door de functionele vormgeving (deurkassen, in te stor - ten onderdelen e.d.) en de benodigde gewichtsconstructies. In de regel is daarom geen hoge sterk teklasse beton noodzakelijk. Vloeren en wanden zijn vaak uitgevoerd in sterkteklasse B 25 met 300 kg/m³ CEMIII/A 32,5 (hoogovencement klasse A) maar sterkteklasse B 35 komt steeds meer voor. Om mogelijke aantasting van beton te voorkomen, wordt altijd CEMIII (hoogovencement) toegepast. Meestal wordt voor onderwaterbeton gekozen voor milieuklasse 2 (vochtig), voor ongewapend beton milieuklasse 4 (zeewater) en gewapend beton milieuklasse 5B (matig agressief); afhankelijk van de situatie ter plaatse. Prefab betonelementen, voorgespannen betonpalen e.d. zijn van hogere sterkteklassen.
- Voor betonstaal wordt meestal FeB 500 HWL gekozen.
- Hergebruik van materialen, bijvoorbeeld betongranulaat, is soms niet mogelijk vanwege de eisen die aan de uitloging van het beton in water worden gesteld.

13.7.2 Vorm

- Het dwarsprofiel voor een sluishoofd (en vaak voor een sluisolk) is een monolithische betonbak. Voor de sluisolk zijn dit ook dam-, diep- of L-wanden met aparte vloer (onderwaterbeton of stortsteen).
- In de wanden en vloer van de sluishoofden worden o.m. aangebracht: deurkassen, (event.) deurnis, bewegingswerktuigruimtes, kabelschachten, drempel, sponningen (voor droogzetinrichting, luchtbellenscherm, railbaan, stopstreep, peilschaal enz.), sparingen (voor taats, halsbeugel enz.), deuraanslagen, sleuven (voor duwstangen), haalkommen, (eventueel) riolen, woelkamer enz.
- In de wanden van kolkmoten worden haalkommen, bolders, ladders enz. aangebracht. Kolkmoten van dam-, diep- of L-wanden kunnen aan de dagzijde voorzien worden van ter plaatse gestorte

betonnen wanden of van betonnen damwandkop en bekledingsschorten met hierin ladders en haalkommen. Deze wand reikt onder de laagste waterstand.



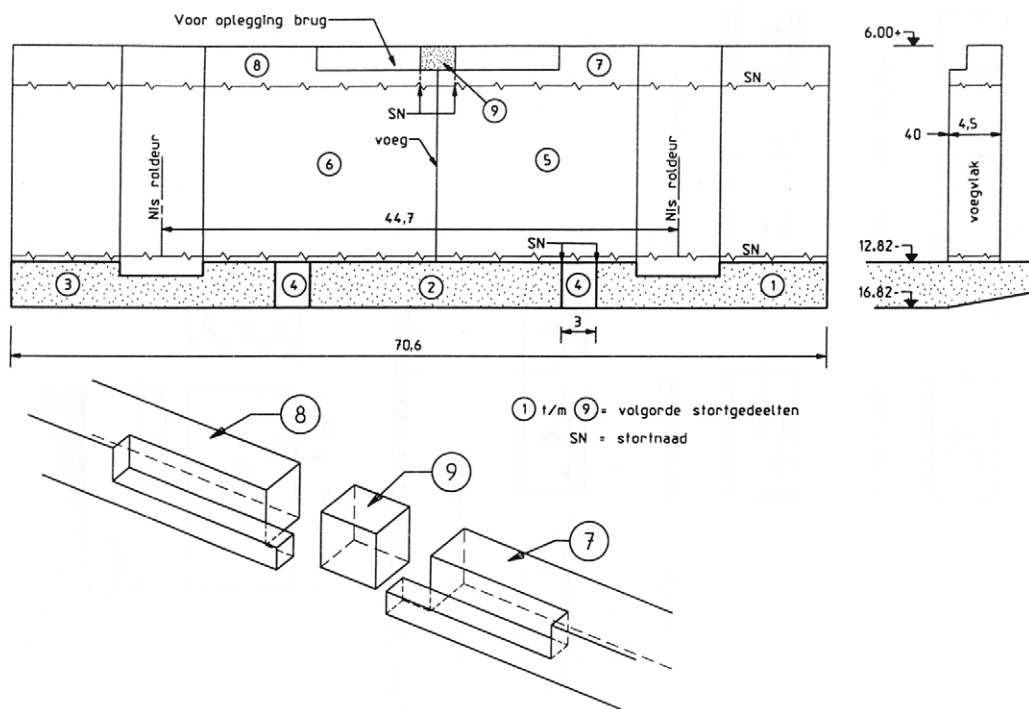
Foto 13.14 Betonnen deurkas van Kleine Sluis te IJmuiden

13.7.3 Voegen

- Om te grote scheurvorming tegen te gaan, worden dilatatievoegen haaks op de sluisas in de vloer en wanden aangebracht. Hoofden zijn monolithische constructies en maximaal 35 m lang zonder dat dilatatievoegen (dus geen stortvoegen) worden aangebracht. In bijzondere gevallen (zeer grote zeesluizen, basculekelders) zou de lengte vergroot kunnen worden van 35 naar 50 m. Voor de sluiskolk worden voor een monolithische betonbak voegen in kolkwanden en -vloeren in de regel om de 15 tot 22 m aangebracht. Tussen het hoofd en de sluiskolk is een voeg aanwezig. Bij een sluiskolk uitgevoerd met voorwanden van een diep-/damwand of bij hooggelegen L-wanden met diep-/damwanden worden ook voegen aangebracht. De minimum-afstand van 15 m komt voort uit een mogelijke eis van de hart-op-hart afstand van haalkommen, de maximum-afstand van 22 m vanwege het voorkomen van scheurvorming. De uiteindelijke afstand komt voort uit de opdeling van de kolk lengte in een geheel aantal gelijke moten.
- Bij diepwanden zijn de elementen maximaal ca. 7,5 m lang. De onderwaterbetonvloeren van de kolk worden in lengtes van maximaal 35 m tussen compartimenteringsdamwanden gestort.
- Voor een sluishoofd met een lengte van meer dan 50 m kan overwogen worden het hoofd op te bouwen uit moten, gescheiden door verticale stortnaden waar de wapening doorloopt. Fig. 13.22

geeft een voorbeeld van de indeling in moten en de stortvolgorde van het oostelijk buitenhoofd van de Zeesluis Terneuzen dat een lengte van 70,6 m heeft in verband met de twee roldeuren en de tussenliggende brug. In de vloer zijn korte tussenmoten voorzien die zijn gestort na verharding van de grotere vloergedeelten. Aan de bovenzijde van de wand bevindt zich een dergelijke plofmoot met daaronder een normale voeg, dus geen stortnaad met doorlopende wapening. De continue vloer en de "plofmoot" aan de bovenzijde van de wand zorgen echter voor het monoliet karakter van het hoofd. Er wordt op gewezen dat het hier een constructie betreft uit 1968; nu zal dit probleem wellicht anders worden benaderd.

- Dilatievoegen zijn in de regel vlak en worden voorzien van een rubber/metaal-voegstrook, bijvoorbeeld het W-9-U-I profiel van Bakker Rubber, om de voeg grond- en waterdicht te maken. De dagzijde van de betonvoeg van de wanden wordt opgevuld met asfaltplank en asfaltbitumen op rubberbasis, soms wordt de achterzijde van de betonvoeg nog extra beplakt met een asfaltstrook voor de grond dichting. Voegvlakken van wanden en vloer worden, voorafgaand aan het storten, twee keer geteerd.
- Wanneer zettingsverschillen van bijvoorbeeld 10 mm of meer tussen de kolkmoten of tussen het hoofd en de naastgelegen kolkmoet verwacht kunnen worden - dit kan voorkomen bij een fundering op staal, op palen vrijwel nooit - kan het W9U profiel dit niet meer volgen en scheurt. Te overwegen is dan een voegprofiel te gebruiken dat de zetting wel kan volgen (bijv. Omega-profiel) hoewel door het uitsteken van de betonnen rand deze snel door de schepen kan worden beschadigd. Beter kan dan een voeg gemaakt worden die de zettingsverschillen overbrugt door als scharnier te werken (openemen van afschuifkrachten en toelaten van enige rotatie). Dit is mogelijk door het opnemen van stalen deuvels in een vlakke voeg of door de voeg uit te voeren als messing en groef. Dit kan ook functioneren voor een voeg die vrijwel geen zettingsverschil mag hebben, bijvoorbeeld tussen het sluishoofd en de naastgelegen deurkas van een roldeur.
- Bij grotere sluisbreedtes dan 35 m wordt in de richting van de sluisas een (of twee) betonscharnier(en) in de vloer aangebracht (tand of messing en groef).



Figuur 13.22 Indeling in moten en stortvolgorde oostelijke helft buitenhoofd van de zeesluis in Terneuzen

13.7.4 Verbinding onderdelen

Vloeren:

- Verbinding onderwaterbetonvloer met stalen damwand wordt uitgevoerd met ankerstrippen als een constructieve verbinding vereist is. Vaak echter is er geen verbinding. Soms wordt de betonvloer met de stalen damwand verbonden door middel van aan de damwand gelaste stalen deukels.
- Vloer wordt direct op (gevlakte) onderwaterbetonvloer gestort, verhardingsscheuren verdelen zich over hele vloer.
- Betonvulling onder pneumatisch afgezonken caisson wordt met stalen haarspelden aan de vloer verbonden.
- Palen worden met uitgebogen wapeningsstaal van de paal aan de vloer verbonden, de afkaphoogte van de paal is iets boven de onderkant vloer, of de paalkop wordt opgenomen in de vloer. De palen die opgenomen zijn in een onderwaterbetonvloer zijn ter hoogte daarvan geribbeld.
- Damwand aan bovenkant voorzien van kurkstrook als een vloer hierop aangebracht wordt (geldt voor fundering op staal).

Wanden:

- Verticale verbinding betonwand van hoofd met stalen damwand van sluiskolk door slot in te storten of in sparing op te nemen en later op te vullen met krimparme mortel.
- Aparte betonwand voor de diepwand wordt via ingestorte stekeinden verbonden, bij damwand via aangelaste ankers.
- Groutankers of ankerstangen worden verbonden aan dam- of diepwand.

Vloer/wand:

- Stortnaad tussen vloer en wand met opgeruwde stortvoeg. Vertanding of dwarskrachtwapening wordt niet meer toegepast. Wel wordt vaak een opstortje toegepast om de wandkist op af te klemmen.

13.7.5 Tegengaan van scheurvorming

- Hydratatiewarmte afvoeren en uitdrogen beton (verglazing) tegengaan door nathouden bekisting en bovenkant beton. Stalen bekisting voert warmte beter af dan houten. Koeling met ingestorte buizen wordt tot op heden bij sluiswanden niet toegepast.
- Lengte van sluishoofd of kolkmoet wordt beperkt gehouden om te grote scheuren in wanden op de eerder gestorte en reeds verharde vloer tegen te gaan. Toch treedt meestal wel enige scheurvorming in de wanden op; neem hiervoor extra langswapening onder in de wanden op.
- Voor sommige bedrijfsruimtes onder water wordt krimpwapening toegepast om scheurvorming te voorkomen.

13.7.6 Betondekking en hoekafwerking

- Betondekking uitgaande van 100-jarige levensduur en agressiviteit water: vloeren 70 tot 80 mm, waterzijde wanden 60 mm (o.m. vanwege scheepstoten), overige dekking 50 mm, kleine onderdelen 35 mm
- Meeste onderhoud in een sluis is nodig vanwege beschadigen van hoeken door schepen. Daarom worden verticale buitenhoeken (tussen kolkmoeten, hoofd, deuren, laddernissen enz.) voorzien van stalen kwarttrond (rond 150 mm) of azobé-wrijfstijlen (25 mm verdiept, ouderwets). Bovenkant sluiswand aan waterzijde met afgerond dekzerkprofiel met opstaande rand (meer houvast en minder regenwater langs wanden). Bovenvlakken afwaterend gemaakt.

13.7.7 Punt- en lijnlasten

- Taats en halsbeugels worden in sparingen gesteld die later aangestort worden (fig. 13.23).
- Voor een rol- of glijdeur worden sponningen in de vloer opgenomen waarin later de rail- of glijbaan wordt aangebracht.

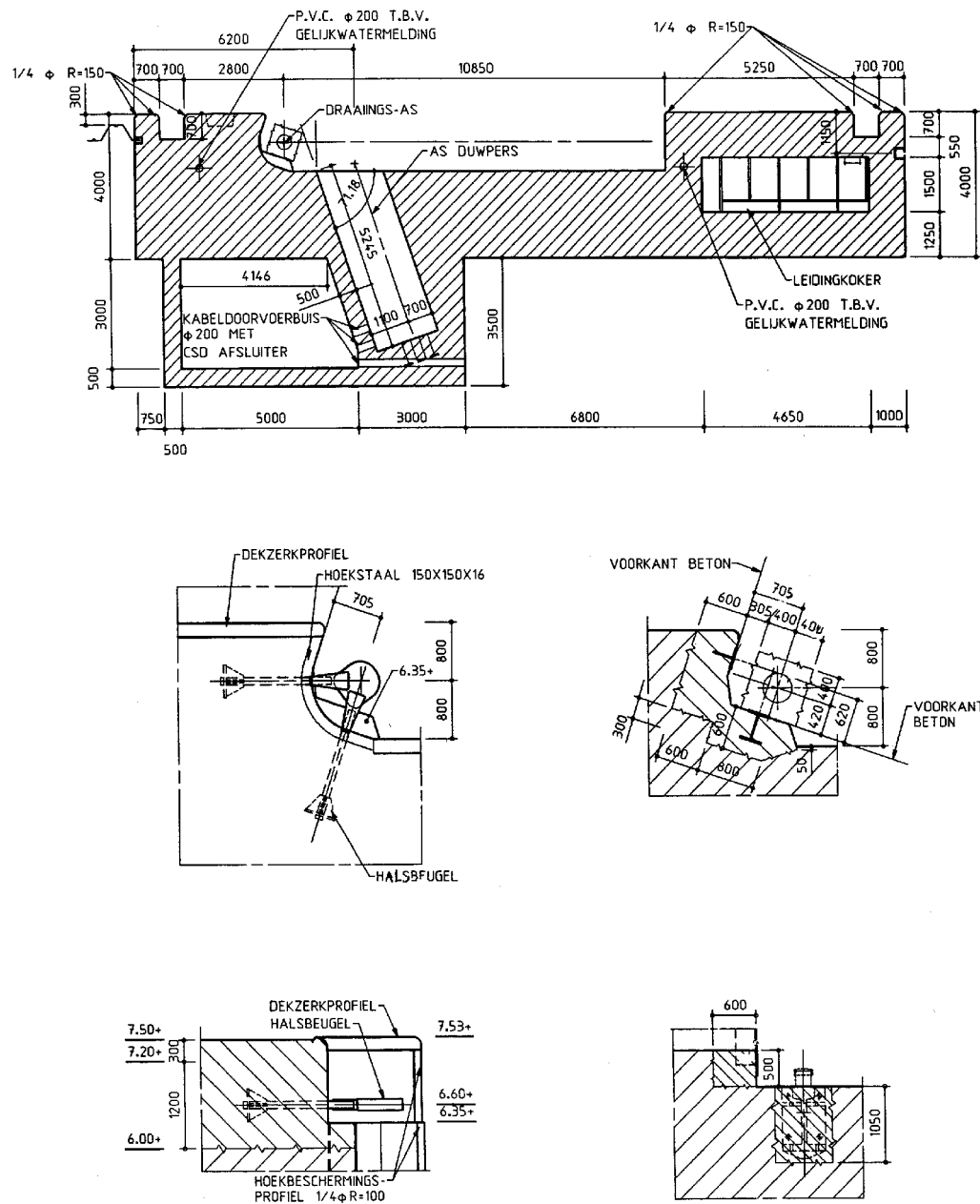
- Verticale en horizontale deuraanslagen worden voor kleine sluizen uitgevoerd met prefab beton-elementen die in sparingen op maat gesteld worden. Bij grotere sluizen worden direct stalen profielen ingestort.
- Haalkommen en bolders, voorzien van ankerstaven, worden direct in de wanden ingestort (fig. 13.24 en foto 13.15).
- Extra wapening in de wanden wordt aangebracht voor het afvoeren van krachten van halsbeugel, haalkommen en bolders.

13.7.8 Uitvoeringsaspecten

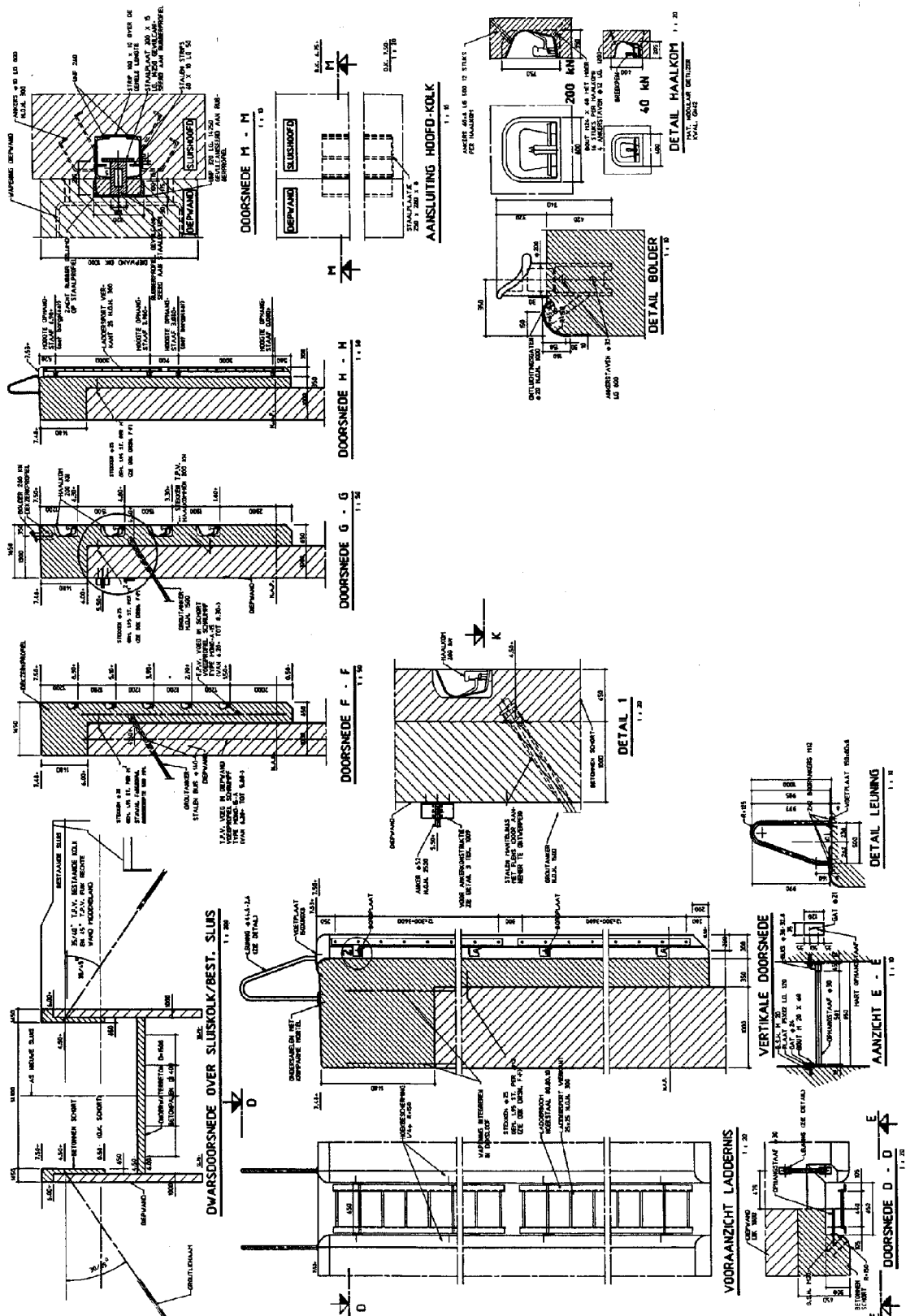
- Voorschriften uitvoering volgens NEN 6722 (VBU 1988).
- Onderwaterbetonvloer met stortpijp storten, meestal met regeling tegen ontmenging door vrije val, afsluitventiel of voor vlakker werk met een hopdobber. Maximum-niveauverschillen van ondergrond en bovenkant van onderwaterbetonvloer +/-0,10 m. Damwandkassen en palen worden vooraf schoongemaakt. Slibresten verwijderen en desnoods eerst grondverbetering of grindlaag aanbrengen. Onderwaterbetonvloer wordt gestort binnen compartimenten damwand.
- Aanaarding van sluishoofd en kolkmoten gelijkmatig aan weerszijden.
- Bij een kolkmoet als betonbak worden de wanden meestal na elkaar gestort, horizontale stortvoegen zijn toegestaan maar worden meestal niet toegepast. De kolkmoten worden meestal om en om gestort zodat niet gewacht hoeft te worden op verharding naastliggende wand.
- In een sluishoofd worden in de wanden wel horizontale stortvoegen opgenomen wegens de gecompliceerdheid van het hoofd. Voor waterdichte ruimtes worden (stalen) stortnaadplaten opgenomen (tegenwoordig ook weggelaten).
- Verder worden aanvullende eisen gesteld aan in te betonneren onderdelen (zie ook par. 8.4), verwerken van wapeningsstaal, bekistingen en sparingen, bereiding/transport/storten/afwerken beton, bouwstoffen.



Foto 13.15 Haalkom voor hoofd van Tweede schutsluis te Lith (ankers moeten nog aangebracht worden)



Figuur 13.23 Details draaipunten (Tweede sluis Lith)



Figuur 13.24 Details kolk (Tweede sluis te Lith)

In de figuren 13.25 t/m 13.34 zijn civiele tekeningen opgenomen van recente gebouwde schutsluizen.

Deuren: Dubbele stellen puntdeuren

Hoofden: Monoliete betonbak, op staal gefundeerd, gebouwd in open bouwput
Aansluitend een U-vormige betonbak als fuik

Kolk: U-vormige betonbak met voegen dwars op sluisas (getand in vloer), op staal gefundeerd,
gebouwd in open bouwput

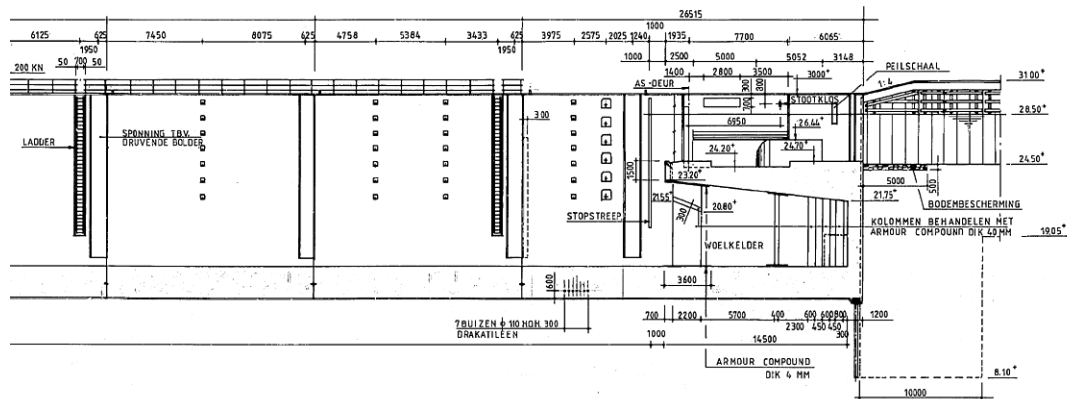


Nieuwe schutsluis te Panheel (fig. 13.26)

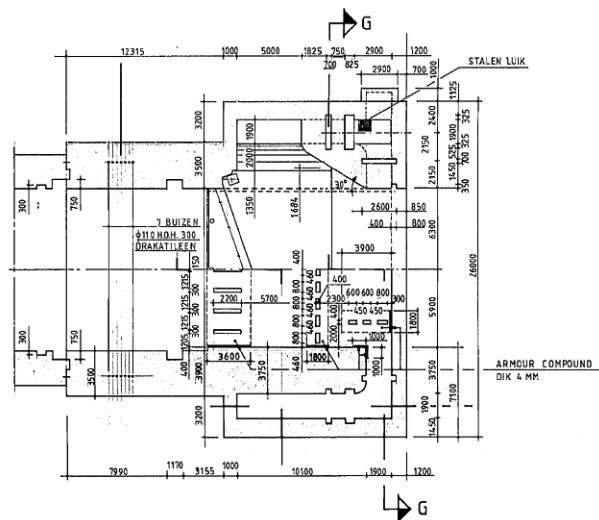
Deuren: Eenzijdig kerende puntdeuren

Hoofden: Monoliete betonbak met woelkelder in bovenhoofd, op staal gefundeerd, gebouwd in open bouwput

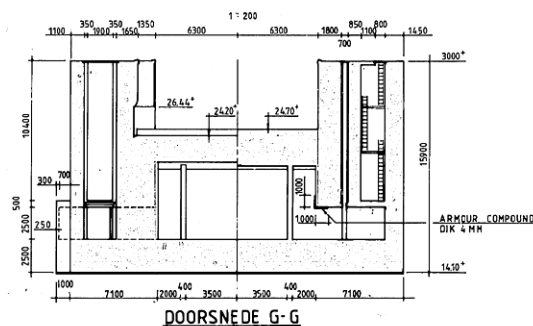
Kolk: U-vormige betonbak met voegen dwars op sluisas, op staal gefundeerd, gebouwd in open bouwput



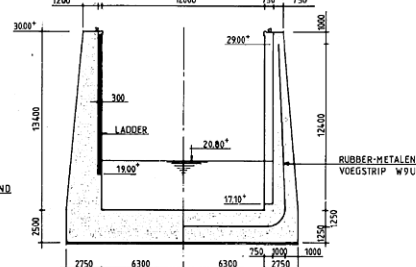
Langsdoorsnede kolk met bovenhoofd



Horizontale doorsnede kolk met bovenhoofd



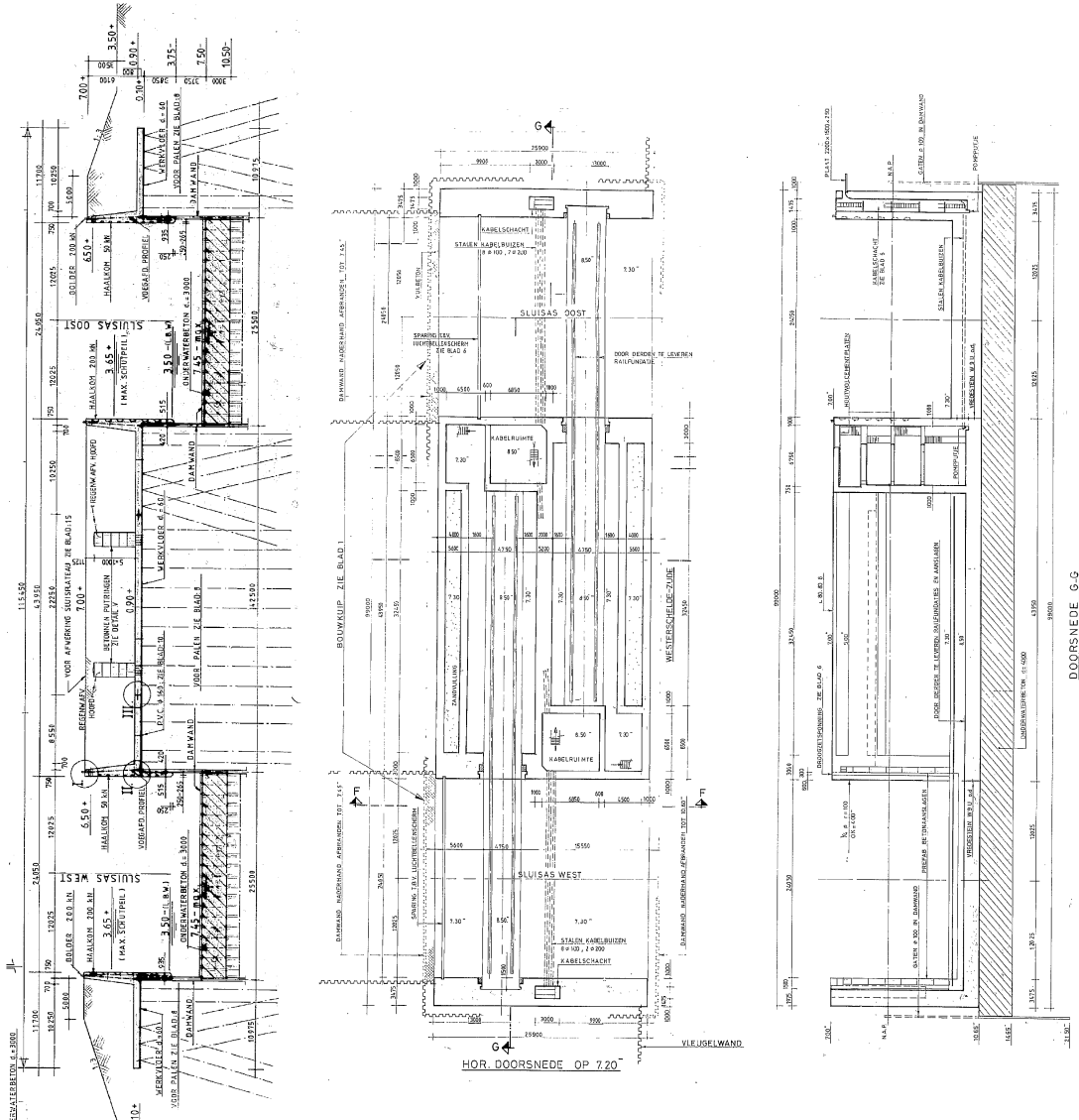
Dwarsdoorsnede bovenhoofd



Dwarsdoorsnede kolk

Dubbele schutsluis te Hansweert (fig. 13.27)

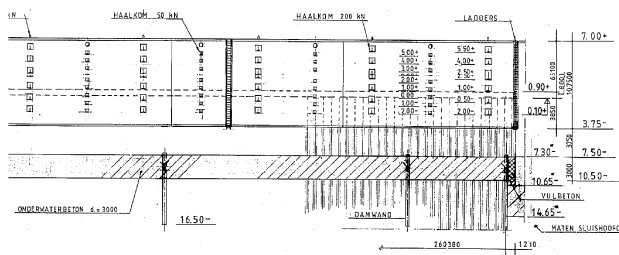
- Deuren: Tweezijdig kerende roldeuren met geschakelde deurkassen
- Hoofden: Dubbele betonbakken met daartussen beide deurkassen, op staal gefundeerd, voegen tussen hoofden en kassen, gebouwd in damwandkuip met onderwaterbeton
- Kolk: Hooggelegen L-wanden op palen met daaronder stalen damwanden
- Vloer van onderwaterbeton



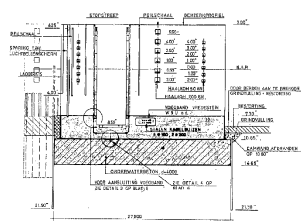
Dwarsdoorsnede kolken

Horizontale doorsnede sluishoofden

Dwarsdoorsnede sluishoofden



Langsdoorsnede kolk



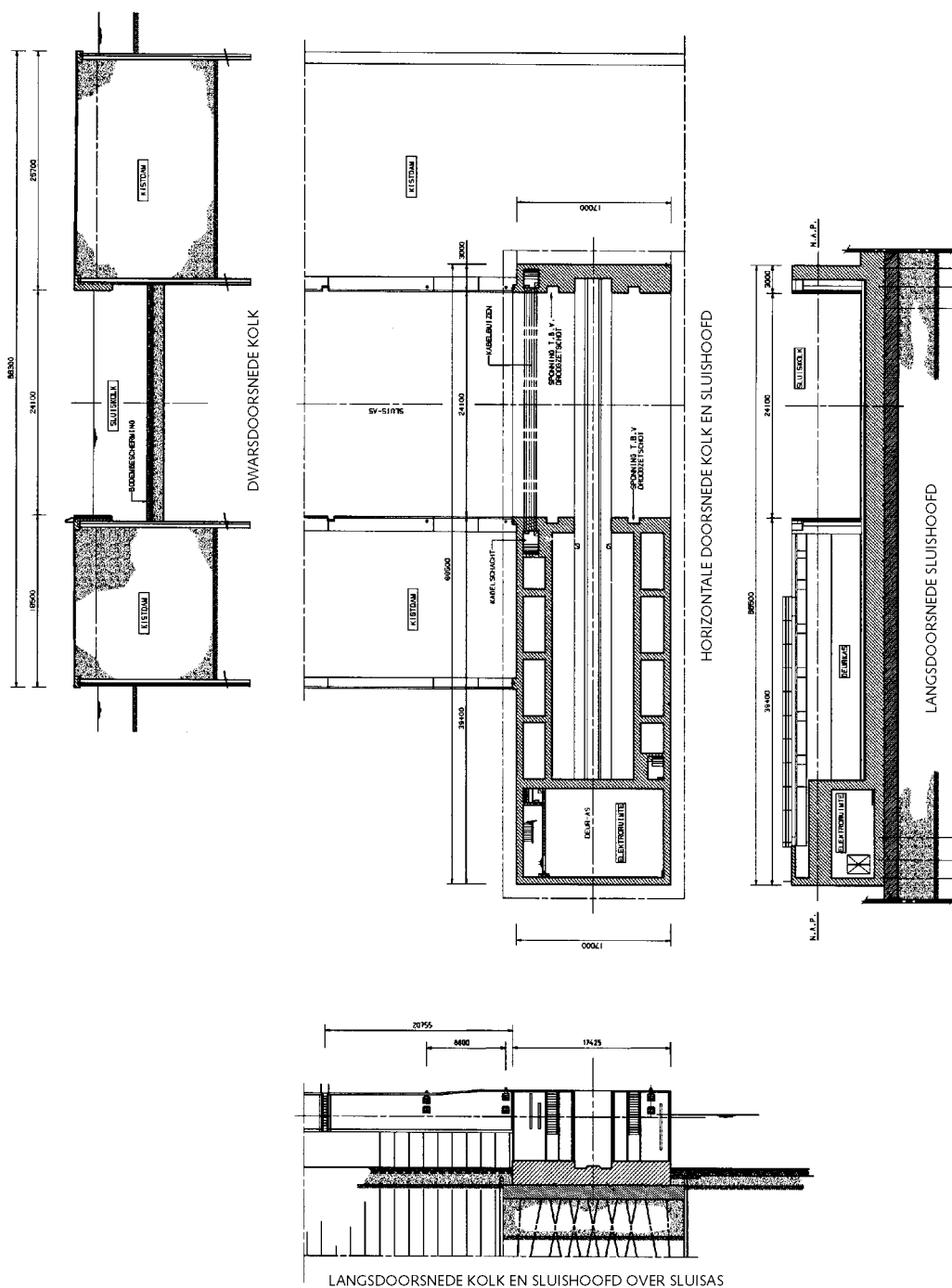
Langsdoorsnede F-F sluishoofd

Nieuwe Oranjesluis te Amsterdam (fig. 13.28)

Deurtypen: Tweezijdig kerende glijdeuren

Hoofden: Monoliete betonbak, gefundeerd op palen, gebouwd in damwandkuip met onderwaterbeton

Kolk: Damwanden, verankerd als kistdam, met betonnen voorwand met voegen
Vloer uitgevoerd als open steenbestorting



Kolk: Hooggelegen L-wanden op palen met voegen dwars op sluisas, daaronder stalen damwanden. Vloer van onderwaterbeton



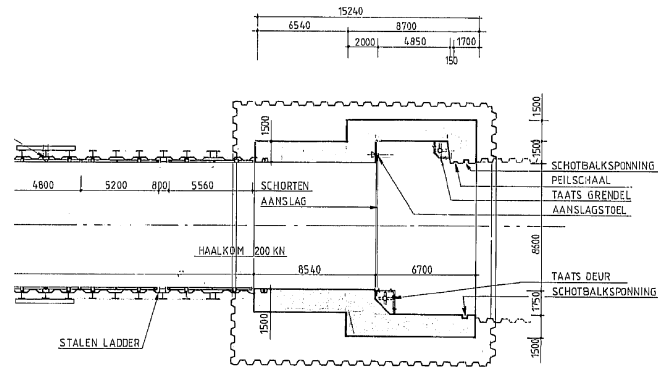
Schutsluis te Nieuwe Statenzijl (fig. 13.30)

Deurtypen: Tweezijdig kerende enkele draaideuren, dubbel uitgevoerd aan buitenzijde

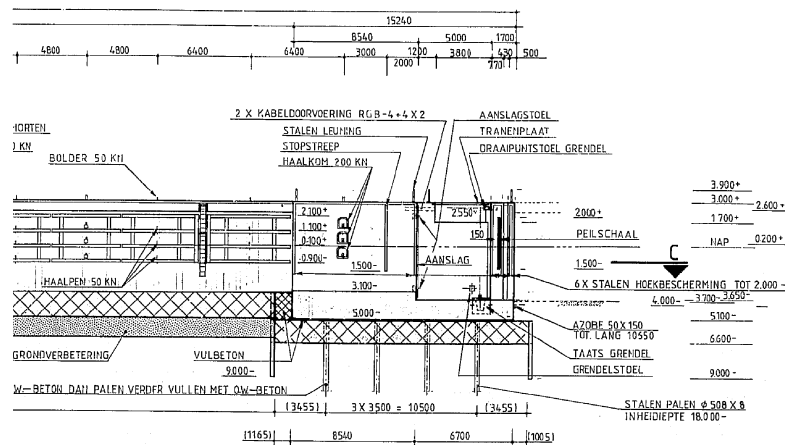
Hoofden: Monoliete betonbak, gefundeerd op palen, gebouwd in damwandkuip

Kolk: Verankerde stalen damwanden, bekleed met houten schorten

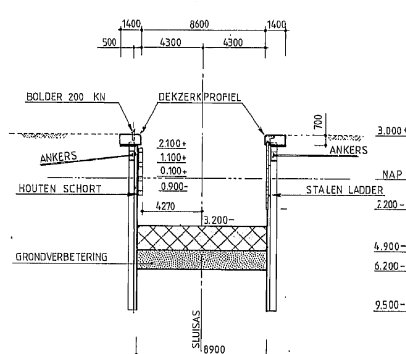
Vloer van onderwaterbeton op grondverbetering



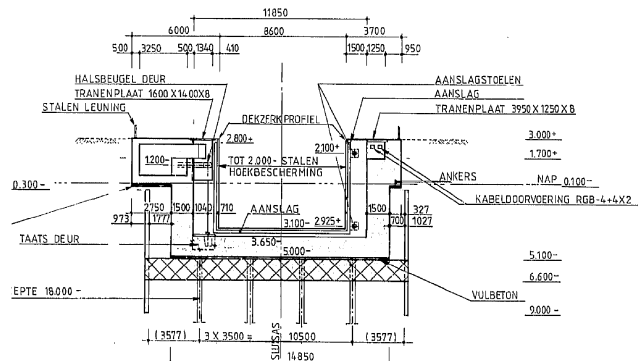
Horizontale doorsnede C kolk en binnenhoofd



Langsdoorsnede kolk en binnenhoofd over sluisas



Dwarsdoorsnede kolk

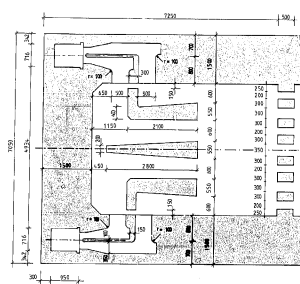


Dwarsdoorsnede binnenhoofd

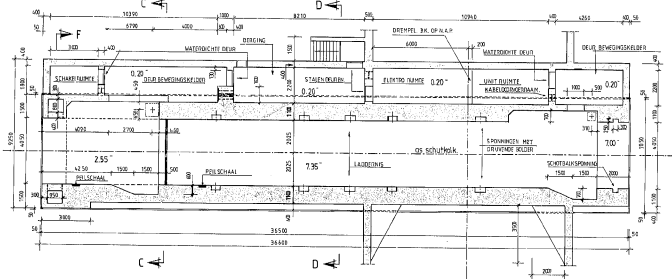
Schutsluis Almere-Haven (fig. 13.31)

Deurtypen: Eenzijdig kerende enkele draaideuren (deur bovenhoofd van staal en deur benedenhoofd van hout)

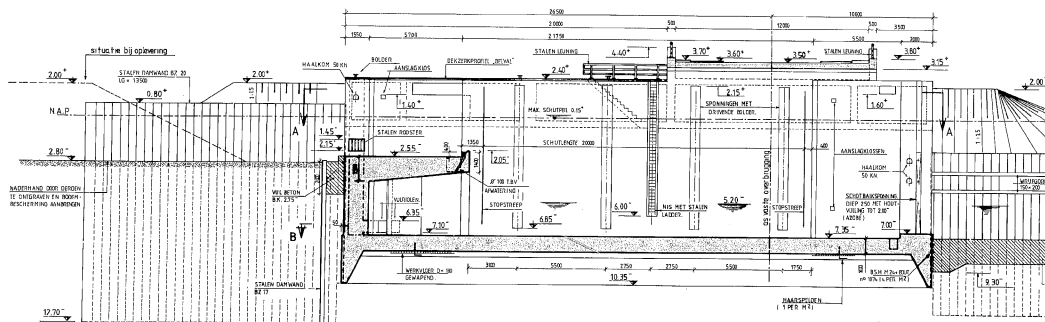
Hoofden/kolk: Hoofden vormen met kolk één monolithische betonbak, gebouwd op maaiveld en pneumatisch afgezonken



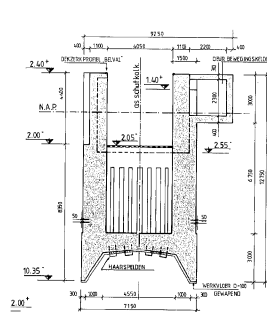
Horizontale doorsnede B woelkelder



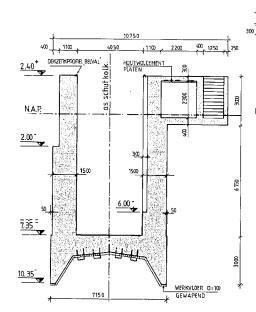
Horizontale doorsnede A-A



Langsdoorsnede over sluisas



Dwarsdoorsnede C-C bovenhoofd



Dwarsdoorsnede D-D kolk

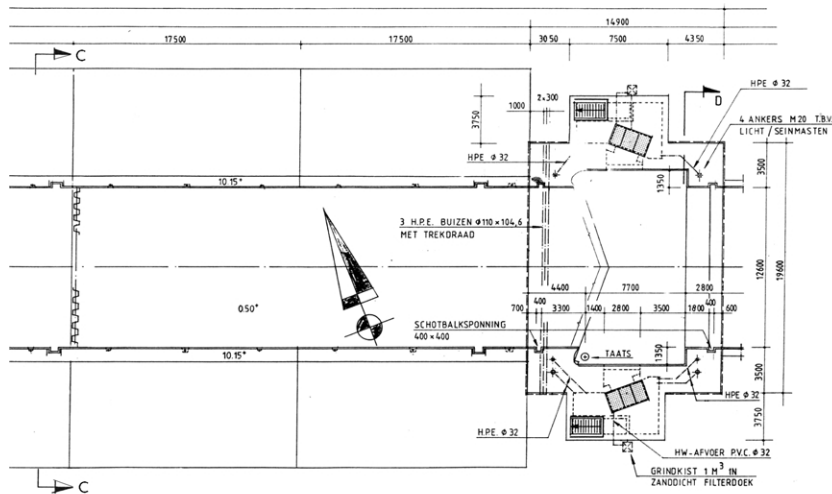
Schutsluis te Schijndel (fig. 13.32)

Deurtypen: Eenzijdig kerende puntdeuren

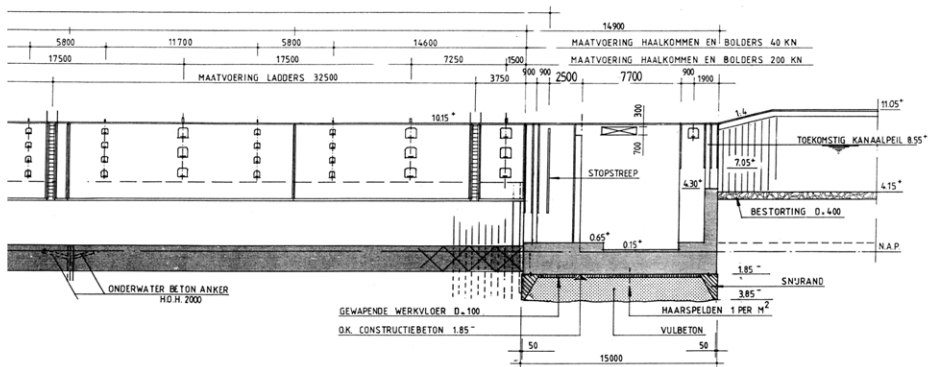
Hoofden: Monoliete betonbak, gebouwd op maaiveld en pneumatisch afgezonken

Kolk: Wanden uitgevoerd met hooggelegen betonnen L-wanden op palen en voorzien van voegen dwars op sluisas, met daaronder stalen damwand

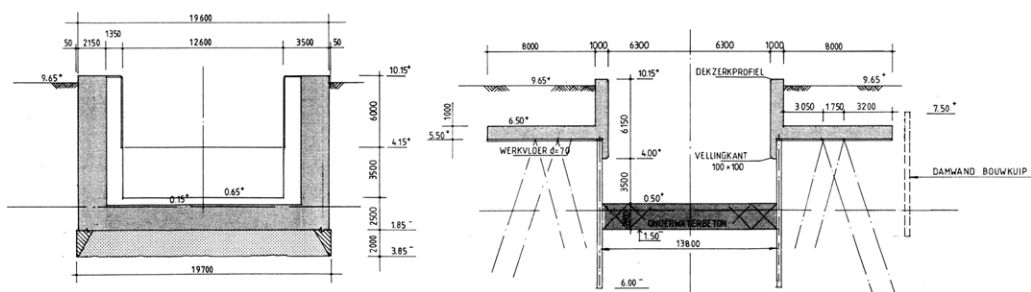
Vloer van onderwaterbeton



Bovenaanzicht kolk en bovenhoofd



Langsdoorsnede kolk en bovenhoofd



Dwarsdoorsnede D-D bovenhoofd

Dwarsdoorsnede C-C kolk

Vloer van onderwaterbeton met trekpalen



Krabbersgatssluisen, uitgevoerd als een aquaduct (fig. 13.34)

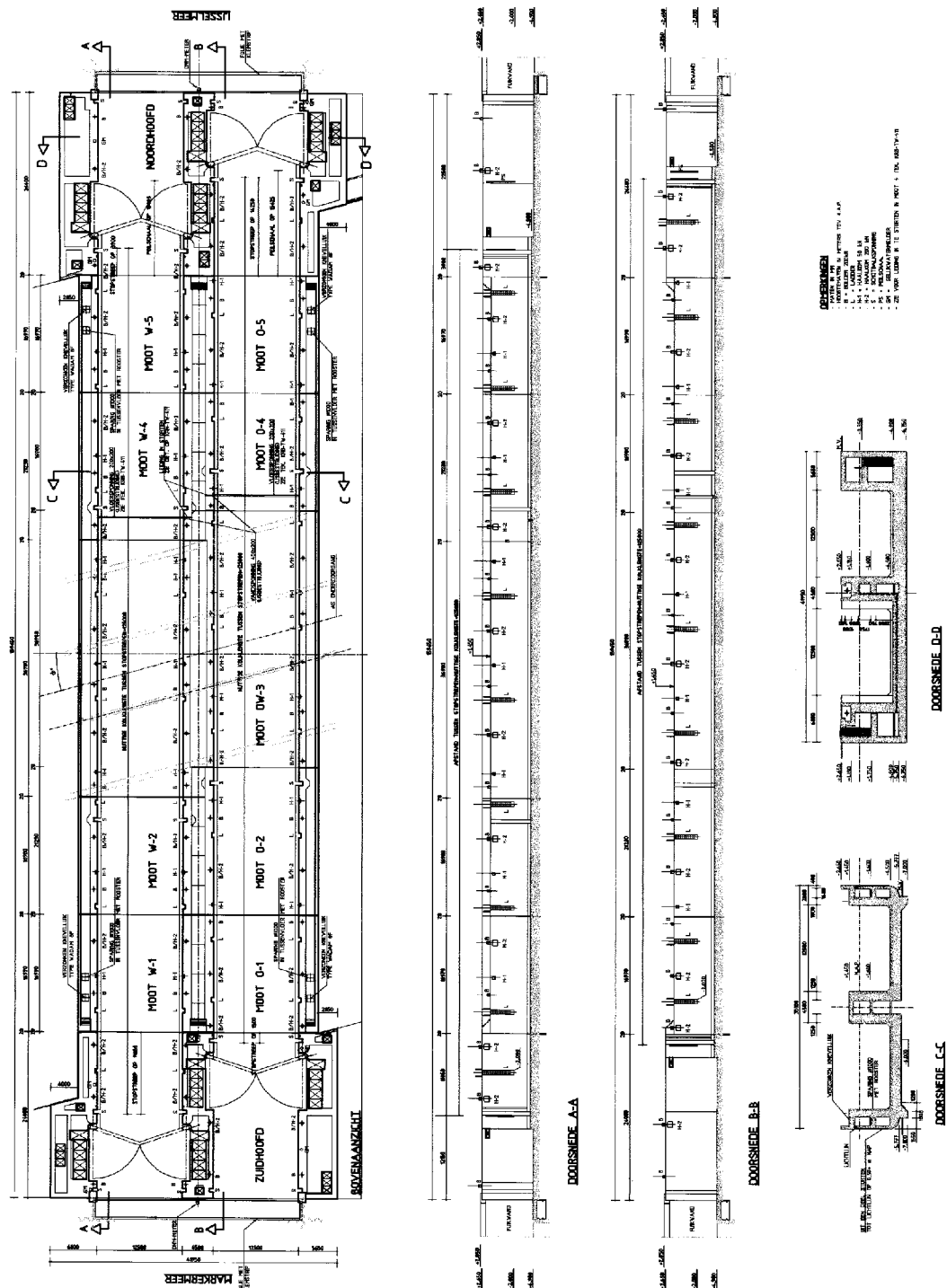
Deurtypen: Tweezijdig kerende puntdeuren

Hoofden: Monoliete betonconstructies van twee naast elkaar gelegen hoofden, gebouwd in open bouwput en gefundeerd op staal op een zandaanvulling

Kolk: Twee U-vormige betonbakken met zijwanden in de open lucht en onderdoorgang voor wegverkeer, gebouwd in open bouwput en gefundeerd op een zandaanvulling.

Constructie bestaat uit een middenmoot met onderdoorgang als monoliet en aan weerszijden hiervan twee zijmooten gescheiden met dilatatievoeg met stalen deuvels. De middenmoot is wel en de zijmooten zijn niet in langsrichting gekoppeld.

Resultaat: Drie starre blokken, die beide hoofden en middenmoot/onderdoorgang vormen, die door middel van flexibele verbindingen, bestaande uit de niet-gekoppelde zijmooten, met elkaar verbonden zijn.



Appendix 13.1 Pneumatisch afzinken van sluishoofden

Door ing. R.P. Bongers en ing. G.W.J. van de Haterd, Bouwdienst Rijkswaterstaat

Tekst eerder gepubliceerd in Cement 1995/5, illustraties van Tweede sluis Lith



Foto 13.16 Tweede schutsluis Lith in aanbouw met caissons voor beide sluishoofden; op achtergrond eerste schutsluis

Inleiding

Voorals gevolg van de beperkte mogelijkheden voor het onttrekken van grondwater uit de bodem, waardoor het toepassen van open bouwputten nauwelijks meer mogelijk is, wordt bij de bouw van sluisen het pneumatisch afzinken steeds meer toegepast. Voorbeelden zijn de recreatiesluis bij Almere (fig. 13.31), de schutsluizen Helmond en Schijndel (fig. 13.32) in de Zuid-Willemsvaart en de Tweede sluis Lith in de Maas (fig. 13.33).

Bij een beschouwing over de mogelijke bouwmethoden voor een sluis moet onderscheid gemaakt worden tussen de bouw van de beide sluishoofden en de bouw van de tussenliggende kolk. Voor beide onderdelen gelden verschillende voorwaarden, zodat ook verschillende bouwmethoden mogelijk zijn. In verband met de vormgeving en de op te nemen belastingen moet een sluishoofd bestaan uit een monolithische betonconstructie. Bovendien moet deze constructie in den droge worden afgebouwd, onder meer voor het aanbrengen van de aanslag- en afdichtingsconstructies en de draaipunten voor de sluisdeuren. Bij de bouw van de sluiskolk zijn deze voorwaarden niet van belang. Het afzinken van constructies bij de bouw van een sluis zal in het algemeen dan ook beperkt blijven tot het afzinken van de sluishoofden.

Bouwmethoden

Voor de bouw van de sluishoofden, die in het algemeen bestaan uit een U-vormige, monolithische betonconstructie, zijn in hoofdzaak drie bouwmethoden te onderscheiden:

- Het maken van een open, met een bemalingsinstallatie droog te houden bouwput, waarin de sluisconstructies worden gebouwd;

- Het maken van een bouwkuip, bestaande uit bijvoorbeeld stalen damwanden en een vloer van onder water gestort beton, waarin na droogpompen de sluishoofden worden gebouwd;
- Het bouwen van de sluishoofden op maaiveldniveau, die hierna pneumatisch tot de gewenste diepte worden afgezonken.

De 'open bouwput-methode' is een eenvoudige en vaak goedkope wijze van bouwen. Als gevolg van de strengere eisen die worden gesteld aan het onttrekken van grondwater en de mogelijke gevolgen hiervan, is het nauwelijks meer mogelijk deze bouwmethode toe te passen. Soms wordt de methode nog toegestaan, mits een retourbemaling wordt toegepast. Dan wordt de bouwmethode financieel echter minder aantrekkelijk.

De 'bouwkuipmethode' is een veel toegepaste methode. Voor uitvoering van de bouwkuip zijn verschillende mogelijkheden beschikbaar. Zo kunnen de wanden worden geformeerd met stalen damwanden of betonnen diepwanden en worden verankerd door verankeringsconstructies buiten de bouwkuip (ankerstangen, groutankers en dergelijke) of stempelconstructies binnen de bouwkuip. Afhankelijk van de grondsamenstelling en -opbouw en de heersende waterspiegel, moet in de kuip een bodemafluiting worden gerealiseerd. Dit kan onder meer plaatshebben door het aanbrengen van een waterafsluitende laag in de ondergrond (chemische injectie) of door het aanbrengen van een vloer in de kuip. Afhankelijk van de omstandigheden kan de vloer worden uitgevoerd als 'gewichtsvloer' of moet deze worden verankerd met trekpalen of groutankers.

Bij de 'pneumatische afzink-methode' wordt de betreffende constructie, de 'caisson', gebouwd op een niveau boven de heersende grondwaterstand. Vervolgens wordt de constructie tot de gewenste diepte afgezonken. Het principe van pneumatisch afzinken is, dat de grondlagen onder de caisson worden losgespoten en weggezogen, waardoor de caisson in de grond wegzakt. De ruimte onder de caisson wordt droog gehouden door daarin een zodanige luchtoverdruk aan te brengen, dat evenwicht ontstaat met de grondwaterdruk.

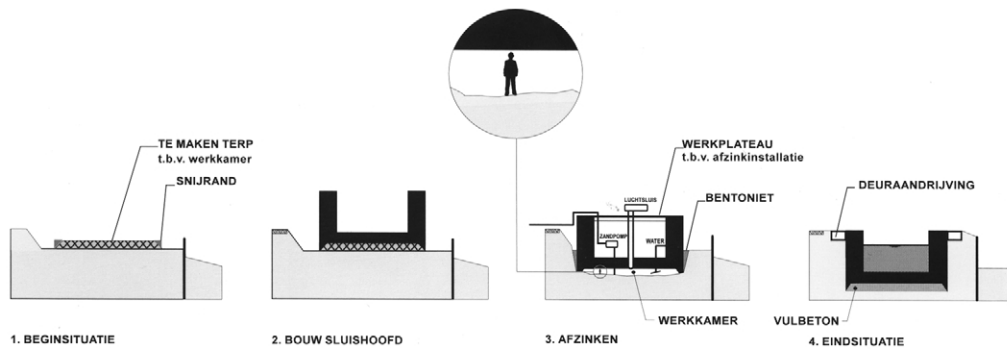
De vormgeving van het sluishoofd moet zijn aangepast aan het afzinken. Zo moet onder de vloer een werkkamer aanwezig zijn voor het lossputten van grond. Deze ruimte wordt gecreëerd door rondom onder de vloer zogenaamde snijranden aan te brengen. Deze randen zijn circa 2 m hoog en hebben een onderbreedte van circa 0,25 m; ze verlopen aan de binnenzijde onder circa 60° naar de onderkant van de vloer. In de vloer moeten sparingen worden aangebracht voor de toegang naar de werkkamers, de doorvoer van kabels, water- en afvoerleidingen, ontluchtingen en dergelijke. Indien de constructie niet op staal kan worden gefundeerd, kunnen voorafgaande aan de bouw van de caisson palen in de grond worden gebracht, waarop de constructie na afzinken komt te rusten.

De pneumatische afzinkmethode kent een aantal voordelen ten opzichte van de andere bouwmethoden. De belangrijkste hiervan zijn:

- geen grondwateronttrekking
- zuiniger gebruik van materiaal: geen stalen damwanden, trekpalen, verankeringsconstructies en dergelijke nodig. Wel is extra constructiebeton benodigd voor de snijranden en vulbeton voor de vulling van de werkkamer;
- kortere bouwtijd;
- ontbreken van geluidsoverlast, heitellingen en dergelijke, waardoor de hinder voor de omgeving wordt beperkt.

Bij een economische afweging van de bouwkuip-methode en de pneumatische afzink-methode blijkt in het algemeen dat bij toenemende diepte van het funderingsniveau van de constructie, de pneumatische afzink-methode aantrekkelijk wordt. De reden hiervoor is dat de benodigde hulpconstructies en voorzieningen nauwelijks worden beïnvloed door de toenemende diepte, terwijl bij de bouwkuip-methode alle constructies zwaarder moeten worden uitgevoerd naarmate de diepte toeneemt. De afweging van de methoden kan overigens in grote mate worden beïnvloed door de lokale omstandigheden.

Pneumatische afzinkmethode



Figuur 13.35 Stadia van pneumatische afzinkmethode

Eenzijds wordt de vormgeving van het sluishoofd mede bepaald door het pneumatische afzinken, anderzijds stelt de functionaliteit van het sluishoofd bepaalde eisen aan het afzinken.

Veelal worden caissons als doosvormige constructie uitgevoerd, maar een sluishoofd is een U-vormige bakconstructie zonder kopwanden. Hierdoor is de constructie wringslap en kunnen er tijdens het afzinken grote spanningen in optreden door ongelijkmatige opleggingen en zettingen.

Door de uiteindelijke functie van het sluishoofd als waterkerende constructie, waarvoor sluisdeuren, draaipunten en aanslagen binnen zeer geringe toleranties moeten worden aangebracht, moeten strenge eisen worden gesteld aan de uiteindelijke stand van de afgezonden caisson. Hierbij moet worden gedacht aan maximale afwijkingen in het horizontale en verticale vlak van circa 50 mm op de hoekpunten, waarbij de afwijking is samengesteld uit verschuiving, kanteling en rotatie van de caisson.



Foto 13.17 Caisson tijdens het afzinken (Tweede sluis Lith)

In het algemeen wordt bij deze bouwmethode aangevangen met de bouw van de caissons op het maaiveld of in een open bouwput, waarbij het bodemniveau boven het grondwater blijft (foto 13.7). Na het afzinken van de caissons kan de afbouw plaatshebben en kan de tussenliggende kolkconstructie worden gebouwd.

Begonnen wordt met het aanbrengen van een zandterp, die dient als 'mal' voor de werkkamer (fig. 13.38). Hierna worden de snijranden, de vloer en de wanden van het sluishoofd gestort. Nadat de betonconstructie gereed is, worden in beide kopse zijden tijdelijke grond- en waterdichte schotten geplaatst. Hiervoor kunnen afgestempelde stalen damwandplanken of betonschotten worden gebruikt. De nodige aandacht moet hierbij worden besteed aan het waterdicht maken ervan.

Voordat het afzinken van een caisson kan beginnen, moeten onder meer de toegangsschacht met luchtsluis, compressoren, drukvaten, ontluichtingsventielen, afzuiginstallaties, elektrische installaties, pompen, de aanvoerleiding van water en de afvoerleiding voor het water-zandmengsel worden aangebracht. Ook moet een depot worden ingericht waar de vrijgekomen specie kan bezinken.

In eerste instantie wordt het zand onder atmosferische druk 'handmatig' uit de werkkamer verwijderd. Zodra het mogelijk is, worden spuitkanonnen en pompen aangesloten en kan het spoelen en afvoeren van grond met gesloten luchtsluizen starten. Naarmate de caisson dieper zakt, wordt de luchtdruk zodanig opgevoerd, dat deze in overeenstemming is met de stijghoogte van het grondwater.



Foto 13.18 Onder atmosferische luchtdruk verwijderen van zand onder de caisson (Tweede sluis Lith)

Om de caisson te laten zakken moet onder de snijranden de bezwijkbelasting van de grond worden bereikt. Het eigen gewicht van de constructie en de hulpmiddelen zorgen hierbij voor de neerwaartse belasting. De tegenwerkende krachten zijn de wrijving tussen de wanden en grond en de luchtoverdruk aan de onderzijde van de vloer. De wrijving en de luchtdruk nemen toe naarmate de caisson dieper zakt. Om de wrijving zoveel mogelijk te beperken, wordt de vloer 5 cm breder gemaakt dan de wanden, waardoor tijdens het zakken een spleet ontstaat. Deze spleet wordt volgepompt met bentoniet. Indien de aanwezige neerwaartse belasting onvoldoende is om de bezwijkbelasting te bereiken moet ballast worden aangebracht.

Het bereiken van de bezwijkbelasting is niet alleen afhankelijk van de belastingen, maar ook van de vormgeving van de snijranden en van de mate waarin de grond bij deze randen wordt weggezogen. Vandaar dat het wegzuigen van grond bij de randen tijdens het zakken van de caisson als stuurmiddel wordt gebruikt. Daarnaast kan het zakken worden beïnvloed door gedurende een korte periode snel luchtdruk af te laten. Hierdoor nemen de oplegdrukken onder de snijranden sterk toe, terwijl het grondwater, vanwege de beperkte doorlatendheid van de grond, niet de kans krijgt in de werkkamer toe te treden.



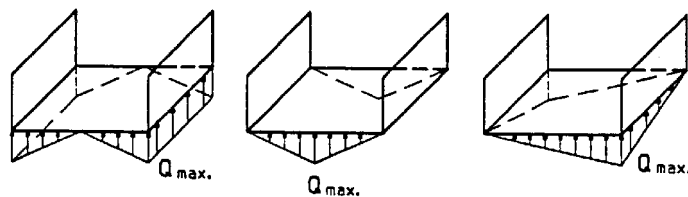
Foto 13.19 Onder verhoogde luchtdruk wegspoelen van grond met spuitkanonnen onder de caisson
(Tweede sluis Lith)

Nadat de caisson de vereiste diepte heeft bereikt, wordt de werkkamer gevuld met beton. Een volledige vulling kan worden bereikt door voldoende te ontlichten via de in de vloer aanwezige ventielen en door op de betonmassa enige overdruk aan te brengen. Bij de gebouwde sluizen in de Zuid-Willemsvaart heeft het afzinken van elk sluishoofd circa 15 werkdagen in beslag genomen. Hierbij is circa 2800 m³ grond verwijderd en is de caisson over een diepte van circa 9,50 m naar beneden gebracht. De uiteindelijke afwijkingen van de plaats van de caissons zijn hierbij ruim binnen de gestelde eisen gebleven. In hoogterichting bedroeg de afwijking ten opzichte van de theoretische maat op enig hoekpunt maximaal 10 mm en in langs- en dwarsrichting maximaal 35 mm. De kanteling (helling) in langs- en dwarsrichting was kleiner dan 0,4 ‰.

Berekening van de sluishoofden

Bij de berekening van sluishoofden die pneumatisch worden afgezonken moet, naast de gebruikelijke belastinggevallen die voortkomen uit gebruikssituatie, rekening worden gehouden met een aantal specifieke belastingen die worden veroorzaakt door het afzinken;

- het eigen gewicht van de caisson, inclusief afzinkinstallatie;
- eventueel ballast (bijvoorbeeld door het gedeeltelijk met water vullen) ter vergroting van de neerwaartse belasting;
- wandwrijving op de zijwanden en kopvlakken;
- belasting op de wanden door grond- en waterdruk (of eventueel bentoniet)
- overdruk in de werkkamer.



Figuur 13.36 Mogelijke tegendrukken tijdens afzinken

Tijdens het afzinken moet ook rekening worden gehouden met:

- ongelijkmatig dragen van de snijranden op de ondergrond. Dit wordt veroorzaakt door onregelmatigheden in de grondslag (hoe stijver de grond, hoe meer de tegendruk ongelijkmatig verdeeld langs de omtrek kan optreden) en/of het ongelijkmatig wegsputten van de ondergrond. Voor de berekening is uitgegaan van de in figuur 13.36 weergegeven tegendrukken;
- scheefstand van de caisson. Dit kan optreden door het ongelijkmatig dragen van de snijranden. De caisson kan dan gaan scheefstaan en op een wand gaan 'leunen'. De horizontale gronddruk wordt dan plaatselijk hoger dan de neutrale gronddruk en kan zelfs passief worden. Aan deze scheefstand is in het bestek een grens gesteld van maximaal 1% met de verticaal.

De meest ongunstige situaties doen zich voor:

- in de eerste fase van het afzinkproces als de grond in de werkkamer vanaf de toegangssluis in het midden van het caisson naar de snijranden toe is verwijderd. Er is in de werkkamer dan nog geen verhoogde druk aanwezig en het eigen gewicht draagt dan volledig op de snijranden;
- in de laatste fase als de caisson vrijwel op diepte is en de overdruk in de werkkamer wordt afgelaten om het afzinkproces te voltooien. Het eigen gewicht van de caisson inclusief ballast wordt dan vrij plotseling van het 'luchtkussen' overgebracht op de snijranden.

De krachtsverdeling als gevolg van het afzinkproces is bij de sluishoofden van Helmond en Schijndel bepaald met behulp van het eindige-elementenprogramma DIANA. Voor de snijranden, vloeren en wanden is gebruik gemaakt van het schaalement CQ40S en voor de snijrandoplegging van het veerelement

. Gegeven de grote constructie-afmetingen had ook gekozen kunnen worden voor volume-elementen. Het voordeel van schaal-elementen ten opzichte van volume-elementen was echter dat de wapeningsmomenten direct geplot konden worden.

Ter controle van de elementen-berekening zijn met handberekeningen de reacties van de snijrandopleggingen en de momentensommen voor een aantal maatgevende doorsneden bepaald.

Voor wat betreft de afzinkfase is bij de dimensionering van de sluishoofden van Helmond en Schijndel uitgegaan van een veiligheidscoëfficiënt van 1,4. Bij het ontwerp van de sluishoofden van de Tweede sluis Lith is gewerkt met de nieuwe voorschriften. Hierbij is voor de afzinkfase gerekend met de materiaal- en belastingfactoren die behoren bij veiligheidsklasse 2.

Bij de dimensionering van de sluishoofden van Helmond en Schijndel bleek dat met name het ongelijkmatig dragen van de snijranden heeft geleid tot extra wapening in vergelijking met de benodigde wapening die volgde uit de berekening van de gebruiksfase.

Bij de bepaling van de langswapening in de snijranden is ervan uitgegaan dat deze, afhankelijk van de belastingcombinatie, als druk- of trekwapening werkt.

De wringende momenten, veroorzaakt door het belastinggeval overhoeks dragen, leidde op sommige plaatsen in de vloer tot circa 20% extra wapening.

Ten slotte

Gebleden is dat voor sluishoofdconstructies het pneumatisch afzinken, afhankelijk van de lokale omstandigheden, voordelen kan bieden ten opzichte van andere bouwmethoden.

Kenmerkend hierbij is enerzijds het ontbreken van problemen ten aanzien van grondwateronttrekking en anderzijds het economisch voordeel dat toeneemt met de diepte van het funderingsniveau.

Doordat bij de sluishoofden de constructie wringslap is, is het noodzakelijk inzicht te krijgen in de krachtsverdeling onder invloed van de afzinkbelastingen. Zowel de krachtsverdeling als de wapening is zeer goed te bepalen met behulp van een eindige-elementen berekening.



Foto 14.1 Kistdam als beëindiging middeneiland van sluiscomplex

Hoofdstuk 14 **Grondkerende constructies**

14.1 Inleiding

Bij schutsluizen worden veelvuldig grondkerende constructies toegepast. Aan de ene zijde van deze constructies bevindt zich grond en aan de andere zijde het water in de sluiskolk, sluishoofd of voorhaven. De grondkerende constructie die in dit hoofdstuk behandeld wordt, is een vrijstaande of verankerde wand die grond en water keert. De constructie van de betonnen U-bak die voor de sluishoofden en ook wel voor de sluiskolk wordt toegepast, keert uiteraard ook grond en water maar wordt in dit hoofdstuk niet behandeld (zie hoofdstuk 13).

De grondkerende constructie bestaat uit een vrijstaande of verankerde enkele wand die meestal opgebouwd is uit losse, onderling gekoppelde stalen damwandplanken of uit in de grond gemaakte, gewapend betonnen diepwanden. Deze dam- of diepwanden zijn verankerd met ankerwanden, groutankers, e.d. en worden vaak op elkaar afgestempeld door een onderwaterbetonvloer. Een ander type grondkerende constructie bij schutsluizen is de combinatie van een hooggefundeerde betonnen L-muur waarbij de vloer gefundeerd is op palen, met daaronder een damwand als grondkering.

Grondkerende constructies worden veel toegepast als kolkwand, als vleugelwand of fuikwand van sluishoofden en als oeverwand. De vleugelwand is de wand die van het sluishoofd haaks aansluit op de oever, de fuikwand loopt vanaf het sluishoofd onder een flauwe hoek naar de oeverlijn of het sluiseland bij meerdere sluizen. Behalve de grondkerende functie heeft de wand ook andere functies zoals het opnemen van bolderkrachten en scheepsstoten en het tegengaan van onder- en achterloopsheid. De grondkerende constructies worden meestal voorzien van een bescherming zoals wrijfgordingen of een betonnen voorwand.

Damwandconstructies worden uitvoerig beschreven in CUR-rapport 166 ("Damwandconstructies") met als voornaamste aandachtspunten belastingen, rekenmodellen en uitvoering. Dit rapport wordt ook aanbevolen bij het ontwerp hiervan. Voor de uitvoering van diepwanden is een Europese norm beschikbaar (EN 1538) terwijl CUR-rapport 189 ("Cement-bentoniet schermen") ook enige informatie hierover geeft. Dit hoofdstuk is geen samenvatting van deze publicaties maar geeft meer in beschrijvende zin een opsomming van welke grondkerende constructies in aanmerking komen bij schutsluizen. Aan de orde komen ontwerpaspecten, belastingen, typen grondkerende constructies in voorhavens en schutkolken en uitvoeringsaspecten.

14.2 Ontwerpaspecten

Een grondkerende constructie bij een schutsluis is de verticale scheiding tussen het water van de schutkolk of de voorhaven en het omliggende terrein. Bij het ontwerp zijn vier functionele eisen van belang:

1. de wand dient voldoende sterk en stijf te zijn om de optredende vervormingen en spanningen binnen de gestelde eisen te laten voldoen;
2. de wand moet voldoende inheiddiepte hebben om aan de stabiliteitseisen te voldoen onder de mogelijke belastinggevallen, zoals kerende hoogte en waterstandsverschil;
3. een grote mate van waterdichtheid van de wand is nodig. Tevens moet onder- en achterloopsheid worden voorkomen (o.a. voldoende inheiddiepte);
4. de constructie moet de voorzieningen bevatten die vanuit nautisch gebruik van de sluis vereist zijn.

Aan de hand van deze criteria moet worden beoordeeld welke oplossingstypen geschikt zijn. Het ontwerpen is daarbij niet alleen een kwestie van sterkte en stijfheid van de wand. Tal van andere factoren zullen de revue passeren bij het genereren en beoordelen van de meest voorhanden zijnde alternatieven. Deze factoren kunnen per locatie sterk verschillen.

Belangrijke selectiecriteria die voor de keuze van een voorkeursvariant bepalend zijn:

- hoeveel grond moet gekeerd worden en welke waterstandsverschillen kunnen optreden;
- welke nevenfuncties zijn er naast de grondkerende functie zoals waterdichtheid voor onderloopsheid, afdragen bolderbelasting en scheepsstoten, terreinbelasting etc;
- hoe is de ondergrond opgebouwd en wat zijn de eigenschappen van eventuele grondaanvullingen;
- wat zijn toelaatbare vervormingen van de constructie in verband met minimum kolkbreedte en hoe star of elastisch moet de constructie zich gedragen voor scheepsstoten;
- wat is de vereiste levensduur van de constructie en wat zijn de onderhoudseisen;
- hoe is de afstemming met overige onderdelen van de sluis (onderwaterbeton vloer levert een stempelfunctie voor de damwand);
- de constructie moet uitvoerbaar (maakbaar) zijn:
 - is voldoende ruimte beschikbaar, ook voor de verankering;
 - is tijdelijke verlaging grondwaterstand mogelijk;
 - is trillings- en geluidshinder voor omgeving met aanwezige bebouwing toelaatbaar;
 - wordt de constructie in open water of in de grond gebouwd;
 - is droogzetten van de kolk vereist.
- esthetische en milieu eisen;
- kostenaspecten (investering en onderhoud).

Op basis van deze aspecten kan een overall-beeld worden verkregen over de geschiktheid van een bepaalde variant onder de gegeven omstandigheden.

Verder moeten in het ontwerp van de grondkering de toekomstige grondaanvullingen worden meegenomen. Zo zijn toekomstige terreinophogingen of graafwerkzaamheden direct achter de damwand van invloed op het ontwerp. In het ontwerp zal aangegeven dienen te worden hoe met het maaiveld langs de grondkering omgegaan mag worden.

14.3 Belastingen en grondgesteldheid

14.3.1 Belastingen

Voor een uitgebreide beschrijving van de belastingen wordt verwezen naar CUR-rapport 166 ("Damwandconstructies") en naar hoofdstuk 13 ("Betonconstructies en fundering"),

Grondbelastingen

Grondbelastingen bij damwanden zijn opgebouwd uit actieve en passieve gronddrukken van de afzonderlijke grondlagen en de resulterende (grond)waterdrukken. Aan de hoge zijde van de grondkering treden bij relatief flexibele keringen (zoals stalen damwanden) de actieve gronddrukken op; aan de lage zijde wordt de grond opgedrukt en treden passieve gronddrukken op. Bij meer starre constructies zoals diepwanden en L-muren, moet de neutrale gronddruk als belasting in rekening worden gebracht. (Opm. Hoger dan neutraal wordt vaak aangehouden voor constructies die zich bij hoger wordende temperatuur en zonbestraling kunnen opspannen tegen de grond zoals betonnen bakconstructies. Voor kademuren wordt neutrale gronddruk aangehouden)

Om evenwicht te kunnen bewerkstelligen dan wel om materiaal-economische redenen, is bij dam- en diepwanden meestal een verankeringsconstructie nodig.

Belastingen door waterstandsverschillen in vrij water en grondwater

Aan de grondkerende zijde van de damwand zal voor de hoogte van het grondwater uitgegaan worden van een representatieve waarde van de waterstand. Tevens dient rekening gehouden te worden met eventuele potentiaalstromingen van het water in de dieper gelegen zandlagen, waardoor de druk hoger of lager kan zijn dan de hydrostatische druk. Aan de waterkerende zijde van de damwand moet rekening gehouden worden met de extreme waterstanden in kolk en voorhaven. Golfbelastingen kunnen eveneens een kracht op de damwand uitoefenen, bijvoorbeeld een kracht die veroorzaakt wordt door wind of schepen.

Belastingen door ankerkrachten

Bij voorspanners kan de voorspanning als belasting meegenomen worden. Bij schuine ankers is de verticale component van de ankerkracht een belastingcomponent.

Bovenbelastingen

Dit kunnen zijn terreinbelastingen, verkeersbelastingen of belastingen door naastgelegen funderingen.

Scheepsstoten

De grote kortdurende krachten die door scheepsstoten ontstaan kunnen opgenomen worden door onderdelen van de constructie te laten meeveren (de zogenaamde 'zachte' constructies) of door een zogenaamde 'harde' constructie waarbij de energiedissipatie meer door hydrodynamica en huidindrukking gebeurt. In schutkolken wordt vanwege de lagere aanvaarbelasting veelal gekozen voor 'harde' constructies, in voorhavens van sluizen waar de damwand mogelijk onderdeel is van het remmingwerk dan wel het geleidewerk, zijn de scheepsbelastingen hoger en kan voor een 'verende' constructie worden gekozen.

Door het aanbrengen op de damwand van fenders met een grote vervormingscapaciteit, worden botskrachten gereduceerd tot aanvaardbare krachten die verder de constructie worden ingeleid.

Ijsbelastingen

Ijsbelastingen op verticale wanden kunnen groot zijn. Zeker in het geval waarbij de ijslaag is ingeklemd tussen twee wanden. Er dient voor gezorgd te worden, dat essentiële onderdelen van de constructie niet kunnen bezwijken door ijsbelasting. Het is aan te raden om ijsbelasting op de constructie zoveel mogelijk te vermijden. Als ijsbelasting dient een gemiddelde horizontaal werkende lijnlast te worden aangehouden ter grootte van 400 kN/m, in zoet water (zie CUR-rapport 166).

Bolderkrachten

Voor het afmeren van schepen aan de kolkwand en het liggen in de kolk zijn bolders en haalkommen nodig.

De bolderkrachten zijn afhankelijk van de grootte van het schip en de waterstroming in de kolk. Voor binnenvaartschepen zijn in de CVB Richtlijnen vaarwegen 1996 waarden voor de aan te houden bolderkrachten gegeven (Zie ook par. 17.3.4 en tabel 17.1 van dit boek). Voor bolderkrachten op de damwandconstructies kunnen ook de waarden aangehouden worden conform tabel 3.4 en 3.5 van CUR 166. De kracht kan zowel direct als indirect een belasting op de damwand veroorzaken. Afhankelijk van het aangrijpingspunt van de bolder achter de damwand kan een geconcentreerde last op de damwand ontstaan of, indien de bolder enkele meters achter de damwand gefundeerd staat, treedt een meer gespreide lijnlast op.

Indien er sprake is van een hooggelegen L-muur is het goed mogelijk om de bolders hieraan te koppelen en de belastingafdracht via de plaat te laten plaatsvinden.

14.3.2 Grondgesteldheid

Om de damwand te kunnen dimensioneren dienen de grondeigenschappen bekend te zijn. Deze moeten met onderzoek ter plaatse worden verkregen. Elke grondlaag heeft als grondkarakteristiek specifieke waarden. Met de grondparameters en de grondopbouw zijn de grondbelastingen te bepalen. Daarbij spelen specifiek voor de sluizenbouw een aantal factoren een rol, zoals:

- stijfheid van de grondkering in de vorm van een horizontale beddingsconstante per grondlaag;
- negatieve kleef op de damwand als gevolg van grondaanvullingen;
- ontlasting van de grond door ontgraving van de kolk;
- reductie grondbelasting door toepassen ontlastplaat;
- macrostabiliteit t.g.v. afschuiving langs diep glijdvlak of cikelvormig glijdvlak bepaalt de plaats van het ankerscherm/schot of de lengte van de groutankers;
- oorspronkelijk opgetreden voorbelastingen;
- voorkomen van onderloopsheid.

Voor het ontwerp van de grondkering dient gekeken te worden naar de opbouw van de grondlagen. De lengte van de damwand volgt in eerste instantie uit de stabiliteitseis, die grotendeels wordt bepaald door de grondgesteldheid. Tevens door de wijze waarop zal worden omgegaan met het tegengaan van onderloopsheid. Indien zich in de grond afsluitende lagen bevinden is de lengte van de damwand hierop af te stemmen.

De onderkant van de damwand mag niet terechtkomen in een niet-draagkrachtige grondlaag, omdat in verband met eventueel optredende negatieve kleef, de wand omlaag getrokken kan worden. Hierdoor kan de damwand los komen van de erboven gelegen bovenbouw. In verband met mogelijk optredende verschilzettingen zullen deze onderdelen onafhankelijk van elkaar verticaal moeten kunnen bewegen.

Een analyse van de grondopbouw zal tevens nodig zijn om de verankering te ontwerpen. Hierbij wordt gekeken naar draagkrachtige lagen om ankers in weg te zetten. Bij het toepassen van ankerschotten is het van belang dat de grondaanvulling aan de passieve zijde goed verdicht wordt. Bij ophogingen aan de actieve zijde van de grondkering gaat een voorkeur uit naar het toepassen van groutankers, die in ongeroerde grond moeten zijn verankerd. Bij de keuze van het type verankering speelt met name de beschikbare werkruimte mee, die nodig is om ankers in aan te brengen. Afhankelijk van de afstand tussen de damwand en de eigendomsgrens van het sluisterrein kunnen groutankers of ankers met schermen worden toegepast of kan een alternatieve verankering, zoals bijvoorbeeld een kistdamconstructie, geschikt zijn.

Een voordeel bij het gebruik van groutankers is dat zij onder een grote hoek met de horizontaal in de grond kunnen worden gebracht. Een ander voordeel is dat groutankers bij renovatie van constructies veel rendabeler zijn dan het systeem met ankerschotten en -schermen. Er behoeft dan niet te worden ontgraven om de ankers met het ankerschotsysteem te vervangen of te verwijderen. Met groutankers is een diepe draagkrachtige laag te bereiken. Het rendement van het groutanker, dat onder een grote hoek is geplaatst, neemt dan echter sterk af. Groutankers zijn minder hoog te belasten bij het optreden van dynamische of wisselende belastingen, die bij sluizen altijd in enige mate zullen optreden door watersstandsverschillen en scheepsinteracties.

14.4 Typen grondkerende constructies

14.4.1 Stalen damwand

Bij lage grondkeringen waarbij enige vervorming is toegestaan, kunnen stalen damwandprofielen goed functioneren. Het damwandscherm wordt in de regel met een verankering toegepast. Als verankering komen diverse systemen in aanmerking. Twee veel voorkomende verankeringen bij stalen damwanden zijn ankers met ankerscherm of -schotten en groutankers.



Foto 14.2 Stalen damwand met ankerscherm, sluiscomplex Lith

Om een beeld te krijgen in welke situaties damwandprofielen geschikt zijn als grondkering is een beschrijving opgesteld van de voor- en nadelen van stalen damwandprofielen.

De voordelen zijn:

- gestandaardiseerde profieltypen;
- vrijwel waterdicht scherm door goede onderlinge koppeling van de planken door middel van sloten;
- eenvoudig te ontwerpen;
- korte bouwtijd;
- eenvoudig in de grond aan te brengen;
- gemakkelijk te combineren met verankeringen;
- geringe ruimte nodig, geen grote ontgravingen;
- dicht tegen bestaande belendingen te plaatsen;
- hergebruik bij tijdelijk werk is mogelijk;
- om trillingshinder en ook geluidshinder te minimaliseren kunnen de planken in de grond worden gedrukt;
- onderdelen van de constructie zijn eenvoudig achter te laten door de damwand af te branden;
- kosten zijn relatief laag (ten opzichte van diepwand) door toepassen van een eenvoudige stelling voor de uitvoering;
- voor hoge grondkeringen zijn zwaardere profieltypen mogelijk in de vorm van bijvoorbeeld een combiwand (buispalen met tussenplanken).

De nadelen zijn:

- invloed op de omgeving bij intrillen van planken (in de directe omgeving kunnen zettingen van de grond optreden);
- het uit het slot lopen van de planken is niet waar te nemen, en is moeilijk te herstellen;
- indien diep gelegen stenen puinresten (oude fundaties) kunnen voorkomen zijn stalen damwanden niet toepasbaar;
- bij heien van de damwandplanken is kans op schade aanwezig bij zeer compacte grondlagen;
- bij heien van stalen damwand met dieselblok treedt veel geluidshinder op;
- geen stijve constructie, vervormingen zijn relatief groot;
- duurzaamheid relatief laag in verhouding tot een betonnen constructie;
- corrosiegevoelig, milieu-omgeving bepalend voor levensduur;
- onderhoud beperkt mogelijk;
- de constructie heeft een gering verticaal draagvermogen;
- na het trekken van damwandplanken ontstaan geringe grondverstoringen van afsluitende grondlagen, waardoor de grond ontspant (tijdelijk werk);
- verankering van de damwand vereist een groot ruimtebeslag.



Foto 14.3 Stalen damwand als kistdam, sluis Nieuwe Statenzijl

Een kistdamconstructie (foto 14.3) ontstaat bijvoorbeeld als bij twee naast elkaar gelegen sluizen de kolkwanden die bestaan uit stalen damwanden, onderling gekoppeld worden. De stabiliteit wordt hierbij mede ontleend aan het tussen de damwanden gelegen grondmassief. De twee damwandschermen kunnen op korte onderlinge afstand van elkaar geplaatst worden. Scheidingen in voorhavens worden nogal eens als kistdam uitgevoerd. Voor de dimensionering wordt verwezen naar de uitgebreide beschrijvingen in het CUR-rapport 166.

14.4.2 Betonnen damwand

Voor een betonnen damwand wordt gebruik gemaakt van geprefabriceerde damwandplanken met een hoge betonsterkte. De planken zijn met elkaar verbonden door een soort messing- en groefverbinding die echter geen trekkrachten op kan nemen. Om het scherm waterdicht te maken moeten de voegen met een groutmengsel geïnjecteerd worden. Probleem is dat de planken tijdens het heien kunnen wij-

ken door het ontbreken van een slot waardoor de grond- en waterdichtheid van de wand in gevaar komen. Betonnen damwanden vinden (nog) geen toepassing in schutsluizen.

De voordelen zijn:

- hoog verticaal draagvermogen;
- korte bouwtijd;
- grote duurzaamheid.

De nadelen zijn:

- grote grondkeringen zijn niet mogelijk
- planken kunnen tijdens het aanbrengen van elkaar wijken;
- waterdichtheid twijfelachtig;
- trillingshinder tijdens het aanbrengen.

14.4.3 Houten damwand

Houten damwanden worden alleen toegepast bij zeer kleine schutsluizen. Een mogelijke toepassing is als onderloopsheidscherm, waarbij de damwand zich geheel onder water bevindt. De houten damwand kan dan onbehandeld worden toegepast. Een andere toepassing is die van beschoeiing langs de kanaaloever.

14.4.4 Diepwand



Foto 14.4 Aanleg diepwanden van kolk van Tweede sluis te Lith



Foto 14.5 Aanbrengen wapening voor diepwanden van kolk van Tweede sluis te Lith

Na het ontgraven van een sleuf in de grond (foto 14.4), waarbij een steunvloeistof (bentoniet) wordt gebruikt voor het stabiel houden van de open sleuf, wordt een gewapend-betonnen wand gestort (foto 14.5). Er kunnen wanddikten gerealiseerd worden tot 1 à 1,2 meter en meer. Gebruikelijke afmetingen zijn 0,60 à 0,80 m. De diepwand is vooral geschikt om zowel als grondkering te functioneren als opgenomen te worden in de definitieve constructie, waarbij de wand onderdeel kan uitmaken van de fundering. Diepwanden worden toegepast bij bouwwerken die grotendeels onder maaiveld liggen (parkeergarages, tunnelbakken, sluiskolken en dergelijke)

De voordelen zijn:

- grote buigstijfheid;
- grote diepte mogelijk;
- eenvoudig verankeringen aan te brengen;
- hoog verticaal draagvermogen;
- diepwand opnemen in definitief werk is goed mogelijk;
- trillingsarm werken, geluidshinder gering.

De nadelen zijn:

- relatief duur, indien alleen horizontaal kerende functie nodig is;
- apart verwerken van gebruikt bentoniet (steunvloeistof);
- kwalitatief niet gelijkwaardig aan een prefab betonnen constructie (sterkteklasse beton max. B 25).

14.4.5 Palenwand

Dit zijn wanden van in de grond gevormde palen, die elkaar enigszins overlappen. De voor- en nadelen van deze variant komen in hoofdlijnen overeen met de diepwand. Echter, met een steunvloeistof en het verwerken daarvan hoeft geen rekening te worden gehouden. Verder zijn verankeringen relatief moeilijk aan te brengen. Een palenwand is meestal alleen interessant als ook een dragende functie vereist is.



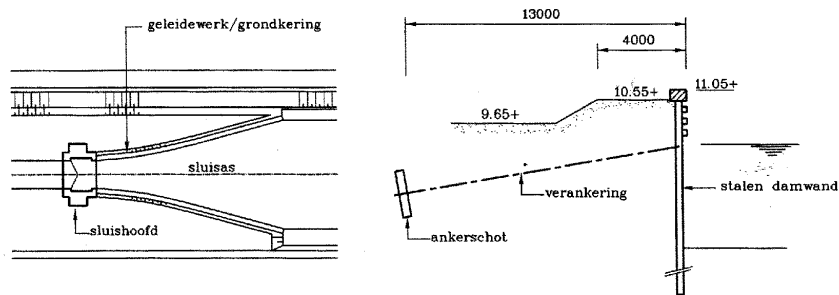
Foto 14.6 Aanbrengen groutankers voor verankering diepwanden van kolk van Tweede sluis te Lith

14.4.6 Betonnen L-wand

Een veelvuldig voorkomende grondkering bij schutsluizen is een hooggelegen, betonnen L-muur, die op palen is gefundeerd. De horizontale en verticale stabiliteit van de constructie kan hiermee goed gewaarborgd worden. Een nadeel is dat voor de uitvoering van de L-muur op een diep gelegen niveau, de vloer volledig ontgraven moet zijn. Bij een beperkte bouwruimte is de bouw dan mogelijk door gebruik te maken van stalen damwanden als hulpconstructie.

14.5 Grondkeringen in voorhavens

De overgang van het sluishoofd naar het kanaalprofiel kan worden gerealiseerd door haakse vleugelwanden aan te brengen die vanaf het sluishoofd naar de oevers van het kanaal lopen. De oever zelf kan taludvormig zijn, met een damwand uitgevoerd of een combinatie van taluds met een damwand. De vleugelwanden bestaan in de regel uit stalen damwandplanken en vormen dan vaak een onderdeel van de onder- en achterloopsheid-schermen die tot in de ongeroerde grond reiken. De vleugelwanden zijn voor zover nodig verankerd en voorzien van een betonnen deksloof. In de voorhaven worden vrijstaande, elastische ondersteunde geleidewerken aangebracht als fuikvormige toegang voor de scheepvaart.



Figuur 14.1 Grondkeringen voorhavens sluis Schijndel

In plaats van vleugelwanden kunnen dichte fuikwanden toegepast worden die een geleidelijke overgang vormen van hoofd naar oever. Deze fuikwanden vormen dan meteen een soepele toegang tot de sluis voor de scheepvaart (Voorbeeld sluis Schijndel, fig. 14.1). Deze grondkering bestaat eveneens uit een stalen damwand met deksloof en een verankering met ankerplaat. Voor de geleiding van de schepen worden houten of kunststof wrijfgordingen aangebracht. Omdat de overgang geleidelijk is kan toch een (voor de scheepvaart) harde constructie toegepast worden.



Foto 14.7 Bekleding damwand Tweede sluis Lith

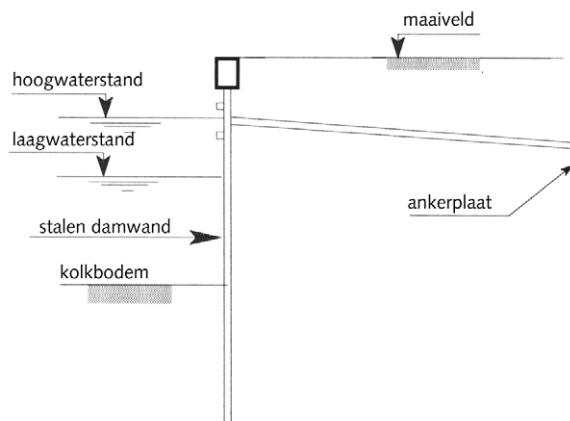
Bij meerdere schutsluizen naast elkaar wordt het sluseiland in de voorhaven vaak doorgezet als kistdam (gekoppelde stalen damwanden met grond daartussen) en vormt dan een onderdeel van de fuik. Om een symmetrische invaart te verkrijgen moeten de fuikwanden aan de oeverzijden ook uitgevoerd worden als dichte damwand.

14.6 Grondkeringen in de kolk

De toepasbare varianten van grondkering in de kolk hangen in de eerste plaats af van de optredende belastingen, vooral van de kerende hoogte van de grond en het water. Verder hangt dit af van de nevenfuncties, de lokale omstandigheden en de mogelijke bouwmethoden van de grondkering. Op grond hiervan volgt daarna de keuze van de voorkeursvariant op aspecten als economie, uitvoering en beheer en onderhoud.

Om de kerende hoogte van de wand niet te vergroten moet bij vrijstaande of verankerde kolkwanden de kolkbodem beschermd worden tegen erosie als gevolg van het schroefwater van de schepen en door de stroming van het vulsysteem. Hiervoor komen in aanmerking een onderwaterbetonvloer of een bescherming van stortsteen. Constructief heeft een onderwaterbetonvloer als voordeel ten opzichte van stortsteen dat het als stempel (extra steunpunt) voor de kolkwand fungeert. Door het aanbrengen van onderwaterbetonankers kan een koppeling met de damwand worden verkregen.

14.6.1 Stalen damwand



Figuur 14.2 Stalen damwandscherm met betonsloof

Bij sluizen met een relatief geringe kerende hoogte, kan een stalen damwand in combinatie met een verankering, een geschikte variant zijn voor het ontwerp van de kolkwand (fig. 14.2). De damwand is in horizontale zin vrij slap zodat de horizontale belastingen door scheepsstoten en bolderkrachten niet te hoog mogen oplopen. Aangezien een stalen damwand slechts een beperkte verticale belasting op kan nemen, moet de belasting in die richting (negatieve kleeft, schuin anker) beperkt blijven.

In fig. 13.30 staat het voorbeeld van de schutkolk van de sluis te Nieuwe Statenzijl met stalen damwandplanken als grondkering. De grondkerende hoogte is beperkt (ca. 6 m). Er kunnen alleen relatief kleine schepen passeren (CEMT-klasse III, sluisbreedte 8,60 m). De damwand is aan de bovenzijde voorzien van een betonsloof voor de horizontale stijfheid. De damwand is verankerd met ankerstangen aan een ankerwand en is aan de onderzijde gestempeld door de onderwaterbeton vloer. De damwand is bekleed met een houten schort (wrijfleggers en -stijlen) ter voorkoming van directe scheepsstoten en is voorzien van haalpenen.

In fig. 13.28 staat het voorbeeld van de schutkolk van de Nieuwe Oranjesluis te Amsterdam met eveneens stalen damplanken. De grondkerende hoogte is beperkt (ca. 7 m) maar bolderkrachten en scheepsstoten kunnen aanzienlijk zijn voor deze duwvaartsluis (CEMT-klasse VI). De damwand vormt een onderdeel van een kistdam. De damwand is bekleed met een betonnen voorwand die aan de bovenzijde doorgezet is als betonbalk. De voorwand draagt de scheepsstoten en bolderkrachten naar een groot damwandoppervlak af. De damwanden zijn aan de onderzijde niet gestempeld omdat de kolkvloer uit stortsteen bestaat, de damwanden zijn daarom diep weggeslagen.

Het reduceren van de grondbelasting op de stalen damwand is mogelijk door lichte ophoogmaterialen (in de vorm van Argex-korrels of Eps-blokken achter de damwand toe te passen. De bovenbelasting blijft dan nog wel volledig op de damwand drukken. Deze oplossing wordt vaak toegepast bij reconstructie van een sluis.

Het is denkbaar de stalen damwand enigszins achterover te laten hellen. Dit reduceert de horizontale krachten op de damwand ten opzichte van een verticale damwand. Maar de bodembreedte van de schutkolk neemt af waardoor mogelijk de kim van het schip de wand raakt. Hierdoor zijn slechts geringe hellingen haalbaar. Dit alternatief is nog niet toegepast.

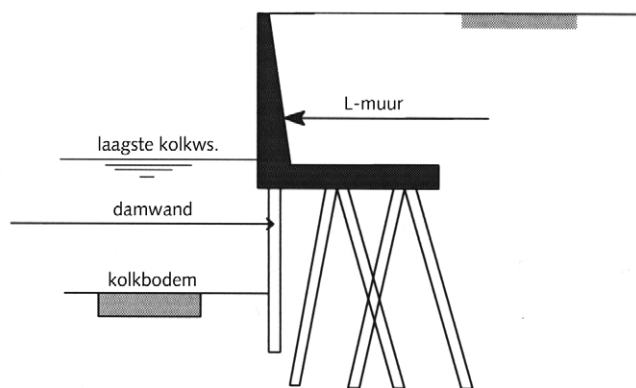
In plaats van een stalen damwand kan ook overwogen worden een combiwand toe te passen bestaande uit buispalen met daartussen damwandprofielen. De constructie gedraagt zich in horizontale zin stijver dan een normale damwand en heeft een groter verticaal draagvermogen. Ook dit is tot nu toe voor kolkwanden niet toegepast.

14.6.2 Diepwand

In plaats van damwanden kunnen ook diepwanden gebruikt worden als de grondslag aanwezig is en zich daartoe leent. Diepwanden zijn in horizontale zin veel stijver dan damwanden en kunnen ook verticale belastingen opnemen.

De 2e sluis te Lith (fig. 13.33) heeft een grote kerende hoogte in de kolk (12 m) en is toegankelijk voor grote schepen (klasse Vb). De wanden zijn uitgevoerd als gewapend betonnen diepwanden van 0,80 m dik. De wanden zijn verankerd met (vrij steil staande) groutankers en zijn aan de onderzijde gestempeld door een (ongewapende) onderwaterbetonvloer. De diepwanden zijn aan de kolkzijde voorzien met een gewapend betonnen voorwand die aan de bovenzijde overgaat in een betonbalk. In deze voorwand zijn haalkommen, bolders, e.d. opgenomen.

14.6.3 Hooggelegen L-wand met damwand



Figuur 14.3 Hooggelegen L-muur met stalen damwand

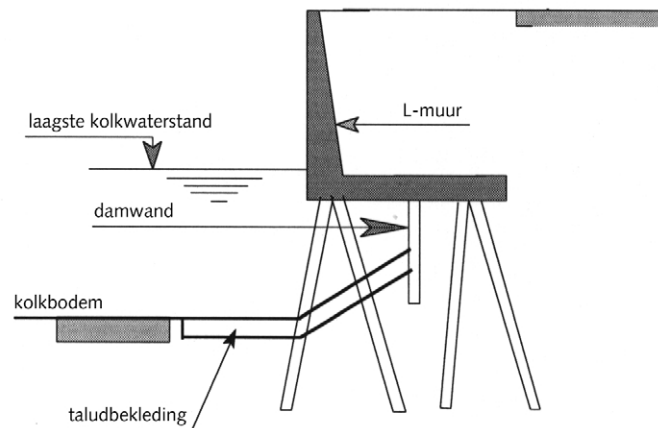
Een grondkering bestaande uit puur en alleen een stalen damwandscherm is minder geschikt om grote horizontale belastingen (bolderkrachten en scheepsstoten) en bovenbelastingen van het sluisterrein op te nemen. Het is dan beter de functie van grondkering te scheiden van die van horizontale en verticale belastingen. Dan komt de combinatie van een hooggefundeerde L-wand met daaronder een stalen damwand in aanmerking (fig. 14.3).

De L-wand is apart gefundeerd en wel met schoorpalen. Deze wand neemt de horizontale belastingen (bolderbelastingen, scheepsstoten, de horizontale gronddrukken op het L-gedeelte en die welke worden overgebracht vanuit de damwand naar de plaat), de verticale belasting van de grond boven de L-wand

en de terreinbelasting op. De damwand onder de L-wand neemt niet alleen horizontale gronddrukken op, maar wordt ook als oplegging gebruikt voor de verticale belasting. Voor wat betreft de terreinbelasting en het gewicht van de grond boven de plaat fungeert de L-wand als ontlastplaat voor de actieve gronddrukken op de damwand. De damwand moet zich in verticale richting onafhankelijk kunnen zetten ten opzichte van de betonnen L-wand in verband met mogelijk ongelijkmatige zettingen. De damwand is aan de bovenzijde horizontaal opgelegd op de L-wand. Bijkomend voordeel van het systeem is dat de damwand geheel onder water is geplaatst en dus minder corrosiegevoelig.

Fig. 13.27 betreft de schutsluizen te Hansweert met hooggefundeerde L-wanden en daaronder een stalen damwand. De kerende hoogte is aanzienlijk (ca. 14 m) terwijl de sluis geschikt is voor duwvaart (CEMT-klasse VIb). De kolkbodem bestaat uit onderwaterbeton en stempelt de damwanden op elkaar af. In de L-wanden zijn de bolders en haalkommen opgenomen. De L-wand is ook enige meters voor de damwand naar beneden toe doorgetrokken om deze te beschermen en haalkommen in op te nemen. De constructie kon met een geringe grondwaterspiegelverlaging gebouwd worden.

In fig. 13.32 staat het kolkprofiel van de schutsluis te Schijndel. De sluiswand bestaat ook uit een hooggefundeerde L-wand met daaronder een stalen damwand die gestempeld wordt door een onderwaterbetonvloer. De L-wand is ook iets voor de damwand doorgetrokken.



Figuur 14.4 L-muur; damwandscherm achterzijde

Een variant op een dergelijk systeem is wanneer de damwand meer naar achteren geplaatst wordt (fig. 14.4). De bodem is voorzien van een stortsteen bekleding en heeft geen stempelfunctie. Voordeel van deze variant is dat iets minder opstuwing optreedt bij het afmeren van het schip door het grotere dwarsprofiel van de kolk waardoor afmeren gemakkelijker verloopt. Tevens neemt de invloed van de schroefstraal op de bodembekleding af doordat meer water bij de bodem beschikbaar is. Deze variant is nog niet eerder bij sluizen toegepast (Vroeger vaak bij kademuren toegepast).

14.7 Uitvoeringsaspecten stalen damwand

Stalen damwanden kunnen in de grond worden getrild, geheid of gedrukt. Voor de keuze is het van belang de grondmechanische eigenschappen te kennen en of kwetsbare bebouwing in de directe omgeving aanwezig is.



Foto 14.8 Trillen van damplanken voor sluiscomplex te Lith

1 Trillen

Bij een verzadigd zandpakket ontstaat door het trillen overspannen water aan de punt van de plank, waardoor de plank de weerstand van de grond kan overwinnen en zakt. De benodigde slagkracht van het blok wordt bepaald aan de hand van de frequentie van trillen in combinatie met het blokgewicht. Door het trillen wordt de grond in de directe omgeving ook getrild waardoor zettingen in de grond mogelijk zijn rondom het ingetrilde plank (zone van bijvoorbeeld 5 m).

Bij trilblokken met een laag toerental treedt bij het aan- en uitzetten van de machine vaak resonantie van de grond op. Hoogfrequente blokken hebben dit verschijnsel in mindere mate, maar dit voorkomt het verschijnsel niet.

De voordelen van trillen zijn:

- trillen is een snelle uitvoeringsmethode;
- de kans op het uit het slot lopen is gering;
- vanwege verweking in de grond is de damwand goed in positie te krijgen;
- inspectie is gemakkelijk doordat het element direct weer getrokken kan worden;
- geluidsoverlast is lager dan bij heien.

De nadelen zijn:

- trillen veroorzaakt zettingen in de grond rondom het trilblok;
- trillen is niet mogelijk in een compact zandpakket met hoge conusweerstand en lage grondwaterstand;
- er treden resonantieverschijnselen op bij aan- en uitzetten van het trilblok.

2 *Heien*

Zijn er grondlagen die een hoge conusweerstand hebben, dan verdient het aanbeveling om niet te trillen maar te heien. Een geheide plank is meestal wel op diepte te krijgen in tegenstelling tot een getrilde plank.

Bij het heien is een juiste afstemming tussen het gewicht van de plank, de weerstand van de grond en het gewicht van het blok van belang. Bij zwaar heiwerk van damwandplanken verdient een zwaar heiblok met een kleine valhoogte de voorkeur. Dit resulteert in een hogere effectieve slagkracht en de kans op schade is het kleinst. Bij compacte zandlichamen met een lage grondwaterstand, kan worden voor-geboord om de weerstand te verlagen.

Bij een slechte afstemming tussen het gekozen heiblok en de damwand of wanneer het slot aan de buitenzijde zit, bestaat kans op schade door uit het slot lopen van de planken. Planken die niet centrisc worden belast tijdens het heien, kunnen verdraaien. Vrijwel altijd worden dubbele planken geheid waar-bij de sloten onderling zijn dichtgeknepen.

Heien geeft minder trillingen in de ondergrond waardoor ook zettingen van de grond geringer zijn dan bij trillen van de damwand.

3 *Wegdrukken*

Het wegdrukken van damwandplanken is vrijwel trillingsvrij. De indrukinrichting met de in te brengen plank zet zich af op reeds eerder weggedrukte planken. Het kan worden overwogen bij kwetsbare bebouwing in de directe omgeving. Vaak kan er voor worden gekozen om slechts het deel van de damwand dat direct naast een bebouwing staat, op dergelijke wijze uit te voeren. De conusweerstand van de grondlagen mag niet te hoog zijn omdat anders de plank niet zakt. De productiesnelheid van drukken is gering. De kosten van drukken zijn beduidend hoger die van trillen en heien.



Foto 15.1 Sluiscomplex te Heel met drijvende remming- en geleidewerken

Hoofdstuk 15 Remming- en geleidewerken

15.1 Inleiding

15.1.1 Functie en gebruik van remming- en geleidewerken

In principe is een schutsluis voor een schip een obstakel in een vaarweg omdat het passeren ervan extra tijd vergt (vaart minderen, eventueel wachten, invaren, nivelleren en uitvaren), terwijl de vaarweg ook versmald is. In de voorhavens van sluizen zijn remming- en geleidewerken geplaatst. Remmingwerken geven schepen die voor de sluis moeten wachten, een tijdelijke ligplaats en een afloopmogelijkheid. Geleidewerken zorgen door middel van hun fuikvorm ervoor dat de schepen op een snelle en soepele wijze de (relatief) smalle sluiskolk invaren.

Remming- en geleidewerken worden ontworpen om botskrachten van schepen op te nemen zoals die optreden bij het afmeren langs het remmingwerk en bij het invaren van de fuik. Bepalend daarbij zijn de massa, de vaarsnelheid en de aanvaarhoek van de schepen. De grootste aanvaarsnelheden - en dus botskrachten - worden bereikt tijdens winderige omstandigheden. Binnen vastgestelde grenzen mogen deze botskrachten voor de remming- en geleidewerken geen problemen opleveren. Op extreme uitwijkmanoeuvres van de schepen kunnen de remming- en geleidewerken niet ontworpen worden. De remming- en geleidewerken worden bij voorkeur flexibel en doorgaand uitgevoerd om schepen op een comfortabele manier een afmeergelegenheid of geleiding te bieden en om te grote krachten op schip en constructie, te abrupte uitwijkmanoeuvres en klem raken, te voorkomen. De geleidewerken van de fuik worden zwaarder belast dan de remmingwerken vanwege de hoek van de fuik met de vaarbaan (en dus met het schip).

Dankzij betere communicatie tussen schip en sluis wordt minder afgemeerd dan vroeger omdat de vaarsnelheid naar de sluis wordt aangepast aan het verwachte tijdstip van schutten. Bovendien worden tegenwoordig bij de binnenvaart door de toenemende aanwezigheid van boegschroeven op schepen de remming- en geleidewerken minder frequent en met gemiddeld lagere snelheid aangevaren. Daarentegen leidt schaalvergroting in de scheepvaart tot grotere schepen met grotere massa's. Vanwege de gemiddeld lagere aanvaarsnelheid hoeft er bij grotere schepen geen sprake te zijn van gemiddeld hogere aanvaarenergie.

15.1.2 Overzicht inhoud hoofdstuk

Het hoofdstuk bestaat globaal genomen uit drie delen.

Par. 15.2 en 15.3 dienen voor de algemene begripsvorming. De inrichting van een voorhaven van een schutsluis met daarin de plaatsing van de remming- en geleidewerken wordt in par. 15.2 behandeld en de verschillende constructietypen van remming- en geleidewerken in par. 15.3.

Par. 15.4 en 15.5 zijn bedoeld als voorbereiding van het ontwerp. In par. 15.4 komen de ontwerpuitgangspunten van remming- en geleidewerken aan de orde en in par. 15.5 de gegevens van schip, water en grond.

Voor het eigenlijke ontwerp van remming- en geleidewerken wordt verwezen naar par. 15.6 en 15.7. Par. 15.6 betreft het ontwerp van de hoofdconstructie die onderworpen is aan de botskrachten. Par. 15.7 geeft enkele aanwijzingen voor de verdere detaillering van remming- en geleidewerken.

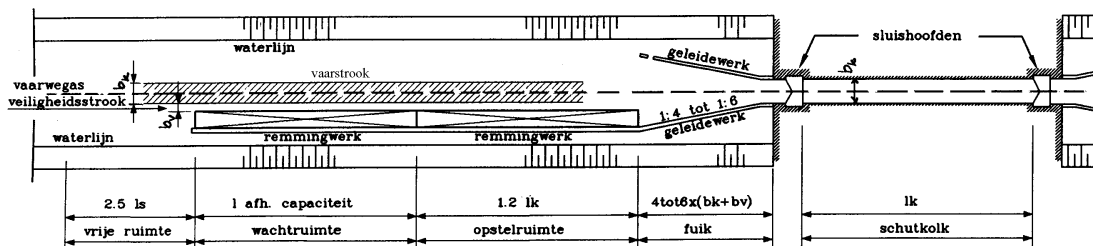
Het hoofdstuk heeft niet de pretentie een compleet beeld op te leveren van remming- en geleidewerken, het is meer bedoeld als handreiking bij het opstellen van een ontwerp van een remming- en geleidewerk. Aan remmingwerken bij zeesluizen wordt weinig aandacht besteed.

15.2 Inrichting voorhaven met remming- en geleidewerken

15.2.1 Inrichting voorhavens

Voor een uitgebreide beschrijving van de inrichting van voorhavens zie par. 4.7 en 4.8 en hoofdstuk 5.

Enkele begrippen



Figuur 15.1 Voorhaven schutsluis

In een voorhaven van een sluis kunnen verschillende gebieden onderscheiden worden (fig. 15.1). De *vaarstrook* in de voorhaven is het gebied in het verlengde van de sluis. Aan het begin van de voorhaven - dus bij de overgang naar de vaarweg - ligt naast de vaarstrook de *vrije ruimte* die bedoeld is om de schepen die willen afmeren bij de (hierna te noemen) wacht- en opstelruimtes vaart te laten minderen. Na de vrije ruimte volgt de *wachtruimte* die afmeergelegenheid biedt voor schepen die na aankomst niet met de eerstvolgende schutting mee kunnen (zgn. overliggers). Daarna is een *opstelruimte* aanwezig die afmeergelegenheid biedt voor schepen die met de eerstvolgende schutting meegaan. De wacht- en opstelruimtes zijn voorzien van remmingwerken. De vrije ruimte, de wachtruimte en de opstelruimte zijn van de vaarstrook gescheiden door een *veiligheidsstrook*. Net voor de toegang van de sluis ligt de ruimte van de fuik waarin de vaarstrook opgenomen is. De *fuik* wordt begrensd door geleidewerken.

In de voorhaven bevinden zich vaak overnachtingsfaciliteiten. De remmingwerken van de opstel- en wachtruimtes kunnen daar een onderdeel van vormen. Buiten de wacht- en opstelruimtes zijn soms aparte ligplaatsen voor kegschepen gesitueerd. Remmingwerken en andere ligplaatsen kunnen voorzien zijn van aflooppomogelijkheden.

Inrichting voorhaven bij een binnenvaartsluis

In de richtlijnen van de CVB (Commissie Vaarwegbeheerders) voor de binnenvaart wordt de lay-out van een voorhaven gegeven. Bij het opnieuw inrichten van bestaande voorhavens zal niet altijd aan deze richtlijnen voldaan kunnen worden, bijvoorbeeld door ruimtegebrek. Hieronder wordt een voorhaven met een enkele sluis beschouwd volgens genoemde richtlijnen.

De vrije ruimte als overgangszone tussen vaarweg en wacht-/opstelruimte heeft in het algemeen een lengte van 2,5 x lengte maatgevende schip.

De wacht- en opstelruimtes worden aan één zijde begrensd door een remmingwerk. De breedte van de wachtruimte komt vaak overeen met de sluisbreedte. De lengte van de wachtruimte wordt bepaald met een capaciteitsbeschouwing, zie par. 4.7. De opstelruimte heeft een breedte overeenkomstig die van de sluis en een lengte van 1,2 maal de nuttige schutkolk lengte. Een dergelijke opstelruimte biedt plaats aan schepen die in een keer de sluis kunnen passeren. De veiligheidsstrook tussen de wacht-/opstelruimte en de vaarstrook is 3 tot 6 m breed, afhankelijk van de CEMT-klasse van de vaarweg.

De wacht- en opstelruimtes kunnen achter elkaar aan een zijde (voor een enkele sluis aan stuurboordzijde van invarend schip) van de voorhaven worden aangebracht. Aan de tegenovergestelde zijde van dezelfde voorhaven is dan een strook van een halve maatgevende scheepsbreedte nodig (of enkele meters meer bij veel zijwind).

Vaak worden de wacht- en opstelruimte aan weerszijden van de voorhaven aangebracht waarbij deze dan beurtelings dienst doen als wacht- en opstelruimte. Nadeel hiervan is het soms kruisen van in- en uitvarende schepen, voordeel is dat de schepen niet hoeven op te schuiven naar de opstelruimte en de lengte van de voorhaven beperkt is.

De fuik met ter weerszijden geleidewerken heeft hoeken van 1 : 4 tot 1 : 6 met de sluisas en geeft een symmetrische toegang tot de sluis. Tot en met CEMT-klasse IV kan volstaan worden met een hoek van 1 : 4, bij hogere CEMT-klassen wordt deze hoek 1 : 5 of 1 : 6, waarbij de aansluitingen met de sluiswanden bij voorkeur voorzien worden van een afronding of een overgangsboog. De lengte van de fuik is daarmee 4 tot 6 x de som van sluisbreedte en veiligheidsstrook.

De richting van de voorhaven komt bij voorkeur overeen met die van de sluis (of sluizen), afwijkingen van minder dan 10° hierop worden opgevangen door een gekromde lay-out. De lengte van de voorhaven is gelijk aan de som van de lengtes van de vrije ruimte, van de wachtruimte en/of de opstelruimte en van de fuik.

Andere sluizen

Bij twee binnenvaartsluizen naast elkaar is er sprake van een sluseiland waarbij beide sluizen zijn uitgerust met geleidewerken en al of niet een middenremmingwerk met wacht- en opstelplaatsen.

Recreatieschepen in binnenvaartsluizen worden gescheiden van de binnenvaartschepen door de recreatieschepen bij een eenzijdige wacht-/opstelruimte aan de andere zijde te leggen of bij een tweezijdige wacht-/opstelruimte, achter de opstelruimte voor de binnenvaart (zie par. 5.3). Ook andere oplossingen kunnen voldoen.

Bij een voorhaven van een recreatiesluis is ook sprake van wacht- en opstelruimtes - begrensd door drijvende steigers of keerwanden - en een fuik.

In de voorhaven van een grote zeesluis kan een wacht-/opstelruimte aanwezig zijn die voorzien is van meerstoelen. Meestal zal een zeeschip hier geen gebruik van maken omdat het schip de vaarsnelheid aanpast aan het tijdstip dat de toegang tot de sluis vrij is. Een lang geleidewerk voor de ingang wordt niet aangebracht omdat dit te kwetsbaar is en een obstakel vormt voor de sleepboten die het schip de sluis in manoeuvreren. Wel kunnen de hoeken van het sluishoofd door geleidebalken of door wiefelnders beschermd worden en de sluiswanden door drijfrahmen.

Capaciteitsbepaling wachtruimtes

De capaciteit van de wachtruimtes in de voorhavens van sluizen wordt bepaald door de daar beschikbare lengte van de remmingwerken en zijn bedoeld voor overliggers (zie par. 4.7).

Aan de hand van vervoersprognoses wordt nagegaan welk scheepsaanbod (aantal en grootte schepen, aandeel beroeps-/recreatievaart, kegelschepen) de komende jaren door de sluis (sluizen) afgewikkeld moet worden. Met behulp van deze prognoses, de afmetingen en het aantal schutkolken, de verkeersintensiteit over de dag en over het jaar gezien, de bedienings- en bedrijfstijden van de schutsluis en mogelijke overnachters, kan het aantal overliggers worden afgeleid. Voor deze capaciteitsbepaling is het simulatiemodel SIVAK beschikbaar (Appendix 4.2 van hoofdstuk 4); als eerste indicatie kan met een schattingsmethode volstaan worden. De schattingsmethode VAT (Appendix 4.1 van hoofdstuk 4) werkt grafisch en is analoog aan de continue doorstroming van een vloeistof door een vat met instroming (scheepvaartintensiteit), uitstroming (sluiscapaciteit) en buffering (aantal overliggers). Het aantal schepen wordt cumulatief uitgezet als functie van de tijd van 0 tot 24 uur van een werkdag. Daar waar de helling van deze lijn groter is dan de capaciteitslijn van de sluis (maximum-aantal te schutten schepen per uur) treden overliggers op. De lengte van de wachtruimte wordt afgeleid uit het product van (gemiddeld over enige tijd) aantal overliggers en representatieve scheepslengte.

15.2.2 Plaatsing van remming- en geleidewerken



Foto 15.2 Drijvend remmingwerk sluiscomplex Belfeld aan de Maas met beschermopaal

Verende, doorgaande constructie

Remmingwerken bij de wacht- en opstelruimtes worden bij voorkeur als doorgaande, verende constructies uitgevoerd omdat hiermee de schepen op een soepele en snelle wijze kunnen afmeren (foto 15.2). Vanwege het doorgaand zijn (in tegenstelling tot vrijstaande meerpalen), kunnen schepen van allerlei lengte aansluitend aanleggen. Door het verend gedrag van remmingwerken, beperken zich de krachten op schip en remmingwerk. De remmingwerken worden aan het vrije uiteinde vaak voorzien van een losse beschermopaal ter bescherming van dit uiteinde tegen een aanvaring op de kop.

Geleidewerken in de fuik zijn meestal doorgaand (losse palen komt ook voor), bij voorkeur verend en symmetrisch. Dankzij het doorgaand zijn (in tegenstelling tot geleidepalen) worden de schepen beter in de schutkolk geleid. Door een overgangsboog in de fuik op te nemen zullen schepen met een rechte hoekige voorzijde (duwstevens) minder gemakkelijk klem raken in de opening. Door het verend en hydraulisch open uitvoeren van het remmingwerken in plaats van star met damwanden (oftewel geleidewand) ontstaan geen hinderlijke zuigingen bij de boeg tijdens het dicht langs de fuik varen en zal de boeg geen grote uitwijkingen maken wanneer de fuik geraakt wordt.

Voorzieningen aan de remmingwerken

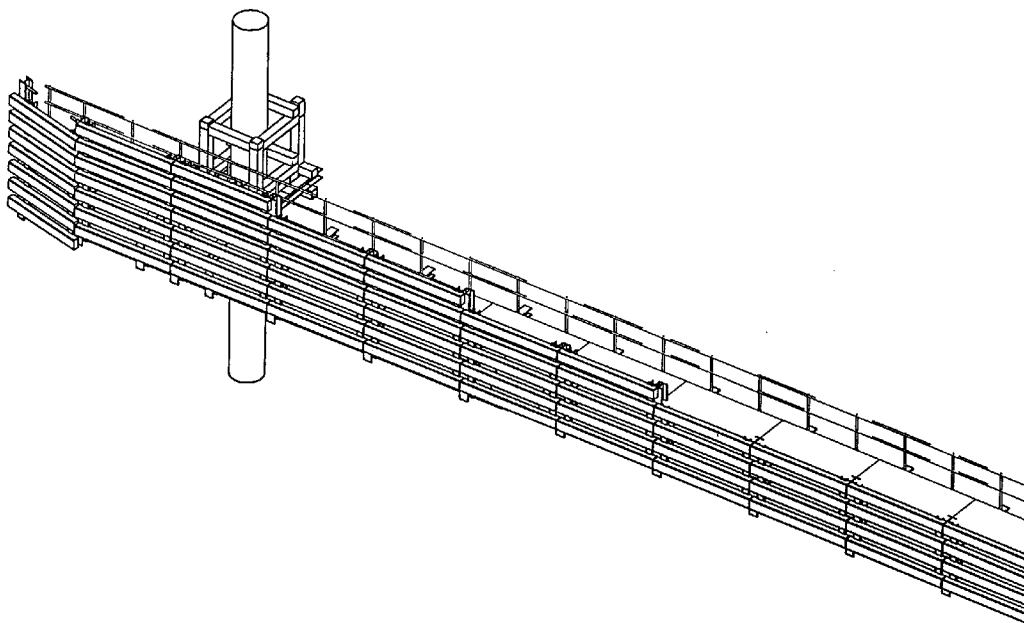
Bij de binnenvaart (CEMT-klasse I-IV) moet de bovenkant van de bekleding van de remming- en geleidewerken 1,5 tot 2,5 m boven de waterstand reiken die gedurende 1% van de tijd (10% voor sluis aan rivier) wordt overschreden, om ook ongeladen schepen goed te geleiden (tabel 2.1, par. 2.4.1.1). Bij hogere klassen met ook duwstevens, wordt de hoogte afgestemd op die van het sluishoofd. De onderkant moet tot 0,5 m onder de waterstand reiken die gedurende 1% van de tijd overschreden wordt, om schepen niet onder de laagste gording te laten komen. De hoogte van de bekleding wordt daarmee ten minste 2 tot 3 m. De bovenkant van de bekleding van het geleidewerk loopt, afhankelijk van de plaatselijke situatie naar de sluishoofden toe, geleidelijk op naar dekzerkniveau van de sluishoofden waarmee een verlopende hoogte verkregen wordt (fig. 15.2).

De afstand tussen de gordingen is aan een maximum-maat gebonden (0,50 m). Hiermee wordt voorkomen dat duwstevens tussen de gordingen raken. Verder worden de krachten goed gespreid en de constructie fungeert als een gedeeltelijke windvang voor de schepen.

In het kader van de duurzaam bouwen gedachte wordt gestreefd naar zo laag mogelijk verbruik van tropisch hardhout, dus tussenafstanden zo groot mogelijk en balkafmetingen minimaal of het vermijden hiervan en toepassen van stalen kokers met kunststof bekleding.

De remming- en geleidewerken worden voorzien van looppaden en -bruggen voor de verbinding met de vaste wal. In de remmingwerken worden bolders en ladders opgenomen. Overige voorzieningen zijn verlichting, praatpalen, CCTV-installatie, ed.

De diepte van de voorhaven bij de remming- en geleidewerken is ten minste gelijk aan die van de aansluitende vaarweg.



Figuur 15.2 Drijvend geleidewerk met verlopende schorthoogte

Als de voorhaven van de sluis in de vaarweg dienst doet als overnachtingshaven, worden op grotere afstand van de sluis vaak overnachtingsplaatsen gecreëerd door middel van meerpalen die met een loopbrug met de vaste wal verbonden zijn. Elk schip heeft een walverbinding, dus bijvoorbeeld 1 loopbrug per 3 palen. Op nog verdere afstand van de sluis worden soms aparte ligplaatsen voor kegel-schepen aangelegd. De veiligheidsmaatregelen bestaan bijvoorbeeld uit toepassing van materialen die onkvrij zijn in geval van wrijving, in verband met brandgevaar.

Verdere begrippen

- **Open / dichte constructies**
Open constructies bestaan uit vrijstaande palen, eventueel onderling verbonden, waar het water vrijelijk rond of tussendoor kan stromen. Dichte constructies zijn damwanden of kademuren (foto 15.3).
- **Vrijstaande / doorgaande constructies**
Meer-, geleide- en bescherm-palen zijn vrijstaande constructies (foto's 5.4 en 15.6). Bij het raken schuift het botspunt langs de romp van het schip.
Remming- en geleidewerken zijn doorgaande constructies; bij het raken schuift de boeg of het hek van het schip langs de constructie.
- **Enkelvoudige / samengestelde constructie**
De enkelvoudige constructie van een remming- of geleidewerk kan bestaan uit een rij vrijstaande palen (dus niet met elkaar verbonden) die elk afzonderlijk belast kunnen worden. De rij verticale palen kan ook verbonden worden door een doorgaande horizontale buisligger die scharnierend of

ingeklemd aan de verticale buispalen verbonden is. Deze samengestelde constructie werkt mee aan de krachtsoverdracht van schip naar grond.



Foto 15.3 Sluiscomplex te Sambeek aan de Maas met dichte fuiken en open remmingwerken



Foto 15.4 Afmeerpaal bij sluis Lith

- Drijvende / vaste constructies



Foto 15.5 Vast remming- en geleidewerk van Kleine Sluis te IJmuiden

- Vaste/drijvende constructies
Vaste remming- en geleidewerken zijn bedoeld voor kleine waterstandsvariatiës (Foto 15.5). Drijvende remming- en geleidewerken worden toegepast bij grotere waterstandsvariatiës (Foto 15.2). De horizontale ligger drijft met het water mee en wordt langs de palen geleid.
- Eén- of tweezijdig remmingwerk
Bij een éénzijdig remmingwerk kunnen aan één zijde schepen liggen, bij een tweezijdig remmingwerk aan beide zijden (fig. 15.17).

15.3 Constructietypen

15.3.1 Vroegere uitvoeringen

Vroegere binnenvaartsluizen (uit de periode rond 1900 - 1930) werden meestal van houten remming- en geleidewerken voorzien. Deze remmingwerken bestaan uit een rij geschoorde palen die met gordingen werden gekoppeld (houten steiger), uit een rij vrijstaande meerstoelen (gekoppelde groep van verticale palen) of uit een rij vrijstaande ducdalven (verticale paal met drie schoorpalen buiten de vaarbaan). De steiger is vaak met een looppad naar het sluishoofd verbonden, de meerstoelen en ducdalven zijn veelal direct met de wal verbonden. De onderlinge afstand tussen de vrijstaande meerstoelen en ducdalven moet kleiner zijn dan de lengte van frequent voorkomende kleine schepen. Bij grote waterstandsvarianties zijn dergelijke constructies erg kwetsbaar omdat ze bij hoge waterstanden snel omgeva- ren worden vanwege het hoge botspunt. In plaats van houten palen zijn ook wel betonnen palen gebruikt.



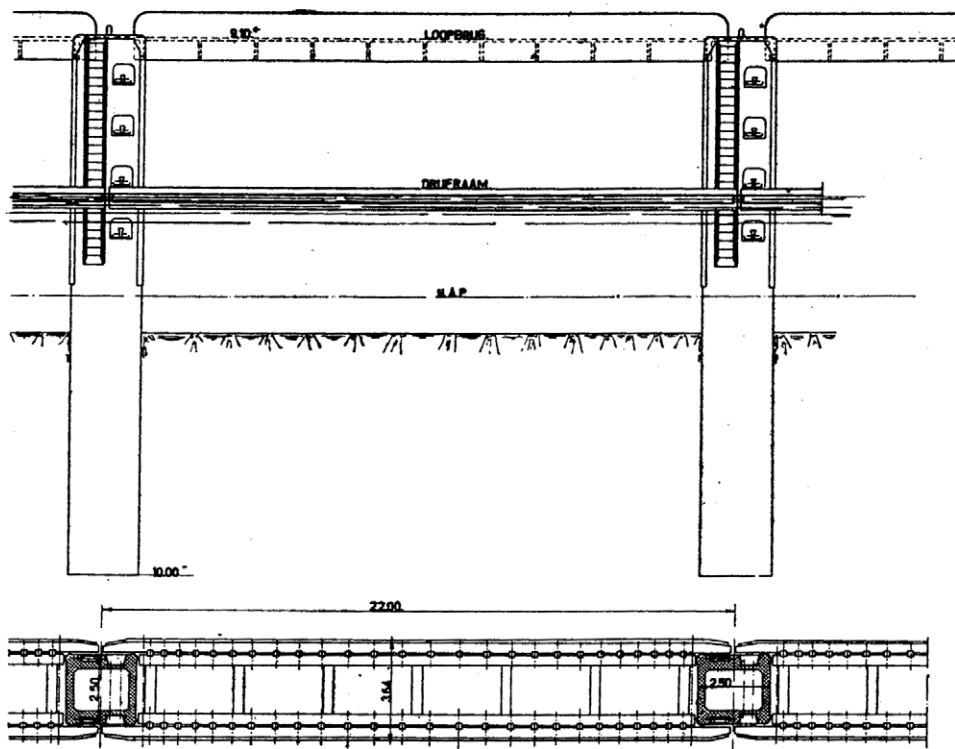
Foto 15.6 Betonnen meerstoel

Voor recentere binnenvaartsluizen (1930 - 1960) werden voor de remming- en geleidewerken betonnen meerstoelen toegepast vanwege schaalvergroting van de scheepvaart (foto 15.6). Deze gedragen zich als starre constructies met een grote eigen massa. Een dergelijke meerstoel bestaat uit een holle, met zand en/of grind opgevulde betonnen schacht die als put de grond is ingegraven of die met een ver- brede voetplaat net onder het kanaal-bodemniveau geplaatst is (fig. 15.3). De meerstoelen zijn onder- ling verbonden door losse, houten drijfrahmen die door het verzadigd zijn met water grotendeels onder water liggen. Over de rij meerstoelen heen zijn meestal betonnen loopbruggen aangebracht.

In plaats van betonnen meerstoelen zijn later groepen van vier gekoppelde, stalen palen (samengelaste damplanken) of stalen buispalen van grote diameter toegepast voor CEMT-klasse Vb en VI. De houten drijfrahmen zijn hier en daar vervangen door losse, drijvende stalen buisliggers en de loopbruggen die vroeger van hout waren zijn vervangen door stalen exemplaren.

Voor de geleidewerken nabij de fuik en ook wel voor de remmingwerken in de opstelruimte werden veel- al aangeaarde, verankerde, stalen damwanden gebruikt. Bij een constante waterstand werkt de sloof aan de bovenkant van de damwand als geleiding. Bij grotere waterstandvarianties zijn de damwanden soms

voorzien van horizontale houten wrijfhouten met verticale klossen. De toegang tot de wal is simpel te realiseren.



Figuur 15.3 Betonnen meerputten met houten drijframes en betonnen loopbrug

Voor grote zeesluizen zijn voor de remmingwerken vrijstaande, betonnen meerstoelen in gebruik die zich als starre constructies met een grote massa gedragen. De meerstoelen zijn bekleed met hout dat snel beschadigt. Meer elastische constructies zoals houten meerstoelen hadden weinig succes omdat deze door de grote scheepsmassa's meestal snel omgevaren werden. Samengestelde constructies à la Hamburg, Bremen, e.d. voldeden wel.

15.3.2 Huidige uitvoeringen

De huidige, nieuw te ontwerpen hoofdconstructie voor remming- en geleidewerken voor de binnenvaart bestaat uit een rij stalen, in de grond ingeklemde verticale buispalen die onderling verbonden zijn met een stalen, horizontale buisligger (fig. 15.4). Aan de horizontale buis zijn stalen frames gelast waaraan schorten worden bevestigd. De (afneembare) schorten bestaan uit een aantal, boven elkaar gelegen, horizontale stalen kokers bekleed met kunststof strippen of balken van tropisch hardhout. Bij watersstandvariaties vanaf bijvoorbeeld 1 m wordt de horizontale buisligger met bekleding drijvend gemaakt. Bovenop het remming- en geleidewerk bevinden zich de looppaden. Volgens dit principe wordt een redelijk verende constructie bereikt waarbij grote botsenergieën leiden tot verplaatsingen van ca. 0,50 m van de constructie bij het botspunt zonder dat het vloei- of plooi-moment van het staal bereikt wordt of de palen omver gaan (grond bezwijkt).

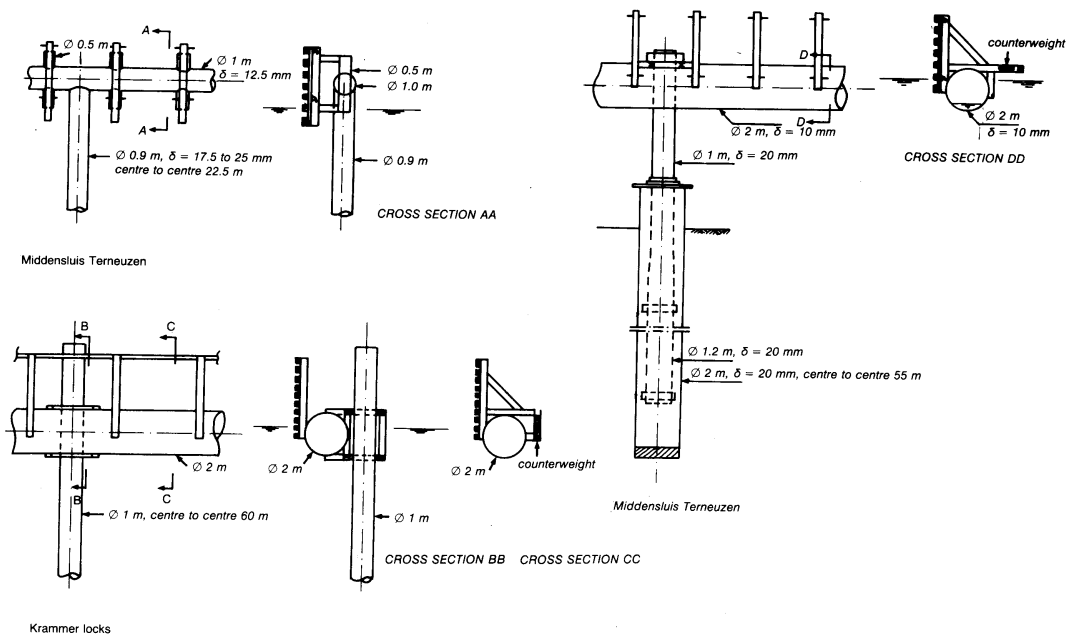
Bij een zeer stijve grondslag worden fenders in de constructie aangebracht om een deel van de energie op te nemen. Wanneer dit niet toegepast zou worden dan kunnen de krachten op het schip te groot worden in combinatie met een te kleine vervorming van de paal.

De voornaamste verschillen met de vroegere constructies (vaarwegklasse CEMT IV t/m VI) betreffen het al of niet drijvend zijn, de een- of tweezijdige uitvoering, het type schort (hout of staal met kunststof balken). Enkele bijzonderheden:

- Bij een vaste constructie van een remming- of geleidewerk is de horizontale buisligger vast aan-

gebracht bovenop de stalen verticale buispalen. Bij een eenzijdig remmingwerk bevinden de schorten zich aan één zijde, bij een tweezijdig remmingwerk aan beide zijden.

- Indien de constructie drijvend is staan bij een eenzijdig remming- en geleidewerk de stalen buispalen achter de drijvende buisligger. Aan de voorkant van de buisligger is de bekleding aangebracht. Aan de achterzijde van de drijvende buisligger is een paalraam bevestigd zodat de horizontale buisligger met behulp van glijblokken langs de verticale buispaal glijdt.
- Bij een tweezijdig remmingwerk kunnen dubbele, gekoppelde buisliggers of een enkele, drijvende buisligger in combinatie met dobberpalen toegepast worden. De dubbele horizontale buisliggers glijden langs dezelfde verticale buispalen. De voor de enkele horizontale buisligger bestemde dobberconstructie bestaat uit een verticale mantelbuis die vast in de grond geklemd is en een dobberpaal die daarin drijft. Aan de bovenkant van de dobberpaal is de drijvende buisligger vast aangebracht en deze heeft aan twee zijden schorten (fig 15.4 laat een dobberpaal zien voor een éénzijdig remmingwerk).



Figuur 15.4 Vast remmingwerk, drijvend remmingwerk met vaste palen en drijvend remmingwerk met dobberpalen

Tot voor kort werden genoemde remming- en geleidewerken op enkele punten anders uitgevoerd:

- de remming- en geleidewerken werden pas drijvend gemaakt vanaf waterstandvarianties van enkele meters;
- de schorten werden uitsluitend voorzien van hardhouten balken;
- de looppaden waren vaak afzonderlijk gefundeerd van het remmingwerk.

Vrijstaande meerpalen en beschempalen worden ook als ronde, stalen buispalen uitgevoerd waarbij om de drie meerpalen een loopbrug naar de wal wordt gemaakt.

Gangbare dimensies voor de buizen zijn voor vaarwegen van CEMT-klasse V en VI:

- verticale stalen buispalen voor éénzijdig, drijvend of vast remmingwerk: Ø 0,9 - 1,00 m, wanddikte 16 - 20 mm, h.o.h. afstanden 50 - 80 m (minder ook mogelijk);
- verticale stalen buispalen voor geleidewerk (fuij) en meerpalen: Ø 0,9 - 1,00 m, wanddikte 18 - 22 mm, h.o.h. afstanden 40 - 50 m;
- dobberpalen (tweezijdig drijvend remmingwerk) met mantelbuizen (Ø 1,50 - 2,00 m, wanddikte 20 - 25 mm, h.o.h. afstanden 50 - 80 m) en dobberbuizen (Ø 1,00 - 1,20 m, wanddikte 20 - 25 mm);
- horizontale buisliggers: Ø 1,70 m (eenzijdig) tot 2,00 m (tweezijdig), wanddikte 10 - 11 mm (ook kleinere diameter bij kortere paalafstand);
- beschempaal: Ø 1,40 m, wanddikte 20 mm.

Voor verdere details zie par. 15.7.

15.4 Ontwerpuitgangspunten

15.4.1 Op te nemen energie afkomstig van een schip

De constructie (vrijstaande paal, remmingwerk of geleidewerk) wordt belast door een scheepsbotsing. Een botsing is daarbij een bedoelde handeling om het schip af te meren of in de sluis te geleiden.

In zijn eenvoudigste vorm kan de energie die het schip op het remmingwerk overdraagt worden beschreven met:

$$E = 1/2 C_e C_m C_s m v_{\perp}^2$$

waarin:	E	= energie	[Nm]
	C _e	= coëfficiënt voor invloed excentriciteit (botsing van boeg of hek)	[-]
	C _m	= coëfficiënt voor invloed hydrodynamische massa, o.m. afhankelijk van diepgang schip	[-]
	C _s	= coëfficiënt voor invloed elasticiteit scheepshuid	[-]
	m	= massa schip	[kg]
	v _⊥	= snelheid botspunt schip loodrecht remmingwerk	[m/s]

De energie die tijdens de botsing op de constructie wordt overgedragen, is in de eerste plaats afhankelijk van de massa van het schip en de aanvaarsnelheid. Met aanvaarsnelheid wordt bedoeld de snelheid van het schip op het botspunt in de richting loodrecht op het remming- of geleidewerk. Naast massa en de snelheid loodrecht op het remmingwerk spelen andere factoren een rol, te weten de plaats van het botspunt op het schip (veelal een hoekpunt), de rotatietraagheid van het schip, de aanvaarhoek, de verhouding diepgang/waterdiepte en de wrijving tussen schip en remmingwerk.

Aan de hand van een groot aantal ontwerpen uit het verleden worden veelal de volgende arbeidsvermogens van de remmingwerken voor binnenvaartsluizen gehanteerd. Het op te nemen arbeidsvermogen van het remmingwerk bedraagt 80 kNm (sluizen in Limburg, klasse V), 120 kNm (duwvaartsluizen Volkerak, Rozenburg en Nieuwe Oranjesluis, klasse VI), 200 kNm (middensluis Terneuzen). Voor het geleidewerk in de fuik is dit meer (100 kNm, sluizen in Limburg, klasse V) en voor beschermipalen nog meer (150 kNm, idem) als gevolg van de nautisch zwaardere omstandigheden.

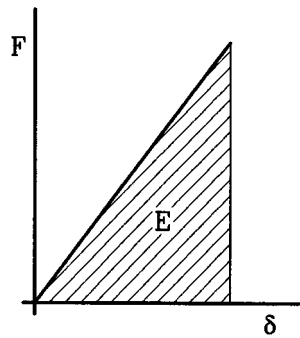
In plaats van direct het arbeidsvermogen te kiezen kan dit ook afgeleid worden uit het analyseren van de situaties tijdens de botsingen. Uitgangspunt is dat de constructie (vrijstaande paal, remmingwerk of geleidewerk) de *normaal uitgevoerde* botsingen elastisch (dus zonder blijvende vervormingen) moet kunnen opnemen. Hierin zijn botsingen met sterke dwarswind inbegrepen. Op *ongevalsituaties* als gevolg van stuurfouten of motorstoringen wordt de constructie niet gedimensioneerd. Het is noodzakelijk een overzicht te krijgen van de aanvaarsnelheden behorend bij de verschillende schepen (dus ook massa's) bij vooraf gestelde overschrijdingskansen. Daarbij moet sprake zijn van normale botsingen. De aanvaarsnelheid hangt van veel factoren af, zoals de geometrie van de voorhaven, het type constructie (vrijstaande paal, remmingwerk of geleidewerk), het geladen of ongeladen zijn van het schip, de grootte van het schip, de verkeersdrukke enz. Zie verder par. 15.5.

Naast het effect van botsingen moet de constructie ook op andere krachten gedimensioneerd worden:

- troskrachten via de bolders tijdens het afmeren of afgemeerd liggen;
- krachten via het afgemeerde schip door de (boeg-)schroef en windbelasting op het schip;
- langskrachten op remming- en geleidewerk in verband met wrijving tussen schip en constructie;
- waterspiegelvariaties langs het remming- of geleidewerk door wind- of translatiegolven;
- eigen gewicht, belasting looppaden en -bruggen, ballastwater;
- wind (volgens TGB), ijsgang;
- temperatuurverschillen.

15.4.2 Respons constructie

Gedurende de botsing brengt het schip een bepaalde hoeveelheid energie over naar de constructie (remming- of geleidewerk of losse paal) die de energie op zijn beurt voor een deel naar het schip en voor een ander deel naar de grond overdraagt. Bij een zachte constructie zal deze sterk inveren waardoor de botskracht beperkt is. Bij een harde constructie is de inverting gering en de botskracht hoog. Globaal geldt voor de energieoverdracht de volgende relatie (fig. 15.5):



Figuur 15.5 Relatie botskracht / inverting

$$E = 1/2 F \delta$$

waarin:	F	= botskracht	[N]
	δ	= inverting	[m]

Bij een overbelasting en dus (te) sterke inverting kan de vervorming van de constructie blijvend zijn doordat bijvoorbeeld de maximale gronddrukken overschreden worden (palen gaan om), de vloeispanningen van de constructie (eventueel ook scheepshuid) overschreden worden of de constructie gaat plooien.

Scheepseigenaren en de beheerders geven bij voorhavens van sluizen de voorkeur aan flexibele constructies (vrijstaande remming- en geleidewerken) in plaats van harde constructies (damwand) omdat beschadigingen aan het schip en ook wel de constructie hiermee voorkomen worden. Op voorhand is echter niet direct te zeggen wat duurder is: een vrijstaand remmingwerk met daarachter een bekleed talud of een damwand.

15.4.3 Voorschriften

De constructie moet tijdens de botsingen intact blijven zonder dat beschadigingen in wat voor vorm ook optreden, dat wil zeggen de vervormingen in de constructie en de grond zijn volledig elastisch zonder plastische (of blijvende) vervormingen.

De constructie wordt doorgerekend volgens de TGB 1990 met gebruikmaking van NEN 6702 (Belastingen en vervormingen), NEN 6740 (Geotechniek, Basiseisen en belastingen), CUR-166 (Damwandconstructies) en NEN 6770 (Staalconstructies), zie ook par. 13.3. Als veiligheidsklasse conform CUR 166 voor remmingwerken wordt normaliter klasse 1 gehanteerd; klasse 2 wordt gebruikt wanneer zich achter het remmingwerk een belangrijke constructie bevindt.

De belangrijkste belasting van een remmingwerk is de botskracht. De representatieve waarde van deze botskracht wordt bepaald uit de hoeveelheid op te nemen energie (E, par. 15.4.1) en de veerstijfheid van het remmingwerk (F/δ , par. 15.4.2). Deze veerstijfheid wordt bepaald aan de hand van de gekozen constructie (buisdiameter, buislengte, inheidiepte, wanddikte, botspunt etc.) en de representatieve grondparameters.

De rekenwaarde van de belasting is het product van de belastingfactor maal representatieve waarde van de belasting. De botsbelasting wordt behandeld als bijzondere belasting - hoewel deze wel vaak optreedt

- waarvoor geldt belastingfactor 1,0. De rekenwaarde komt dus overeen met de representatieve waarde van de belasting.

Voor het doorrekenen van de staalconstructie worden rekenwaarden van de materiaalgrootheden toegepast zoals vloeigrens, treksterkte, elasticiteitsmodulus etc., door de representatieve waarde van deze materiaalgrootheden te delen door de materiaalfactor. Als materiaalfactor geldt voor staal 1,1 zodat de rekenwaarden 0,9 maal de representatieve waarden van de materiaalgrootheid bedragen.

Voor de grondeigenschappen benodigd voor het doorrekenen van de stabiliteit van de palen worden partiële materiaalfactoren toegepast behorend bij de veiligheidsklasse 1 (of 2) conform tabel 2.5 van CUR 166. Deze zijn groter dan 1. Dit levert rekenwaarden van de grondeigenschappen op (oftewel gereduceerde grondparameters, zoals passieve gronddrukcoëfficiënt, beddingsconstante etc.). In eerste instantie wordt de energie bepaald door de relatie botskracht / verplaatsing ter plaatse van het botspunt met behulp van representatieve waarden door te rekenen.

Met de rekenwaarden van de botsbelasting, van de staalparameters en van de grondparameters wordt de constructie doorgerekend. Hierbij wordt de grens van niet en wel vloeien of plooiën van het staal vrijwel bereikt. Het grondmassief voor de paal schuift echter niet weg.

Verdere zaken die bij het dimensioneren van remming- en geleidewerken relevant zijn, betreffen:

- de overige belastingen worden gedimensioneerd met de vigerende voorschriften;
- het staal van de palen en de liggers mag niet plooiën;
- de botskrachten mogen niet meer zijn dan de scheepshuid kan weerstaan, bijvoorbeeld 800 kN voor remmingwerken ten behoeve van binnenscheepvaart (eenheid op scheepshuid is kN/m²) en 1000 kN bij meerpalen;
- een maximum-uitwijking van het botspunt wordt gesteld, bijvoorbeeld 0,5 m;
- de kim van het schip mag de paal onder water niet raken.

Verder moeten er keuzes gemaakt worden over waterstanden, botspunten, levensduur en bodemniveau's (toelaten van ontgravingen of aanbrengen bodembekleding).

15.4.4 Onderhoud constructie

Bij het ontwerp van de constructie moet vooraf gekozen worden voor een bepaalde onderhoud-strategie, betrekking hebbend op mogelijke roestvorming en vervanging van onderdelen gedurende de gestelde levensduur. Belangrijk voor de roestvorming bij stalen remmingen is de agressiviteit van het water (vergelijk zout versus zoet water, vermindering wanddikte 0,12 versus 0,012 mm/jaar, Lit. [15.4]) en de plaats waar roestvorming vooral plaatsvindt (nabij de grens van water en lucht, bij damwanden vooral aan waterzijde).

Een strategie kan zijn het blijvend geconserveerd houden, het conserveren en later roestvorming toelaten of niet conserveren en direct laten roesten van de constructie (Opm. Ter plaatse van lassen is de afroestingsnelheid groter). Deze strategie wordt bepaald door externe omstandigheden, economie en wensen van de principaal en kan per onderdeel verschillen. Vaak wordt een conserveringsgrens getrokken van enkele meters onder de laagste waterstand (hiervoor wordt een corrosieprofieltekening gebruikt): onder deze grens wordt niet geconserveerd en boven deze grens wordt blijvend geconserveerd. Wordt roestvorming later of direct toelaatbaar geacht, dan moet de wanddikte van het staal ter plaatse van de maximum-momenten vergroot worden ten opzichte van wat voor de sterkte nodig is. Nadeel hiervan is dat de constructie te stijf kan zijn. Verder moet - om roestvorming tegen te gaan - speciale aandacht besteed worden aan de verbindingen (met contactcorrosie bij aansluiting thermisch verzinkte onderdelen), het afvoer van regenwater en het water in drijfbuisliggers.

Naast roestvorming moet ook gelet worden op gemakkelijke vervangbaarheid van de onderdelen. Kunststof of houten onderdelen (geleidingen, bekleding wrijfhout e.d.), schorten, balken e.d. moeten vanwege hun geringe levensduur of snelle kans op beschadiging gemakkelijk te vervangen zijn.

Verder is het belangrijk om de verschillende onderdelen zoveel mogelijk te standarisieren om zo weinig mogelijk reserveonderdelen in voorraad hoeven te hebben (universeel bruikbare onderdelen). Ook voor houten constructies geldt dat deze binnen de gestelde levensduur onderhoudsbewust ontworpen moet worden.

15.5 Scheeps-, water- en grondgegevens

15.5.1 Maatgevende schepen

Voor de belasting van remming- en geleidewerken is de scheepsmassa van belang en moet dus bekend zijn. Naast de scheepsmassa is ook de aanvaarsnelheid van belang voor de maximum-belasting. Deze aanvaarsnelheid hangt af van het schip: ongeladen schepen met hun dwarswindgevoeligheid of kleinere schepen hebben in de regel de hoogste aanvaarsnelheden. Het is daarom niet voldoende om alleen het grootste, geladen schip te selecteren maar ook kleinere of ongeladen schepen. Bij de selectie dient rekening gehouden te worden met de kans van voorkomen van de verschillende scheepstypen.

Voorbeeld selectie voor vaarweg-klasse V:

- geladen klasse V-schip ($110 \times 11,40 \times 3,90 \text{ m}^3$);
- geladen klasse IV-schip ($85 \times 9,50 \times 2,80 \text{ m}^3$);
- ongeladen klasse V-schip ($110 \times 11,40 \times 1,00 \text{ m}^3$).

15.5.2 Aanvaarsnelheden



Foto 15.7 Aanvaarmanoeuvere van schip klasse Vb tegen enkelzijdig remmingwerk Volkeraksluizen

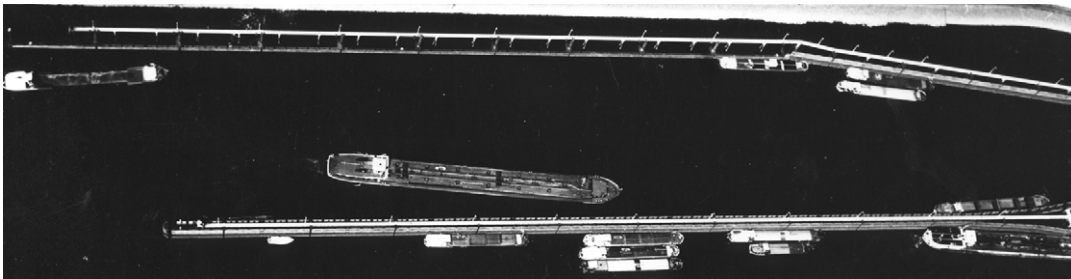
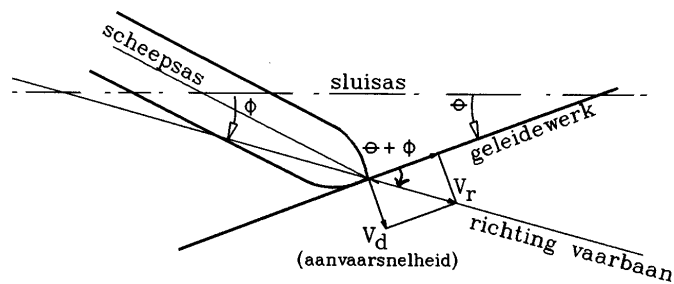


Foto 15.8 Aanvaarmanoeuvere van tanker klasse Va tegen tweezijdigremmingwerk Volkeraksluizen



Figuur 15.6 Aanvaarsnelheid

De loodrechte aanvaarsnelheid (fig. 15.6), dat wil zeggen de ontbondene van de snelheid van het botspunt op het schip loodrecht het remming-/geleidewerk, is mede bepalend (zoals reeds vermeld) voor de maximum-belasting van het remming- of geleidewerk.

De aanvaarsnelheid hangt van veel factoren af, zoals:

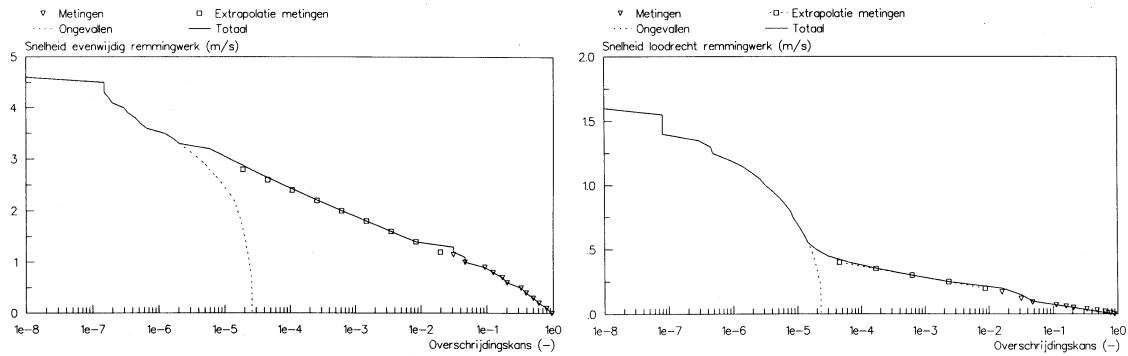
- het menselijk handelen (besturing, beoordeling, communicatie);
- het schip (scheepsgrootte, al of niet geladen zijn, motorvermogen, gebruik van boegschroef);
- de constructie (remming-/geleidewerk dan wel vrijstaande paal);
- de voorhaven (beschikbare ruimte, eventuele beschutting);
- de sluisbreedte;
- de waterdiepte;
- externe omstandigheden (wind, zicht en stroming zijn belastingverhogend);
- verkeersintensiteit.

Behalve de windinvloed op de aanvaarsnelheid moet tevens rekening worden gehouden met mogelijke windbelasting op het schip die direct aan de constructie wordt doorgegeven tijdens de botsing. (Speciaal bij veerboten en schepen met lege containers van grote invloed). Deze belasting wordt als externe kracht op het schip in rekening gebracht.

De aanvaarsnelheid moet gekoppeld worden aan de kans van optreden. Bepalend is hiervoor de verkeersintensiteit ten opzichte van de totale sluiscapaciteit en of het een remmingwerk, geleidewerk of vrijstaande paal betreft. Bij een groot percentage afmerende schepen (overliggers) zullen de remmingwerken (wacht- en opstelplaatsen) veel botsingen te verwerken krijgen. Botsingen tegen een geleidewerk (fuik) zullen met name optreden bij een smalle sluis ten opzichte van de scheepsbreedte of bij dwarswindhinder. Bij een vrijstaande paal om te overnachten zullen weinig botsingen optreden.

In Lit. [15.8] is onderzoek gedaan naar de aanvaarsnelheid van **remmingwerken** voor vaarwegklassen IV en V. Het onderzoek bestond uit een aantal delen.

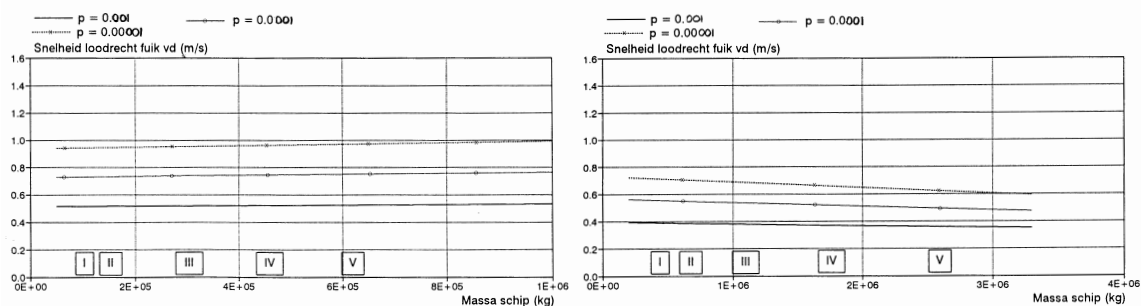
- Normale aanvaarsnelheid
In het eerste deel van het onderzoek zijn in een aantal voorhavens de aanvaarsnelheden tegen remmingwerken gemeten van schepen die op normale wijze gingen afmeren. Bekend waren de scheepsmassa's van de afmerende schepen en welk percentage schepen ging afmeren. Voor de diverse scheepsklassen zijn de metingen geëxtrapoleerd waarmee diagrammen verkregen werden waarin de aanvaarsnelheid staat uitgezet tegen de overschrijdingskans, betrokken op alle gepasseerde schepen. De aanvaarsnelheden zijn laag, de overschrijdingskans echter hoog.
- Extreme aanvaarsnelheid
Het tweede deel van het onderzoek betrof simulaties van ongevallen. Uit raadpleging van ongevallenbestanden zijn de frequentie van ongevallen in voorhavens met schade aan remmingwerken en de oorzaken van de ongevallen bepaald. De frequentie van ongevallen is erg laag. Met behulp van prototypemetingen zijn verdelingsfuncties van vaarsnelheden in voorhavens vastgesteld voor de diverse scheepsklassen. Met het rekenmodel SHIPMA, zijn uitgaande van de vaarsnelheden in de voorhaven en diverse ongevalsscenario's (o.a. harde dwarswind), een groot aantal simulaties uitgevoerd waarbij de schepen tegen het remmingwerk botsen. Het resultaat is eveneens een frequentieverdeling van aanvaarsnelheden van het remmingwerk. De aanvaarsnelheden zijn hoog, de overschrijdingskans echter laag.
- Integratie
Beide lijnen van aanvaarsnelheden (ongevalsmanoeuvre en normale aanlegmanoeuvre) maar met verschillende overschrijdingskansen zijn uitgezet in een diagram en sluiten redelijk op elkaar aan. De overschrijdingskans is betrokken op alle gepasseerde schepen. Bij een door de ontwerper te kiezen overschrijdingskans kan de aanvaarsnelheid afgelezen worden (fig. 15.7).
- Toepassing
Voorbeeld sluis Sambeek: overschrijdingskans $p = 0,0001$, geladen klasse Va (GRS-schip), aanvaarsnelheid 0,4 m/s.



Figuur 15.7 Snelheid evenwijdig en loodrecht remmingwerk

Tevens is onderzoek gedaan naar de aanvaarsnelheid van **geleidewerken (fuike)** voor vaarwegklasse V (Lit. [15.9]); hierbij is een andere methodiek gehanteerd:

- **Vaarsnelheid en hoek tussen vaarbaan en geleidewerk**
Bij diverse sluizen is een groot aantal metingen verricht naar de vaarsnelheden in de fuik en de hoek tussen vaarbaan en geleidewerk tijdens het invaren. Het blijkt dat het gemiddelde van de vaarsnelheid weinig en de standaardafwijking van de vaarsnelheid daarentegen sterk afhangt van de scheepsmassa. Schepen met een kleine massa (ongeladen grote en kleine schepen) kunnen veel hogere vaarsnelheden hebben dan schepen met een grote massa (grote, geladen schepen). Tevens blijkt dat de vaarsnelheid afhangt van de sluisbreedte ten opzichte van de scheepsbreedte (of blokkering van het sluisprofiel). De vaarsnelheden zijn voor de diverse scheepsklassen geëxtrapoleerd. De hoek tussen vaarbaan en geleidewerk bleek nauwelijks afhankelijk te zijn van de scheepsmassa.
- **Aanvaarsnelheid**
Voor alle metingen is uit de hoek tussen de vaarbaan en het geleidewerk en uit de vaarsnelheid de snelheid van het schip in de richting loodrecht op het geleidewerk bepaald. Laatstgenoemde snelheid wordt aangehouden als mogelijke aanvaarsnelheid van het geleidewerk wanneer het schip het geleidewerk geraakt zou hebben. In een diagram zijn deze aanvaarsnelheden als functie van de scheepsklasse uitgezet voor diverse overschrijdingskansen onder de conditie van het raken van het geleidewerk. Bij een schatting van de kans dat een schip het geleidewerk raakt (bijv. 1 op 100) kan de aanvaarsnelheid van het geleidewerk vastgesteld worden.
- **Toepassing**
Voorbeeld sluis Sambeek (fig. 15.8): overschrijdingskans $p = 0,0001$, fuik 1:5, klasse Va (GRS-schip), aanvaarsnelheid 0,50 m/s (geladen) en 0,75 m/s (ongeladen), uitgaande van een kans op raken van 1 op 100.



Figuur 15.8 Snelheid loodrecht geleidewerk voor ongeladen en geladen schepen

15.5.3 Waterstanden en bodemniveau

In verband met de hoogte van het remming-/geleidewerk, de eventuele noodzaak drijvende liggers toe te passen en het niveau van het botspunt, moeten de waterstanden in de voorhaven bekend zijn.

De hoogste waterstand waarbij het remming- of geleidewerk in alle opzichten nog moet kunnen functioneren (in staat zijn de botsingen op te nemen), is de waterstand die gedurende 1% van de tijd (voor rivieren 10%) wordt overschreden. Bij een nog hogere waterstand wordt meestal een reductie op de energie in rekening gebracht. Gedurende de levensduur moet de kans dat een drijfbuis in verband met een zeer hoge waterstand losraakt van de palen zeer klein zijn (bijvoorbeeld waterstand met een overschrijdingsfrequentie van 0,001). Als laagste waterstand waarbij de het geleide- of remmingwerk moet kunnen functioneren is de stand die 1% van de tijd wordt onderschreden. Wanneer er een reële kans bestaat dat een pand leeg kan lopen, moet een voorziening getroffen worden om drijfbuisliggers op vaste droogligopleggingen in de vorm van manchetten te plaatsen (foto 15.10).

Bij toepassing van drijfbuisliggers is het tevens nodig dat de mogelijke waterspiegelvariaties langs het remmingwerk bekend zijn omdat de drijfbuisliggers een beperkte helling in langsrichting kunnen hebben. Bekend moeten zijn de hoogte van de windgolven met hun golflengte, de hoogte van haalgolven van langsvarende schepen en steile translatiegolven (afslaan turbines van waterkrachtcentrale) waaruit de respons van een drijver hierop is af te leiden.

Het bodemniveau ter plaatse van de remmingwerken moet bekend zijn vanwege de inheidiepte en de stijfheid van de palen. Voor het laagste bodemniveau moet uitgegaan worden van erosie van de bodem door schroefstralen (bijvoorbeeld 0,5 tot 1 m) of door het eventueel later verdiepen van de voorhaven. Het hoogste bodemniveau kan ontstaan door sedimentatie, bijvoorbeeld in een voorhaven naast een rivier. Er zijn ook voorhavens met een geheel of gedeeltelijk beklede bodem (zetsteen, stortsteen of beton).

15.5.4 Grondeigenschappen

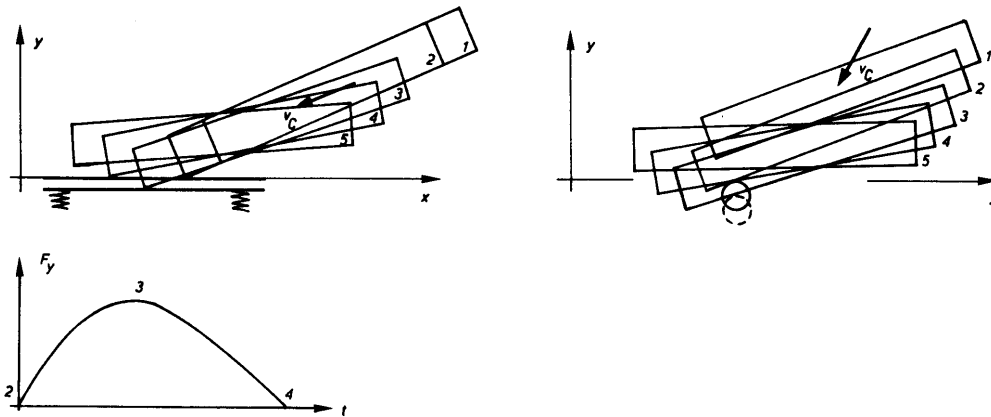
Voor het berekenen van de stabiliteit van de palen in de grond tegen de botskrachten is inzicht in de grondeigenschappen benodigd. Het grondonderzoek dient afgestemd te worden op de gekozen berekeningsmethodiek. Bij het vaststellen van de grondparameters dient ook rekening te worden gehouden met het dynamische karakter van de botsbelasting. Ter plaatse van de remming- en geleidewerken wordt een aantal sonderingen en boringen uitgevoerd. Hieruit en uit laboratoriumproeven (bijvoorbeeld triaxiaal- en pressiometerproeven) kan het grondprofiel samengesteld worden met de diverse grondlagen. Voor elke apart te onderscheiden grondlaag worden vastgesteld het bovenste/onderste niveau, de grondsoort, het volumegewicht onder water, de conusweerstand, de eventuele cohesie, de hoek van inwendige wrijving en de horizontale beddingsconstante.

Een volledig dynamische berekeningsanalyse vraagt ook om het in situ bepalen van een aantal dynamische (ongedraineerde) grondparameters. Deze worden bepaald met pressiometerproeven.

15.6 Doorrekenen hoofdconstructie

15.6.1 Interactie grond/remming/schip/water

Een varend schip botst tegen een remming- of geleidewerk of een vrijstaande paal. Het systeem bestaat uit vier factoren, te weten schip, water, remmingwerk en grond. Bij een gegeven beginsnelheid en massa van het schip zal de botskracht tussen schip en remmingwerk, de verplaatsing van het remmingwerk en de verdere beweging van het schip afhangen van alle vier factoren.



Figuur 15.9 Scheepsmanoeuvre tijdens botsing met doorgaand remmingwerk en vrijstaande meerpaal, Voorbeeld botskracht

Het in het horizontale vlak bewegende schip met een bepaalde massa ondervindt een botskracht van het remmingwerk (of geleidewerk of vrijstaande paal) waardoor zijn beweging verandert (fig. 15.9). Het water verzet zich deels tegen deze bewegingsverandering waarbij krachten door het water op het schip uitgeoefend worden. Het resultaat is een gewijzigde beweging van het schip na de botsing: een schip dat met een voorwaartse snelheid een remmingwerk onder een scherpe hoek treft draait na de botsing met zijn boeg van de remming af of blijft er eventueel langsschuiven.

Het remmingwerk wordt belast met dezelfde maar tegengesteld gerichte botskracht waarbij deze kracht via de horizontale ligger in de palen terechtkomt (fig. 15.9). (Opm. Bij een vrijstaande paal komt de botskracht rechtstreeks op deze paal). De palen buigen hierbij door waardoor de botskracht aan het grondmassief overgedragen wordt. Na de maximum-invering wordt het schip weer teruggeduwd door het verend vermogen van de paal in de grond en het remmingwerk, zodat na enige tijd het remmingwerk in zijn oorspronkelijke stand terugkomt.

Gedurende de botsing kunnen schip en remmingwerk geacht worden ter plaatse van het botspunt in de richting loodrecht op het remmingwerk aan elkaar gekoppeld te zijn waardoor de verplaatsingen van de botspunten van schip en remmingwerk in deze richting gelijk zijn. In de richting evenwijdig aan het remmingwerk (of geleidewerk) schuift het botspunt op het schip langs het remmingwerk. Voor een vrijstaande paal schuift het botspunt van de paal langs de romp van het schip.

De kinetische energie van het schip voor de botsing wordt gedurende de eerste helft van de botsing (d.w.z. tot het tijdstip van maximum-botskracht of invering) deels overgedragen naar het remmingwerk en de grond. Tijdens het tweede deel van de botsing gaat een deel van deze overgedragen energie weer via het remmingwerk terug naar het schip. Een ander deel van de overgedragen energie gaat verloren door het op gang brengen van het remmingwerk, door wrijving (schip/remmingwerk) en door demping van het systeem (water, schip, remmingwerk, grond).

15.6.2 Vereenvoudiging tot éénmassa-veersysteem

Een sterk vereenvoudigde berekening van het botsproces van een schip dat onder een hoek tegen een remmingwerk (of geleidewerk) vaart kan verkregen worden door het schip met omringend water te vervangen door een puntmassa en het in de grond geklemde remmingwerk te vervangen door een veer/demper. Er ontstaat dan een parallel gedempt éénmassa-veersysteem waarbij de puntmassa (of effectieve massa) met een bepaalde snelheid tegen het veer-dempersysteem botst. Van belang is daarbij de grootte van de effectieve massa met zijn snelheid en de grootte van de veerstijfheid en demping.

De grootte van de effectieve massa met zijn snelheid volgt uit het beschouwen van een rechthoekig lichaam met een massa die in een horizontaal vlak beweegt en aan het uiteinde een verende ondersteuning treft. Af te leiden is dat de massa die tegen de veer en demper botst een deel van de massa van het lichaam (of scheepsmassa) is. Genoemde massa wordt verhoogd om de invloed van het water te verdisconteren, wat de effectieve watermassa oplevert.

De snelheid van de effectieve massa komt overeen met de snelheid van het (botsende) uiteinde van het lichaam in de richting van de verplaatsing van de veer met demper, oftewel de aanvaarsnelheid.

De grootte van de veerstijfheid bij een aangenomen kracht volgt uit de uitbuiging van het remmingwerk op de plaats van het botspunt bij een aangenomen kracht. Ten opzichte van deze uitbuiging wordt de inverting van de scheepshuid verwaarloosd. Een botspunt ter plaatse van een remmingpaal is maatgevend voor dimensionering van deze paal; een botspunt halverweg twee remmingpalen is maatgevend voor de dimensionering van de hoofdligger. De uitbuiging is te bepalen uit de combinatie van de doorbuiging van de ligger zelf en uit de invertingen van de verende ondersteuningen van de ligger - zijnde de in de grond geklemde palen. Voor de bijdrage aan de demping door het remmingwerk wordt een realistische waarde geschat. Het dempingaandeel uit de grond (constructie-geometrische en elastoplastische) wordt uit grondonderzoek en modellering afgeleid.

Uit de effectieve massa, de aanvaarsnelheid en de veerstijfheid/demping kunnen de maximum-botskracht en de maximum-uitbuiging van het remmingwerk en de remmingwerkpalen berekend worden. Tevens kan de door het remmingwerk opgenomen hoeveelheid energie berekend worden die - zolang de aanvaarhoek klein is - een gedeelte is van de totale kinetische energie van het schip.

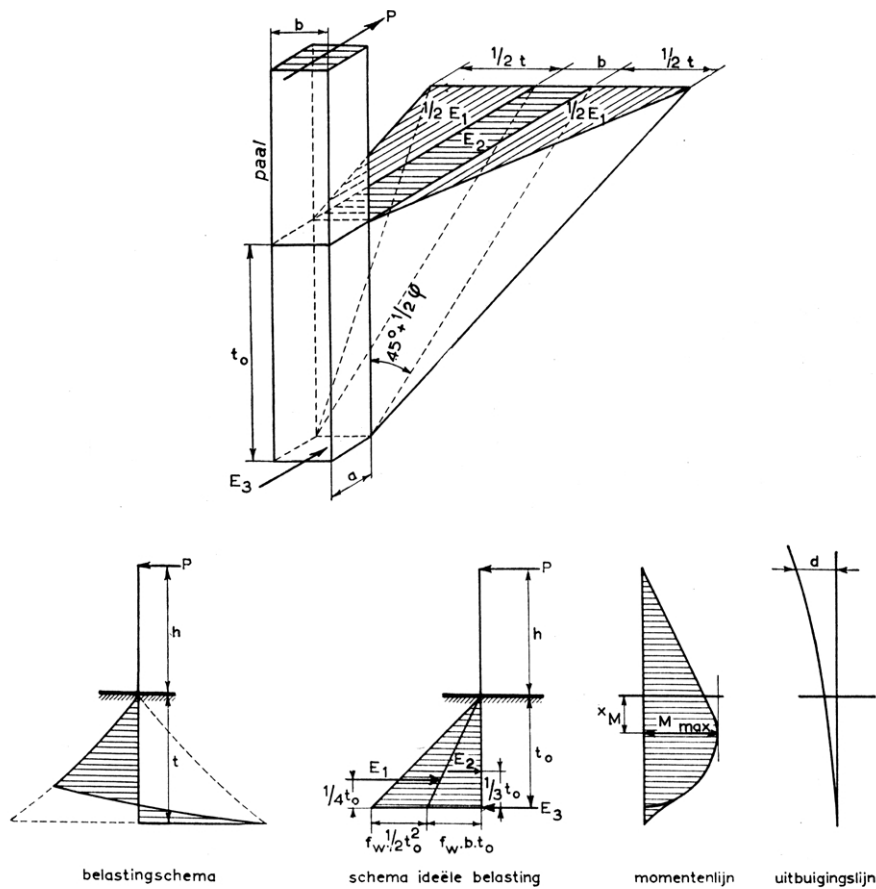
15.6.3 Uitwerking van éénmassa-veersysteem

Voor het berekenen van de botskracht en de uitbuiging van het remmingwerk volgens een gedempt éénmassa-veersysteem (vorige par.), zijn de effectieve massa, de beginsnelheid en de veerstijfheid/demping van het systeem van belang. Deze punten worden in deze paragraaf verder uitgewerkt. Voor het verdere ontwerp zijn de inheidiepte van de palen en de maximum-momenten in de palen en de liggers van belang. In deze paragraaf worden in korte bewoordingen vier punten behandeld:

- a inheidiepte en veerstijfheid enkele paal;
- b maximum-moment en veerstijfheid remmingwerk ter plaatse van de paal en in 't midden van de hoofdligger;
- c effectieve massa van het schip;
- d maximum-botskracht en verplaatsing remmingwerk.

De vier punten worden in formulevorm in de Appendices 15.1, 15.2 en 15.3 beschreven.

ad a Inheidiepte en veerstijfheid vrijstaande paal, Appendix 15.1



Figuur 15.10 Methode Blum met schelpvormig grondlichaam en belastingschema

Theorie:

Een vrijstaande paal belast door een externe, horizontale, dynamische kracht kan doorgerekend worden met de methode Blum (fig. 15.10). Blum veronderstelt een volledig elastisch gedrag van het paal-grondstelsel. Door de uitbuiging van de paal ontstaat een schelpvormig grondlichaam achter de paal dat de effectieve breedte van de paal als het ware doet toenemen. Het schelpvormig grondlichaam wordt op z'n plaats gehouden door het eigen gewicht, de passieve gronddrukken langs de omtrek van dit grondlichaam en de gemobiliseerde wrijving langs de grensvlakken.

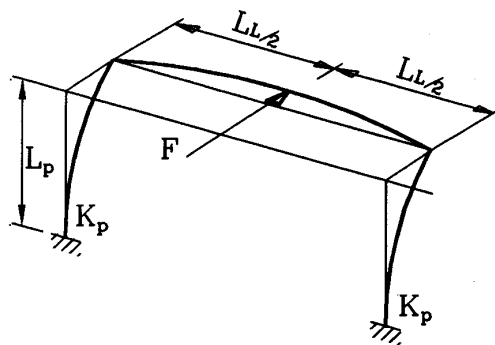
De externe horizontale kracht, de passieve gronddrukkracht van het schelpvormig grondlichaam (E_1 en E_2) zijn in horizontaal krachteenwicht met een tegenwerkende passieve gronddrukkracht onder het schelpvormig lichaam (daar waar de inklemming tot stand komt, E_3). Uit het momentenevenwicht ten opzichte van de tegenwerkende passieve gronddrukkracht volgt bij gegeven grondeigenschappen (nat volumegewicht, factor voor passieve gronddruk en schelpbreedte), paaldiameter en externe kracht, de benodigde inheidiepte van de paal. Blum veronderstelt dat tijdens de botsing geen water in of uit de grondschelp kan stromen en brengt daarom voor het eigen gewicht van de grond het volledig nat volumegewicht in rekening (ca. 20 kN/m³). Echter voor de dimensionering van de paal op (quasi-statische) troskrachten wordt wel het "onderwater-volumegewicht" (ca. 10 kN/m³) aangehouden.

Op het niveau waar de dwarskracht in de paal nul is, is het maximum-moment aanwezig. Uit het statisch moment van het oppervlak van de momentenlijn ten opzichte van de externe kracht en de EI van de paal volgt de doorbuiging ter plaatse van het botspunt. Met deze $F-\delta$ relatie ligt de veerstijfheid vast. Het blijkt dat de veerstijfheid enigermate afhangt van de externe kracht. Eventueel kan een fictieve inklemningslengte van de paal afgeleid worden.

In Appendix 15.1 zijn de formules gepresenteerd voor de inheidiepte, het maximum-moment en de veerstijfheid volgens een aangepaste methode "Blum". Voor een vrijstaande paal is voornoemde veerstijfheid, gegeven de op te nemen energie, direct toepasbaar voor verdere berekening van de botskracht.

Om bovengenoemde belastinggevallen uit te rekenen, wordt normaliter gebruik gemaakt van rekenprogramma's. In het rekenprogramma BLUM is een buigstijfheid (EI) in te voeren die over de lengte van de paal mag verlopen. Verder worden er rekenprogramma's toegepast voor damwanden (MSHEET = DAMWAND4) die volgens het principe van de ligger op een verende bedding werken. Hierbij worden de parameters voor de passieve gronddruk en de beddingsconstante kunstmatig verhoogd om tot uitdrukking te brengen dat een paal ook naastliggende grond mobiliseert (het schelpvormig grondlichaam). Bij slecht doorlatende grondlagen (bijvoorbeeld remmingwerken Oranjesluizen) wordt het rekenprogramma BOTS/TILLY gebruikt.

ad b Maximum moment en veerstijfheid remmingwerk , Appendix 15.2



Figuur 15.11 Doorbuiging remmingwerk

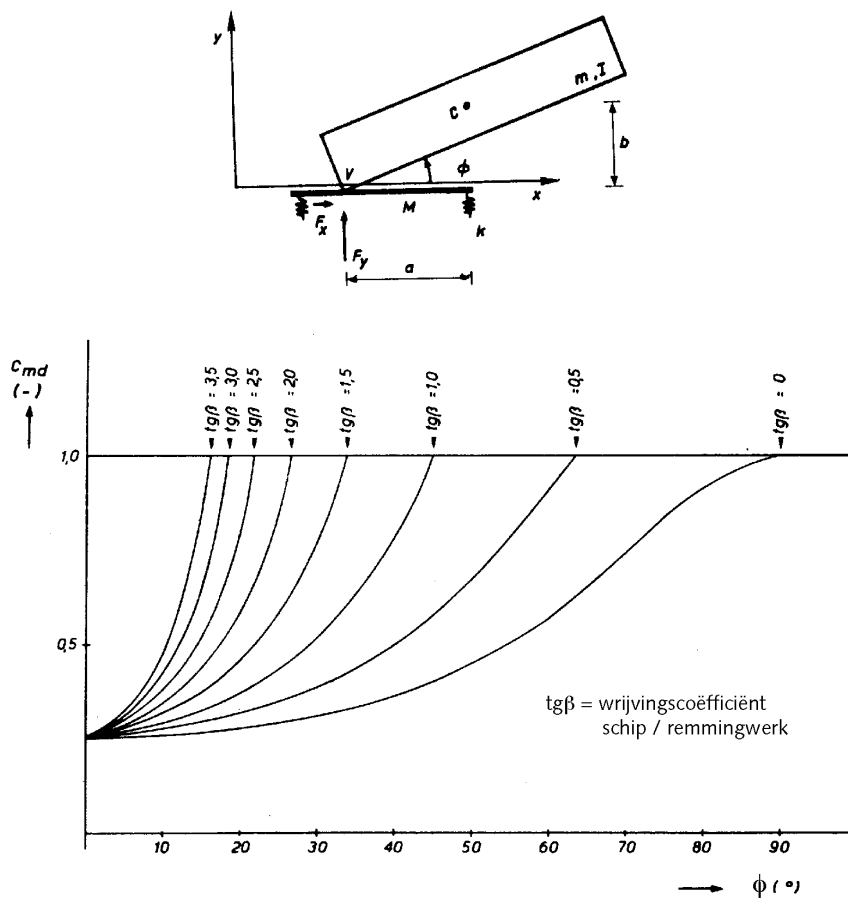
Een doorgaand remming- of geleidewerk heeft als constructieprincipe een aantal palen verbonden door een horizontale ligger. De ligger met zijn eigen doorbuiging is verend ondersteund door de palen (fig. 15.11). In Appendix 15.2 zijn twee typen remmingwerken behandeld, namelijk een door twee palen verend ondersteunde ligger en één die door drie palen verend wordt ondersteund. De kracht grijpt hierbij aan op de ligger.

De eerste situatie is een ligger op twee verende ondersteuning, waarbij de kracht op een paal, midden tussen twee palen, en aan het eind van het overstek naast de palen wordt aangebracht. Voor het maximum-moment in de paal is de situatie maatgevend als het botspunt samenvalt met de paal, voor het maximum-moment in de ligger als het botspunt midden tussen twee palen ligt en voor de maximum-doorbuiging als het botspunt op het overstek ligt. De tweede situatie betreft een ligger op drie verende ondersteuning met de kracht op de middelste paal, midden tussen twee palen en op een eindpaal.

Voor de genoemde situaties zijn de globale waarden van de veerstijfheid ter plaatse van de botskracht afgeleid. Deze grootte is een functie van de inklemmingslengte en de EI van de paal en van de paalafstand en de EI van de ligger. Bij een gegeven hoeveelheid op te nemen energie kunnen de botskracht, de doorbuiging ter plaatse, het maximum-moment in de paal en het maximum-moment in de ligger berekend worden.

Voor het doorrekenen van dergelijke raamwerken wordt gewoonlijk gebruik gemaakt van bestaande rekenpakketten zoals ESA Prima Win en SCIA W&B.

ad c Effectieve massa van het schip, Appendix 15.3



Figuur 15.12 Reductie massa door excentrische botsing

Indien een rechthoekig lichaam (schip) met zijn punt tegen een verende ondersteuning (remmingwerk) botst kan met behulp van de theoretische mechanica een uitdrukking gevonden worden voor de puntmassa van het vervangende éénmassa-veersysteem (Lit. [15.6]). Deze puntmassa is een deel van de echte massa en wordt uitgedrukt door middel van een *excentriciteit-coëfficiënt* (C_e in par. 15.4.1 of C_{md} in fig. 15.12) die afhangt van de aanvaarhoek, het rotatie-traagheidsmoment van het schip, de wrijvingscoëfficiënt tussen schip en remmingwerk en de plaats van het botspunt op het schip. In Lit. [15.4] is een iets andere excentriciteitscoëfficiënt gepresenteerd waarin de wrijving-coëfficiënt ontbreekt. Een reële waarde voor de excentriciteit-coëfficiënt is bijvoorbeeld ca. 0,30.

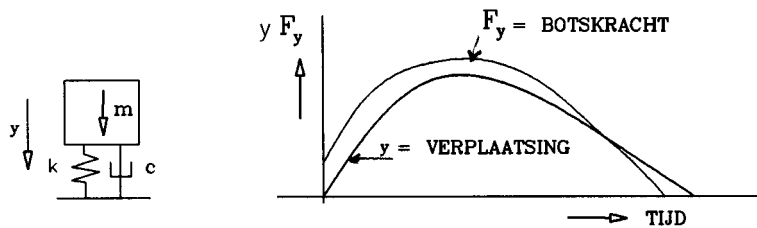
Met modelonderzoek is bij binnenvaartschepen de invloed van het water nagegaan (Lit. [15.6]). Hieruit bleek dat deze invloed verrekend kan worden als een vergroting van de puntmassa. Toegepast wordt een *hydrodynamische massacoëfficiënt* (C_m in par. 15.4.1) met als parameters de diepgang van het schip en de waterdiepte. In Lit. [15.3] wordt hiervoor een andere uitdrukking gepresenteerd waarin de parameters diepgang en breedte schip zijn verwerkt. Een reële waarde voor de hydrodynamische massacoëfficiënt is bijvoorbeeld ca. 1,2.

Voor de invloed van de vervorming van het schip wordt in Lit. [15.3] een reductie van de kinetische energie (of massa) ingevoerd met een *stijfheidscoëfficiënt* (C_s in par. 15.4.1) die bijvoorbeeld 0,95 bedraagt. In Lit. [15.6] wordt dit als een dampingterm ingevoerd, zie ad d.

De effectieve aanvaarenergie (of massa) is dan het produkt van de coëfficiënten met de scheeps-energie (of massa). Appendix 15.3 geeft een overzicht hiervan.

Voor de botsing van het schip tegen een vrijstaande paal kunnen overeenkomstige uitdrukkingen gevonden worden. Omdat het botspunt zich meestal tussen boeg en hek bevindt, is de effectieve massa groter dan bij doorgaande remmingwerken.

ad d Maximum-botskracht en verplaatsing remmingwerk, Appendix 15.3



Figuur 15.13 Gedempt éénmassa-veersysteem

Uit het voorgaande zijn de veerstijfheid ter plaatse van het botspunt, de effectieve massa en de aanvaarsnelheid afgeleid. Voor een éénmassa-veersysteem kunnen uitdrukkingen opgesteld worden voor de frequentie van de beweging, de maximum-kracht en de maximum-verplaatsing en de opgenomen energie (= verrichte arbeid remmingwerk). Botskrachten kunnen bijvoorbeeld maximaal 800 kN bedragen die in 1 of 2 s bereikt worden.

In Lit. [15.6] wordt voor remming- en geleidewerken een dampingsterm ingevoerd (relatieve damping van bijvoorbeeld 0,1) ter reductie van de botskracht en de verplaatsing als gevolg van damping van de samengestelde constructie van het remmingwerk en damping in de grond. Deze damping wordt bij een vrijstaande paal achterwege gelaten.

15.6.4 Ontwerpprocedure

Voorafgaand aan het ontwerp moeten de benodigde remming- en geleidewerken bepaald worden aan de hand van de gewenste layout in de voorhaven. Een economische keuze-argumentatie wordt gemaakt voor het type en de vorm van de remming- en geleidewerken (drijvend of vast remmingwerk, eenzijdig of tweezijdig remmingwerk, paalafstanden, paaldiameter, diameter hoofdligger, materiaalkeuze, schorten, fabricage/transport etc.). Voor het eigenlijke ontwerp van een remming- of geleidewerk kan in zijn eenvoudigste vorm als volgt te werk gegaan worden.

- 1 Aanvaarsnelheid en massa schepen, zie par. 15.5.1 en 15.5.2
Een aantal maatgevende schepen wordt gekozen met bijbehorende aanvaarsnelheid (bijv. 2 stuks).
- 2 Niveau botspunt en bodem, zie par. 15.5.3
Mogelijke niveaus van de botspunten worden vastgesteld binnen de begrenzing van de schorten. Bijvoorbeeld het hoogste punt bij de hoogste waterstand met een hoge duwstaven en het laagste punt op de laagste waterstand. Het hoogste en het laagste bodemniveau rondom de palen worden vastgesteld.
- 3 Inheidiepte en veerstijfheid palen, zie par. 15.6.3 (punt a) en 15.5.4
Bij een geschatte maximum-kracht op de paal worden de inheidiepte en de veerstijfheid van de palen berekend. Doorgerekend worden twee situaties, te weten slapste grond / laagste bodemniveau / hoogste botspunt boven de waterlijn en stijfste grond / hoogste bodemniveau / laagste botspunt boven de waterlijn. Dit levert een inheidiepte (de grootste) en twee veerstijfheden.
- 4 Veerstijfheid remmingwerk, zie par. 15.6.3 (punt b)
Voor een aantal plaatsen op het remmingwerk (tussen de palen, op een paal) en met de stijfste en slapste paal worden de veerstijfheden op de botspunten berekend; dit levert bijvoorbeeld 4 veerstijfheden.
- 5 Effectieve scheepsmassa, zie par. 15.6.3 (punt c)
Voor de gekozen schepen worden de effectieve massa's bepaald.
- 6 Botskracht, inverting en arbeid, zie par. 15.6.3 (punt d)
Voor de gekozen schepen en bijbehorende aanvaarsnelheid (bijv. 2 stuks) en de veerstijfheden van het remmingwerk (bijv. 4 stuks) worden botskracht, inverting remmingwerk en verrichte arbeid bepaald (bijv. 8 stuks). Nagegaan wordt of deze resultaten voldoen aan de gestelde eisen (par. 15.4.3).

7 Momenten in liggers en palen, zie par. 15.6.3 (punt b)

De maximum-momenten en dwarskrachten in de liggers en palen worden berekend. Hieruit worden de maximum-materiaalspanningen berekend en vergeleken met de toelaatbare waarden (par. 15.4).

Buisvormige palen en liggers worden gecontroleerd op mogelijke plooiverschijnselen. De buisvormige ligger wordt ook gecontroleerd op wringende momenten vanwege het excentrisch aangrijpen van de botskracht (via de schorten).

Bij de meerpalen wordt door het excentrisch aangrijpingspunt van de bolders deze paal op torsie (wringing) belast. Dit moet worden opgenomen door toelaatbare schuifspanningen in de grond.

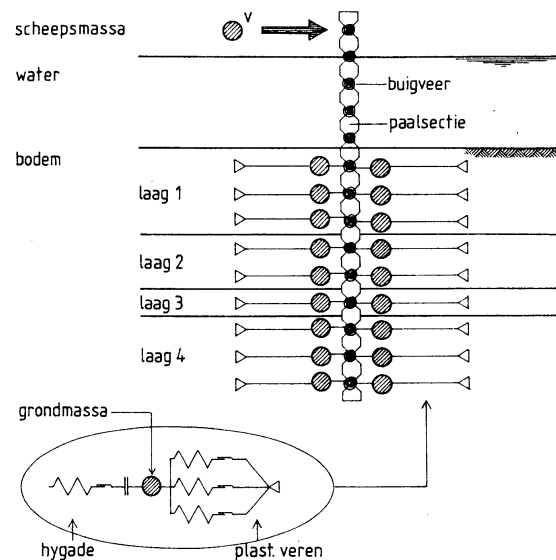
Wanneer het remmingwerk niet voldoet (toelaatbare spanningen overschreden, paal valt om, te grote uitbuiging e.d.) worden de paalafstanden, de inheidiepte van de palen of de EI van de palen of de ligger aangepast.

Te overwegen valt om de stijfheid van het remmingwerk midden tussen twee palen overeen te laten stemmen met de stijfheid ter plaatse van een paal om het remmingwerk over de gehele lengte flexibel te houden. Dit kan bereikt worden door een op elkaar afgestemde keuze van paalstijfheid, paalafstand en stijfheid ligger.

Als de stijfheid van de palen en de ondergrond (te) groot is kan overwogen worden fenders in de verbinding ligger/paal op te nemen. Dit komt voor bij vaste ondergrond met hoge sondeerwaarden (zand/grind) en/of kleine hefboomsarm tussen botspunt en inklemming van de paal.

15.6.5 Bijzondere rekenmethoden

Bij het voorontwerp van een eenvoudig remmingwerk in een vrij homogene grondslag en met een schip met voldoende kielspeling zal de in par. 15.6.2 t/m 15.6.4 genoemde rekenmethode voldoen om de hoofdafmetingen van het remmingwerk vast te stellen. Bij een meer complex remmingwerk, in sterk gelaagde of cohesieve grond, bij kleine kielspelingen en bij de uitwerking van voorontwerp tot definitief ontwerp zijn de genoemde rekenmethodieken onvoldoende.



Figuur 15.14 Schematisatie voor MPILE

Bij sterk gelaagde grond of cohesieve grond kan voor de horizontaal belaste, in de grond geklemde paal gebruik gemaakt worden van het rekenprogramma MPILE (Lit. [15.10, 12])(fig. 15.14). In dit programma wordt de paal opgedeeld in een aantal secties boven elkaar die buigvast met elkaar verbonden zijn.

In de grond worden de secties elk apart verend ondersteund waarbij de grondweerstand geschematiseerd wordt als een samenstel van niet-lineaire elasto-plastische veren op basis van F-y krommen (Lit. [15.11]). Deze krommen hangen af van de grondsoort en of de grond een gedraineerd of ongedraineerd gedrag vertoont (kan het water tussen de korrels wel of niet toe- of afstromen in de beschikbare tijd). In het algemeen geeft ongedraineerd gedrag (grote vervormingssnelheid) een hogere weerstand. Bij een opgelegde horizontale, dynamische kracht op de paal in de vorm van de botskracht en de buigstijfheid van de paal, kan de uitbuiging bij het botspunt berekend worden. De relatie tussen botskracht en uitbuiging ter plaatse van het botspunt kan vertaald worden naar een niet-lineaire veer/demper.

Een remmingwerk is een samengestelde constructie bestaande uit palen en een ligger. Voor het bepalen van de veerstijfheid op diverse plaatsen van het remmingwerk kan gebruik worden gemaakt van het rekenprogramma voor elastisch ondersteunde liggers, een twee- of driedimensionaal raamwerkprogramma of een programma gebaseerd op de Eindige Elementen Methode (DIANA of ANSYS) Hierbij worden de doorbuiging ter plaatse van de kracht en de maximum-momenten en dwarskrachten berekend bij gegeven buigstijfheid van de ligger en veerstijfheid (of beddingsconstanten) van de palen.

Het rekenprogramma BOTS (Lit. [15.6, 7]) is bedoeld voor de interactie tussen water/schip/remmingwerk. BOTS berekent de botskracht op en de verplaatsing van het remmingwerk bij schematisatie van het remmingwerk tot een (eventueel niet-lineair) veer/dempersysteem. De invloed van het water wordt meegenomen. Daarnaast worden ook de scheepbewegingen tijdens de botsing berekend. In plaats van een remmingwerk kunnen ook een of twee vrijstaande palen aangevaren worden. Het programma maakt gebruik van de impuls-responsietechniek. Een eenheidsimpuls op een schip in water resulteert in een gewijzigde scheepsbeweging. De bijbehorende impulsresponsiefuncties in de drie horizontale bewegingsrichtingen van het schip (incl. roteren) worden afgeleid van de toegevoegde watermassa en demping van het schip als functie van de frequentie. De botskracht is te beschouwen als een serie eenheidsimpulsen. Integratie van de impulsresponsies levert de botskracht op het remmingwerk en de scheepsbewegingen. Vooral als de kielspeling klein is (bijvoorbeeld bij zeeschepen) is de invloed van het water groot en zal BOTS een betrouwbaar resultaat leveren.

Op dit moment wordt voor de aanvaring van een remmingwerk of vrijstaande paal al gebruik gemaakt van de combinatie MPILE/BOTS. Uit de rekenmodule MPILE (paal/grond interactie) volgt de stijfheid (veer/damping) van het remmingwerk die in het rekenprogramma BOTS (paal/schip/water interactie) gebruikt wordt voor het berekenen van de botskracht en de uitbuiging van het remmingwerk. In de toekomst wordt de koppeling per tijdstap uitgevoerd in plaats van na elkaar.

15.6.6 Drijfvermogen en stabiliteit drijfbuisligger

Bij toepassing van een drijvend remmingwerk met vaste palen ligt een afgesloten, horizontale drijfbuisligger voor de palen. De buisligger heeft een bepaalde diepgang, bijvoorbeeld 65% van de buisdiameter. Het eigen gewicht van de buisligger tezamen met dat van spanten, schorten, looppad, contragewichten, eventuele bovenbelastingen, ballastwater in de buisligger enz. maakt evenwicht met de opwaartse kracht van het water. In Appendix 15.4 is een rekenwijze gegeven voor het bepalen van de diepgang van de buisligger als functie van het niveau van het ballastwater in de buisligger.

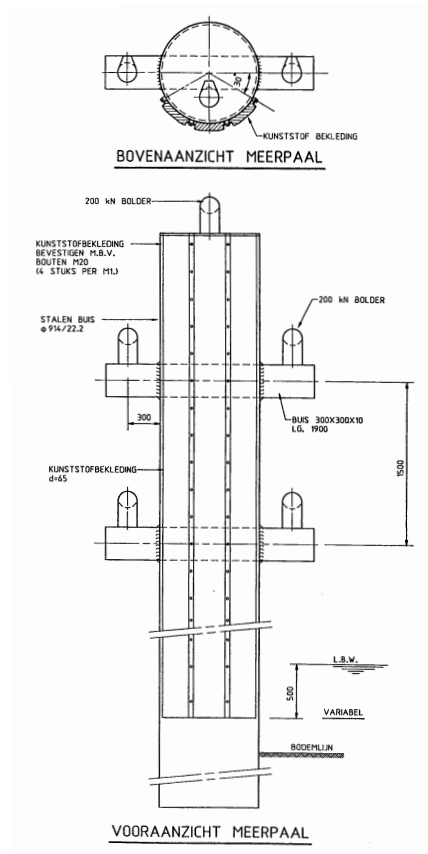
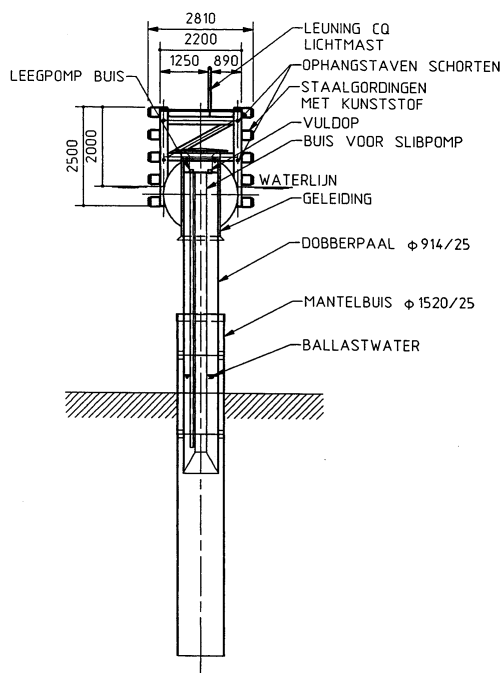
De buisligger wordt eenzijdig belast door het gewicht van spanten en schorten. Een tegenwerkend moment in de vorm van contragewichten aan de andere zijde is nodig om de in de remming gemonteerde drijfbuisligger in horizontaal evenwicht te houden. Hiermede wordt bereikt dat de buisligger drijvend aangevoerd kan worden en zonder veel wrijving langs z'n geleidingen schuift. Deze remming- en geleidewerken worden meestal over water en aan elkaar gekoppeld aangevoerd, daarna op het water gemonteerd en als laatste afgetrimd met contraballast en ballastwater.

15.7 Constructiedetails

De details zijn ontleend aan constructies toegepast bij sluizen in Limburg en worden in deze paragraaf slechts fragmentarisch behandeld.

Verticale buispalen

De wanddikte van de verticale stalen buispalen is meestal over de hoogte constant. Soms wordt op economische grond gekozen voor een wanddikte die voor het onderste deel groter is dan voor het bovenste deel om voldoende doorbuiging aan de top te hebben en het dikste materiaal daar te hebben waar het buigend moment maximaal is. De lasbewerking van dergelijke samengestelde palen is echter duur.



Figuur 15.15 Dobberpaal en vrijstaande meerpaal

Een dobberpaal (fig. 15.15a) bestaat uit een (buitenste) mantelbuis en een (binnenste) dobberbuis. Aan de dobberbuis zijn op twee niveaus kunststof manchetten aangebracht als geleiding tussen dobber- en mantelbuis. In de dobberbuis is een (verticale) binnenbuis aangebracht. In de ruimte tussen binnen- en dobberbuis bevindt zich ballastwater dat met een aparte zuigbuis aan- en afgevoerd kan worden.

Het voordeel van dit paalttype is dat de hefboomsarm tussen botspunt en inklemming in de grond onafhankelijk is van de buitenwaterstand. Door de verschillende waterstanden ontstaan wel wisselende belastingen op de manchetten. Hierdoor ontstaan verschillende reactiekrachten op de mantelbuis. Het nadeel is dat dergelijke ingewikkelde systemen gevoelig zijn voor maatafwijkingen en duur zijn in zowel aanleg als ook beheer en onderhoud.

Een vrijstaande meerpaal (fig. 15.15b) is bekleed met kunststof (of hout) en is voorzien van bolders.

Horizontale buisligger

Foto 15.9 Drijvende buisligger met pen- en gatverbindingen op montageplaats

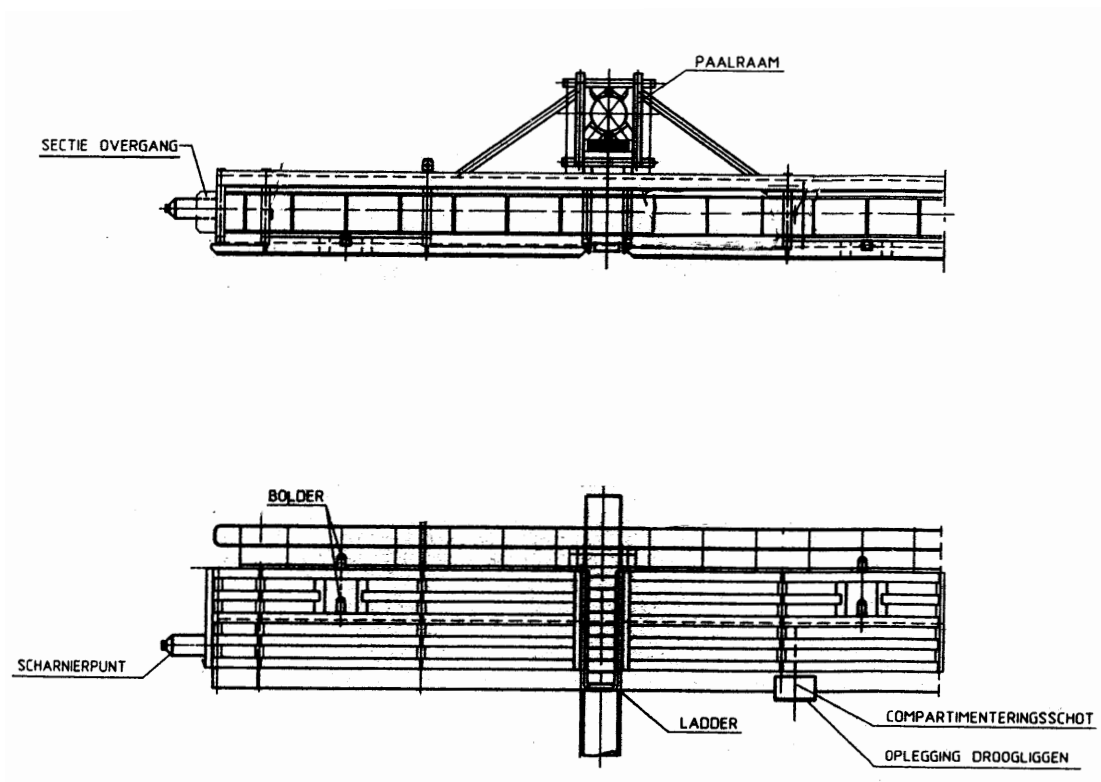


Fig. 15.16 Drijvend remmingwerk

Een horizontale, drijvende buisligger wordt in secties verdeeld van bijvoorbeeld 100 m (afhankelijk van acceptabele krachtwerking) (foto 15.9 en fig. 15.16). De verbinding hiertussen vindt plaats met een scharnier (pen en gat) die een bepaalde hoekverdraaiing in verticale en horizontale zin toelaat en een

dwarskracht kan overbrengen. Bij een buisliggerdiameter van 1,70 m is de diameter van de pen 0,50 m (bijvoorbeeld). Het doel van deze verbinding is om delen van het remmingwerk uit te kunnen wisselen bij schade of aanpassing van de voorhaven.

Om het drijvende remming-/ of geleidewerk op het beoogde niveau te krijgen moet de hoeveelheid water in de horizontale, drijvende buisligger geregeld kunnen worden. Hiervoor zijn afsluitbare gaten bovenin deze buisligger aangebracht.

In de horizontale buisligger zijn op enige afstand van elkaar verticale schotten gelast om de buisligger te compartimenteren en daarmee te voorkomen dat de buisligger zinkt als er een gat in de buisligger wordt gevaren.



Foto 15.10 Remmingwerk gesteund op droogligpalen tijdens extreem laagwater

Op enkele plaatsen onder de horizontale buisligger van drijvende remming- en geleidewerken worden soms droogligpalen geslagen terwijl op die plaatsen aan de onderzijde van de buisligger steunen aangebracht zijn. Deze voorziening zorgt ervoor dat bij extreem lage waterstanden de horizontale buisligger op de palen rust (foto 15.10).

Wanneer de horizontale, drijvende buisligger eenzijdig is voorzien van spanten en schorten wordt voor het horizontaal evenwicht aan de andere zijde op een aantal plaatsen een contragewicht (bijv. betonblok) of extra betonblokjes bij het paalraam aangebracht op uit de constructie stekende, horizontale liggers of ter plaatse van de paalramen (fig. 15.4).

Verbinding verticale buispalen met horizontale buisliggers

Bij een vast remmingwerk wordt een horizontale, doorlopende buisligger vastgelast aan de bovenzijde van de verticale buispalen. Het niveau van de horizontale buisliggeras komt overeen met het gemiddelde niveau van de schorten, de horizontale buisligger is dus boven water (fig. 15.4).

Bij een drijvend remmingwerk met dobberpalen wordt de horizontale buisligger verbonden met de bovenzijde van de verticale dobberbuispalen en vormt hiermee een geheel (foto 15.11).



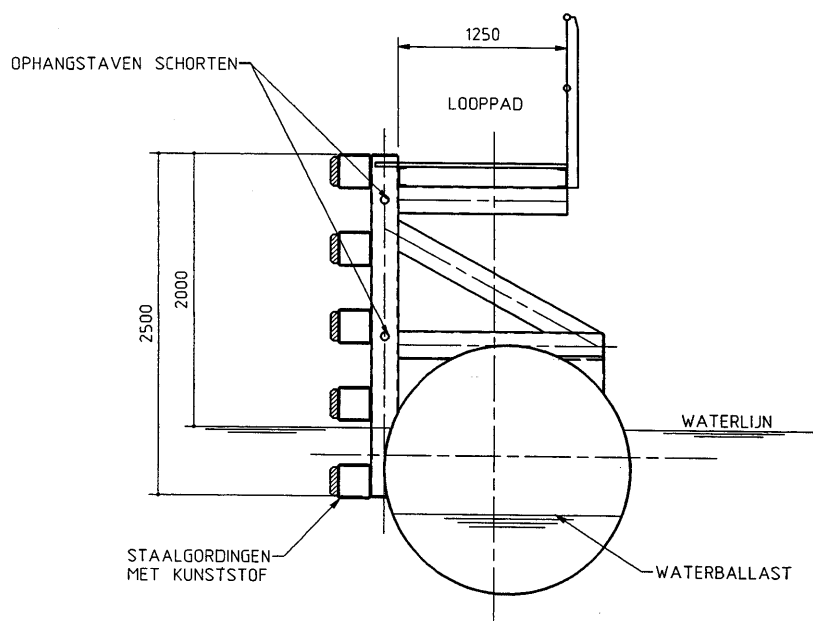
*Foto 15.11 Buisligger voor tweezijdig remmingwerk met dobberpalen op montageplaats
(Let op constructie aan buis voor verbinding met dobberpaal)*



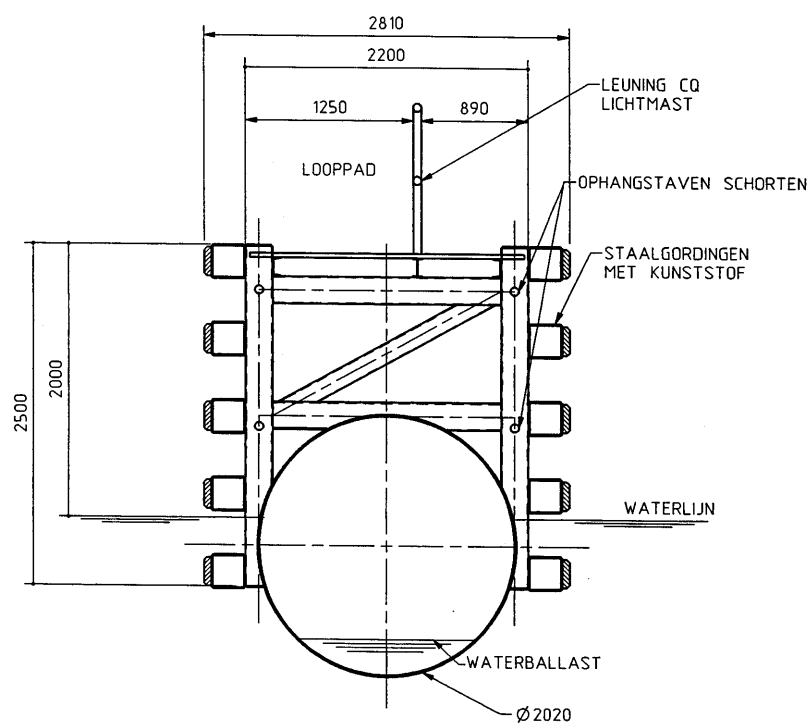
Foto 15.12 Paalraam met drijvende buisligger van geleidewerken van sluizen te Heel

Bij een drijvend remmingwerk met vaste verticale buispalen wordt de horizontale, drijvende buisligger met paalramen langs de verticale buispalen geleid (foto 15.12). Een paalraam bestaat uit de ribben van een open kubus en is uitgevoerd met aan elkaar gelaste stalen kokerprofielen. Het paalraam is via span-ten aan de horizontale buisligger bevestigd. In het boven- en ondervlak van de open kubus zijn cirkelvormige kunststof blokken aangebracht die langs de verticale buispaal glijden en fungeren als oplegging tussen paalraam en buispaal.

In de verbinding van paalraam met de schorten kunnen rubber fenders opgenomen worden als extra verend element wanneer de verticale buispalen zich (te) star in de grond gedragen.

Spanten

DRIJVENDE REMMINGWERK T.B.V. BEROEPSVAART



DRIJVENDE REMMINGWERK T.B.V. BEROEPSVAART

Figuur 15.17 Dwarsdoorsnede een- en tweezijdig drijvend remmingwerk

Zowel bij vaste als bij drijvende remming- en geleidewerken zijn aan de horizontale stalen buisligger spanten gelast waaraan de schorten hangen en het looppad bevestigd is (fig. 15.17). De spanten zorgen voor de overdracht van de botskracht van het schort naar de horizontale buisligger.

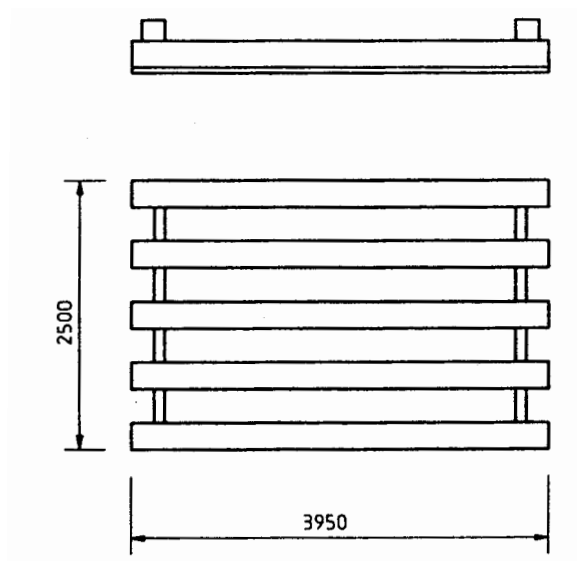
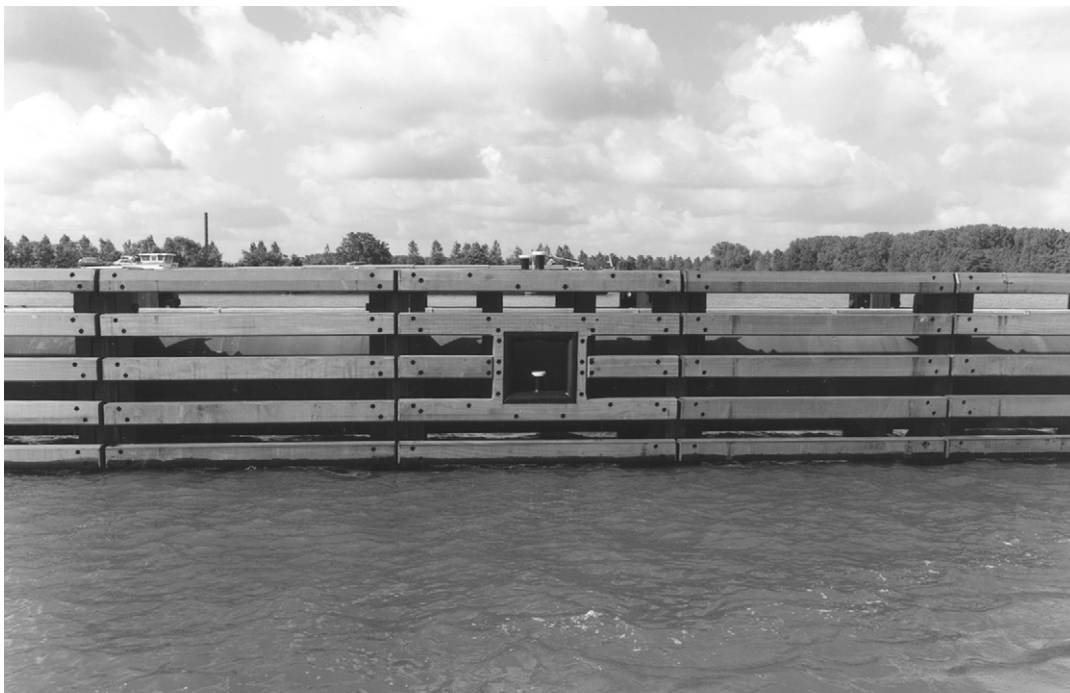


Foto 15.13 Spanten en schorten aan buisligger van vast geleide- en remmingwerk van Kleine Sluis te IJmuiden tijdens de bouw

Bij een drijvend remmingwerk bevindt de onderzijde van het spant zich op het niveau van de buisligger-as terwijl de bovenzijde van het spant boven de buisligger uitsteekt (fig. 15.17). Bij een vast remmingwerk steekt het spant aan de boven- en onderzijde van de (boven water gelegen) horizontale buisligger even veel uit (fig.15.4).

Het spant bestaat uit een combinatie van een of meer staanders, liggers en schoren en vormt een stijf geheel met de horizontale buis. Veelal wordt voor de spanten een onderhoudsvriendelijke vormgeving gekozen in de vorm van vierkante kokerprofielen die eenvoudig te conserveren zijn. Aan de staander zijn horizontale pennen aangebracht waaraan de schorten gehangen worden (foto 15.13). De onderlinge afstand van de staanders komt overeen met de schortlengte waarbij een staander zich tussen de uiteinden van twee schorten bevindt.

Bij recreatiesluizen is de hoogte van het schorten beperkt (tot meestal 3 horizontale stalen kokerprofielen) waardoor de staanders direct tegen de horizontale buisligger bevestigd kunnen worden. Wel kunnen recreatieremmingen op het energieniveau van beroepsvaart berekend worden in verband met de extra benuttingsmogelijkheid die dit geeft buiten het recreatieseizoen.

Schorten*Figuur 15.18 Schort**Foto 15.14 Hardhouten schorten van geleidewerken van Nieuwe Oranjesluis*

De voorzijde van het remmingwerk is voorzien van schorten die zorgen voor de overdracht van de botskracht naar de verticale spanten (fig. 15.18). De schortlengte is veelal 4 m, de schorthoogte 2,5 m (als voorbeeld voor CEMT Va). Een schort bestaat uit een gelast raamwerk van twee verticale kokers die aan de voorzijde verbonden zijn door meerdere horizontale stalen kokers. (NB. Tot voor kort werden voor de horizontale kokers azobé balken gebruikt, foto 15.14). De horizontale kokers zijn aan de voorzijde voorzien van een kunststof strook met vellingkanten (fig. 15.17). De schorten zijn met bouten en beugels (die over de pennen van de spanten vallen) aan de spanten bevestigd waardoor een schort bij beschadiging of onderhoud gemakkelijk te vervangen is.

Verdere details

Aan de liggers van een aantal schorten zijn bolders gelast, die berekend zijn op een trekkracht van een representatieve waarde van (bijvoorbeeld) 200 kN. Bij recreatievaart worden ook haalpenen bevestigd. De ladders zijn aan de verticale spanten bevestigd tussen twee schorten in.

De remmingwerken worden vaak van looppaden voorzien. Het looppad, de kabelgoot en lichtmasten zijn aan de bovenste ligger van de verticale spanten vastgemaakt. Speciale aandacht vereisen de aflooppaden bij de overgang van sluishoofd naar geleidewerk in verband met flexibiliteit overgang en krachts-overdracht.

Bij een vrijstaande meerpaal die direct met een loopbrug verbonden is met de vaste wal moet aandacht geschonken worden aan de oplegpunten van de loopbrug (scharnier en rol). Bovendien moet rekening gehouden worden met de massakrachten van de loopbrug tijdens een scheepsbotsing tegen de paal. Tussen de meerpaal en loopbrug wordt een stootbuffer aangebracht om de botskracht geleidelijker naar de loopbrug over te dragen.

Materiaalkeuze, conservering, bodembekleding, uitvoering

- De buizen hebben hoge staalkwaliteiten (X60 en hoger), andere onderdelen Fe 510 of 360.
- Alle buizen worden aan de uiteinden luchtdicht afgesloten.
- Alle buizen met aangelaste onderdelen worden meestal gecoat, andere onderdelen thermisch verzinkt. In gebieden zonder zout water is de coating op de verticale buispalen aangebracht tot 2 m onder het laagste waterstand.
- Bij sommige remming- en geleidewerken wordt rondom de palen bodembescherming gelegd om erosie van de bodem daar ter plaatse door schroefstralen te voorkomen. In kanalen met een dichte betonnen bodem wordt de bodem rondom de palen zorgvuldig afgedicht.
- Drijfbuisliggers worden meestal drijvend over water aangevoerd naar de bestemde plaats.
- In het kader van onderhoudsbewust ontwerpen dient altijd het optimum te worden gezocht tussen minimale investering en maximaal onderhoud (weinig staal met maximaal veronderhoud) en maximale investering met minimaal onderhoud (extra staaltoeslag in verband met corrosie zonder coating). De laatstgenoemde optie verdient meestal (in zoet water milieu) de voorkeur op economische gronden. Om esthetische redenen worden echter vaak toch de in het zicht zijnde onderdelen gecoat.

Literatuur:

- [15.1] Commissie Vaarweg Beheerders (CVB), 'Richtlijnen vaarwegen, CEMT-klassen I t/m V', Rotterdam, juni 1996.
- [15.2] Blum, H., 'Wirtschaftliche Dalbenformen und deren Berechnung', Bautechnik 1932.
- [15.3] Saurin, B.F., 'Berthing Forces on large tankers', the Dock and Harbour Auth., Vol. XLV, NS. 523-5, 1964, Vol. XLVII, Ns. 569, 1968.
- [15.4] 'Empfehlungen des Arbeitsausschusses Ufereinfassungen, Häfen und Wasserstrassen', EAU 1990, Berlin, 1990.
- [15.5] Vrijer, A., 'Fender Forces Caused by Ship Impacts', 8th International Harbour Congress, Antwerp, June 13-17, 1983.
- [15.6] Vrijburcht, A., 'Belasting op remmingwerken en dukdalven door varende schepen', Waterloopkundig Laboratorium, M1374 V/ R1401-III, juli 1983.
- [15.7] Vrijburcht, A., 'Loads on Fender Structures and Dolphins by Sailing Ships', Rijkswaterstaat Communications, no 49, 1991.
- [15.8] Driel, G. van, en Vrijburcht, A., 'Aanvaarsico's voor remmingwerken', Waterloopkundig Laboratorium, Q1401, Juli 1992.
- [15.9] Vrijburcht, A., 'Aanvaarsnelheden geleidewerken voorhavens Maasroute', Waterloopkundig Laboratorium, Q1815, Mei 1994.
- [15.10] Graaf, H.J. van der, 'Dynamisch belaste geleide- en afmeerconstructies', Cement 5/1995.
- [15.11] American Petroleum Institute: API recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms.
- [15.12] MPILE, Grondmechanica Delft, User's Manual PC-Model MPILE, Grondmechanica Delft, 1995.

Afschuivend grondlichaam

Passieve gronddruk tegen grondlichaam

Schema

Uitgangspunten:

- Stootvormig karakter belasting verdisconteerd door toepassen nat volume gewicht grond
- Alleen passieve gronddruk in rekening brengen met $\lambda_p = \tan^2 (45^\circ + \varphi/2)$
- Van naast liggende grond extra schelpwerking over breedte t_0 (met t_0 = theoretische inheidiepte)
- Niet-cohesieve, homogene grond
- Passieve gronddruk onderin vervangen door G_e

F	= horizontale belasting	[N]
D	= diameter paal	[m]
h_f	= hoogte hor. kracht boven maaiveld	[m]
t_o	= theoretische inheidiepte	[m]
t	= werkelijke inheidiepte	[m]
γ_n	= nat volumegewicht grond	[N/m ³]
λ_p	= $\tan^2 (45^\circ + \varphi/2)$	
$M_{\max}$	= maximum vloeimoment in paal	[Nm]
t_M	= hoogte maximum-moment onder maaiveld	[m]
k	= horiz. veerstijfheid tpv. belasting	[N/m]
y	= horiz. doorbuiging tpv. belasting	[m]

Σ M om G_e = 0 :

$$G_d \cdot t_0/3 + G_s \cdot t_0/2 - F(t_0 + h_f) = 0$$

Hierin zijn:

G _d	=	passieve gronddruk langs paal	[N]
G _s	=	passieve gronddruk langs schelp	[N]
G _e	=	passieve gronddruk onder het inklempunt	[N]

$$1/2 t_0 D \gamma_n \lambda_p t_0 t_0/3 + 1/3 t_0^2/2 \gamma_n \lambda_p t_0 t_0/2 - F t_0 - F h_f = 0$$

Oftewel:

$$t_o^4 + 2 D t_o^3 - 12 F t_o / (\gamma_n \lambda_p) - 12 F h_f / (\gamma_n \lambda_p) = 0$$

Hieruit is t_o op te lossen.

Eerste schatting theoretische inheidiepte t_o met $C_1 = D/t_o$ en $C_2 = t_o/h_f$:

$$t_o = \{ [12 (1 + C_2) F h_f] / [(1 + 2C_1) \gamma_n \lambda_p] \}^{1/4}$$

Werkelijke inheidiepte:

$$t = 1,2 t_o$$

Voorbeeld:

$$F = 500 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\gamma_n = 20 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3$$

$$\varphi = 30^\circ$$

$$\lambda_p = 3$$

$$h_f = 6 \text{ m}$$

$$C_1 = 0,2$$

$$C_2 = 1$$

Resultaat:

$$t_o = 5,40 \text{ m}$$

$$t = 6,48 \text{ m}$$

Bepaling maximum-moment:

Dwarskracht is 0 t.p.v. maximum-moment:

$$t_M^3 + 3 (t_o - t_M) t_M^2 + 3 D t_M^2 = 6 F / (\gamma_n \lambda_p)$$

Hieruit is t_M op te lossen.

Eerste schatting t_M met $C_3 = t_M / t_o$ en $C_1 = D / t_o$:

$$t_M = \{ [6 F C_3] / [\gamma_n \lambda_p (3 + 3 C_1 - 2 C_3)] \}^{1/3}$$

Maximum moment volgt uit:

$$M_{\max} = F (h_f + t_M)$$

Afstand L_M tussen belasting en maximum-moment is:

$$L_M = h_f + t_M$$

Voorbeeld:

$$F = 500 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\gamma_n = 20 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3$$

$$\lambda_p = 3$$

$$h_f = 6 \text{ m}$$

$$C_1 = 0,2$$

$$C_3 = 0,2$$

Resultaat:

$$t_M = 1,43 \text{ m}$$

$$M_{\max} = 3,72 \cdot 10^6 \text{ Nm}$$

$$L_M = 7,43 \text{ m}$$

Bepaling horiz. doorbuiging tpv. kracht:

Uit statisch moment van momentenvlak t.o.v. horizontale kracht volgt horizontale veerstijfheid k :

$$k \approx [3EI / (h_f + t_M)^3] * [1 + 1/2 (t_o - t_M) (3h_f + t_o + 2t_M) / (h_f + t_M)^2]^{-1}$$

Horiz. doorbuiging y is dan:

$$y = F / k$$

De fictieve inklemlengte L_p is:

$$L_p = [(3EI / k)]^{1/3}$$

Voorbeeld:

$$F = 500 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$h_f = 6 \text{ m}$$

$$t_M = 1,43 \text{ m}$$

$$t_o = 5,4 \text{ m}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$$

$$I = 0,01 \text{ m}^4$$

Resultaat:

$$k = 3,95 \cdot 10^6 \text{ N/m}$$

$$y = 0,127 \text{ m}$$

$$L_p = 11,7 \text{ m}$$

Appendix 15.2 Veerstijfheid en maximum-momenten van remmingwerken

Uitgangspunten:

- Buispalen ingeklemd in de bodem
- Buisligger scharnierend bevestigd aan palen
- Buisligger wordt belast door botskracht

Notaties:

D_p = diameter buispaal	[m]
D_L = diameter buisligger	[m]
δ_p = wanddikte buispaal	[m]
δ_L = wanddikte buisligger	[m]
L_p = (fictieve) inklemlengte	[m]
L_M = afstand tussen buisligger en maximum-moment in buispaal	[m]
L_L = afstand tussen twee palen	[m]
I_p = traagheidsmoment buispaal	[m ⁴]
I_L = traagheidsmoment buisligger	[m ⁴]
k_p = veerstijfheid afzonderlijke buispaal tpv. botskracht	[N/m]
k_L = veerstijfheid afzonderlijke buisligger midden tussen palen	[N/m]
F = horizontale botsbelasting.	[N]
E_y = opgenomen energie remmingwerk	[Nm]
E = elasticiteitsmodulus staal = $2,1 \cdot 10^{11}$	[N/m ²]
k = veerstijfheid remmingwerk tpv. botskracht	[N/m]
M_p = maximum-moment in buispaal	[Nm]
M_L = maximum-moment in buisligger	[Nm]

Afzonderlijke eigenschappen:

Traagheidsmoment buispaal

$$I_p = 0,4 D_p^3 \delta_p$$

Traagheidsmoment buisligger

$$I_L = 0,4 D_L^3 \delta_L$$

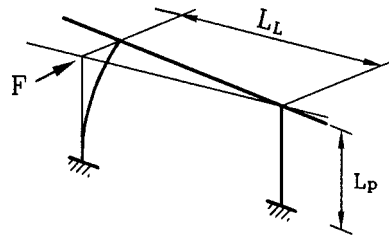
Veerstijfheid top buispaal

$$k_p = 3 E I_p / L_p^3$$

Veerstijfheid midden buisligger

$$k_L = 48 E I_L / L_L^3$$

Buisligger bevestigd aan 2 verende buispalen



Figuur 15.20 Belasting op paal

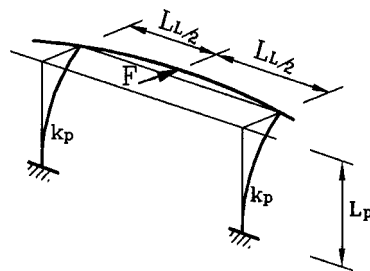
A: Belasting valt samen met paal:

$$k = k_p$$

$$M_p = F L_M$$

$$M_L = 0$$

B: Belasting valt precies midden tussen twee palen:



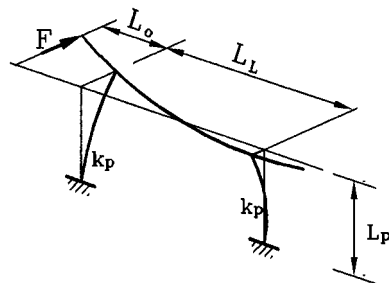
Figuur 15.21 Belasting tussen twee palen

$$k = (2 k_p k_L) / (k_L + 2 k_p)$$

$$M_p = F L_M / 2$$

$$M_L = F L_L / 4$$

C: Belasting valt op afstand L_0 naast een paal:



Figuur 15.22 Belasting naast een paal

$$k = [(1 + 2 L_0 / L_L + 2 L_0^2 / L_L^2) / k_p + L_0^2 (L_0 + L_L) / (3 E I_L)]^{-1}$$

$$M_P = F L_M (L_o + L_L) / L_L$$

$$M_L = F L_o$$

Voorbeeld :

Palen:

$$D_P = 0,80 \text{ m}$$

$$\delta_P = 0,02 \text{ m}$$

$$L_P = 10 \text{ m}$$

$$L_M = 6 \text{ m}$$

$$I_P = 0,0041 \text{ m}^4$$

$$k_P = 2,58 \cdot 10^6 \text{ N/m}$$

Ligger:

$$D_L = 1,70 \text{ m}$$

$$\delta_L = 0,01 \text{ m}$$

$$L_L = 50 \text{ m}$$

$$L_o = 25 \text{ m}$$

$$I_L = 0,0197 \text{ m}^4$$

$$k_L = 1,59 \cdot 10^6 \text{ N/m}$$

Resultaat:

	k (N/m)	M_P (Nm)	M_L (Nm)
A	$2,58 \cdot 10^6$	6 F	0
B	$1,21 \cdot 10^6$	3 F	12,5 F
C	$0,21 \cdot 10^6$	9 F	25 F

Uitgedrukt in energie:

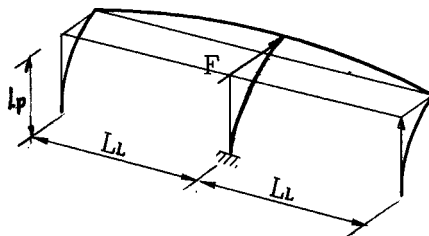
$$\text{Energie } E_y = \frac{1}{2} F y = \frac{1}{2} F^2 / k \text{ (in Nm)}$$

Dit geeft verplaatsing $y = \sqrt{(2 E_y / k)}$ en kracht $F = \sqrt{(2 k E_y)}$

	y (m)	F (N)	M_P (Nm)	M_L (Nm)
A	$0,00088 \sqrt{E_y}$	$2271 \sqrt{E_y}$	$13630 \sqrt{E_y}$	0
B	$0,00129 \sqrt{E_y}$	$1555 \sqrt{E_y}$	$4670 \sqrt{E_y}$	$19450 \sqrt{E_y}$
C	$0,00309 \sqrt{E_y}$	$650 \sqrt{E_y}$	$5850 \sqrt{E_y}$	$16250 \sqrt{E_y}$

Doorgaande buisligger bevestigd aan 3 verende buispalen

D: Belasting valt op middelste paal:



Figuur 15.23 belasting op middelste paal

Ligger ∞ stijf:

$$k = 3 k_p$$

$$M_p = F L_M / 3$$

$$M_L = F L_L / 3$$

Ligger ∞ slap:

$$k = k_p$$

$$M_p = F L_M$$

$$M_L = 0$$

Ligger met stijfheid:

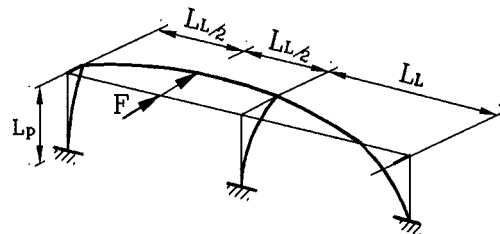
voor $\alpha = k_p / (k_L / 8 + k_p)$ en $1/3 < \alpha < 1$:

$$k = k_p / \alpha$$

$$M_p = F L_M \alpha$$

$$M_L = F L_L (1 - \alpha) / 2$$

E: Belasting valt precies midden tussen 2 palen:



Figuur 15.24 Belasting tussen twee palen

Ligger ∞ stijf:

$$k = 24 k_p / 11$$

$$M_p = 7 F L_M / 12$$

$$M_L = 7 F L_L / 24$$

Ligger ∞ slap:

$$k = 0$$

$$M_p = F L_M / 2$$

$$M_L = 0$$

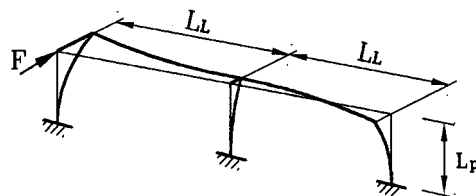
Ligger met stijfheid:

$$k = (2 k_p k_L) / (k_L + 2 k_p)$$

$$M_p = F L_M / 2$$

$$M_L = F L_L / 4$$

F: Belasting valt op eindpaal:



Figuur 15.25 Belasting op eindpaal

Ligger ∞ stijf:

$$k = 6 k_p / 5$$

$$M_p = 5 F L_M / 6$$

$$M_L = F L_L / 6$$

Ligger ∞ slap:

$$k = k_p$$

$$M_p = F L_M$$

$$M_L = 0$$

Voorbeeld :

Palen:

$$L_p = 10 \text{ m}$$

$$L_M = 6 \text{ m}$$

$$k_p = 2,58 \cdot 10^6 \text{ N/m}$$

Ligger met stijfheid:

$$L_L = 50 \text{ m}$$

$$k_L = 1,59 \cdot 10^6 \text{ N/m}$$

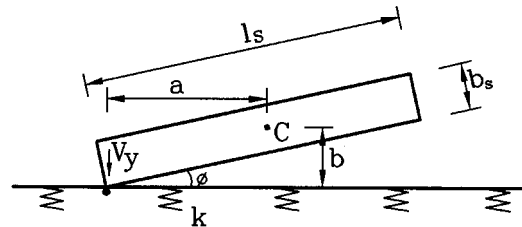
Resultaten:

$$\alpha = 0,93$$

	k (Nm)			M _p (Nm)			M _L (Nm)		
	ligger is ∞ stijf	ligger is ∞ slap	ligger met stijfheid	ligger is ∞ stijf	ligger is ∞ slap	ligger met stijfheid	ligger is ∞ stijf	ligger is ∞ stijf	ligger met stijfheid
D	$7,74 \cdot 10^6$	$2,58 \cdot 10^6$	$2,77 \cdot 10^6$	2 F	6 F	5,6 F	16,7 F	0	1,75 F
E	$5,63 \cdot 10^6$	0	$1,21 \cdot 10^6$	3,5 F	3 F	3 F	14,5 F	0	12,5 F
F	$3,10 \cdot 10^6$	$2,58 \cdot 10^6$		5 F	6 F		8,3 F	0	

Appendix 15.3 Botskrachtberekening

Doorgaand remmingwerk



Figuur 15.26 Belasting op doorgaand remmingwerk

Uitgangspunten:

- Botsing schip met remmingwerk
- Verend remmingwerk of verende ducdalf

Notaties:

l_s	= lengte schip	[m]
b_s	= breedte schip	[m]
d_s	= diepgang schip	[m]
m_s	= massa schip	[kg]
ϕ	= aanvaarhoek schip	[°]
$\tan \beta$	= wrijvingscoëfficiënt	[-]
h	= waterdiepte	[m]
k	= veerstijfheid t.p.v. botspunt	[N/m]
γ	= relatieve demping	[-]
v_y	= snelheid botspunt op schip loodrecht remmingwerk	[m/s]
F_y	= maximum-botskracht op remmingwerk	[N]
y	= doorbuiging remmingwerk tpv. botspunt	[m]
E_y	= maximum-energie remmingwerk	[Nm]

Formules methode I:

a	$= 1/2 (l_s \cos \phi - b_s \sin \phi)$
b	$= 1/2 (l_s \sin \phi + b_s \cos \phi)$
I	$= m_s l_s^2 / 12$
C_{md}	$= [1 + m_s a (a - b \tan \beta) / I]^{-1}$
C_{mv}	$= 1,1 + 0,05 d_s (h - d_s)$
m_m	$= C_{md} C_{mv} m_s$
ω	$= \sqrt{k / m_m}$
F_y	$\approx e^{-\gamma\pi/2} m_m v_y \omega$
y	$\approx F_y / k$
E_y	$\approx 1/2 m_m v_y^2$

Formules methode II:

a	$= 1/2 (l_s \cos \phi - b_s \sin \phi)$
-----	---

$$\begin{aligned}
 b &= 1/2 (l_s \sin \phi + b_s \cos \phi) \\
 r &= \sqrt{a^2 + b^2} \\
 k_r &= 0,29 l_s \\
 c_m &= 1 + 2d_s / b_s \\
 c_e &= k_r^2 / (r^2 + k_r^2) \\
 c_s &= 0,95 \\
 m_m &= c_m c_e c_s m_s \\
 \omega &= \sqrt{(k/m_m)} \\
 E_y &= m_m v_y \omega \\
 y &= F_y / k \\
 F_y &= 1/2 m_m v_y^2
 \end{aligned}$$

Gegevens voorbeeld:

$$\begin{aligned}
 l_s &= 110 \text{ m} \\
 b_s &= 11,40 \text{ m} \\
 d_s &= 4,00 \text{ m} \\
 m_s &= 4,5 \cdot 10^6 \text{ kg} \\
 \phi &= 15^\circ (0,262 \text{ rad}) \\
 \tan \beta &= 0,3 \\
 h &= 5 \text{ m} \\
 k &= 2,6 \cdot 10^6 \text{ N/m} \\
 \gamma &= 0,1 \\
 v_y &= 0,3 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

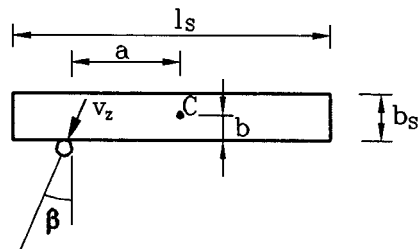
Resultaat voorbeeld methode I:

$$\begin{aligned}
 a &= 51,65 \text{ m} \\
 b &= 19,74 \text{ m} \\
 I &= 4,54 \cdot 10^9 \text{ kgm}^2 \\
 c_{md} &= 0,30 \\
 c_{mw} &= 1,3 \\
 m_m &= 1,76 \cdot 10^6 \text{ kg} \\
 \omega &= 1,21 \text{ rad/s} \\
 F_y &= 0,546 \cdot 10^6 \text{ N} \\
 y &= 0,21 \text{ m} \\
 E_y &= 0,079 \cdot 10^6 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Resultaat voorbeeld methode II:

$$\begin{aligned}
 a &= 51,65 \text{ m} \\
 b &= 19,74 \text{ m} \\
 r &= 55,3 \text{ m} \\
 k_r &= 31,9 \text{ m} \\
 c_m &= 1,70 \\
 c_e &= 0,25 \\
 c_s &= 0,95 \\
 m_m &= 1,82 \cdot 10^6 \text{ kg} \\
 \omega &= 1,19 \text{ rad/s} \\
 F_y &= 0,649 \cdot 10^6 \text{ N} \\
 y &= 0,25 \text{ m} \\
 E_y &= 0,082 \cdot 10^6 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Vrijstaande paal



Figuur 15.27 Belasting op vrijstaande paal

Uitgangspunten:

- Verende ducdalf
- Botsing schip met ducdalf

Notaties:

F_z	= maximum-botskracht op ducdalf	[N]
z	= doorbuiging ducdalf tpv. botspunt	[m]
E_z	= maximum-energie ducdalf	[Nm]

Formules methode I:

a	= gegeven
b	= $b_s / 2$
I	= $m_s l_s^2 / 12$
C_{md}	= $[1 + m_s a (a - b \tan \beta) / I]^{-1}$
C_{mv}	= $1,1 + 0,05 d_s (h - d_s)$
m_m	= $C_{md} C_{mw} m_s$
ω	= $\sqrt{k / m_m}$
F_z	= $m_m v_z \omega$
z	= F_z / k
E_z	= $1/2 m_m v_z^2$

Formules methode II:

a	= gegeven
b	= $b_s / 2$
r	= $\sqrt{a^2 + b^2}$
k_r	= $0,29 I_s$
c_m	= $1 + 2 d_s / b_s$
c_e	= $k_r^2 / (r^2 + k_r^2)$
c_s	= $0,95$
m_m	= $c_m c_e c_s m_s$
ω	= $\sqrt{k / m_m}$
F_z	= $m_m v_z \omega$
z	= F_z / k
E_z	= $1/2 m_m v_z^2$

Gegevens voorbeeld:

a	= 25 m
l_s	= 110 m
b_s	= 11,40 m
d_s	= 4,00 m
m_s	= $4,5 \cdot 10^6$ kg

$$\begin{aligned}\beta &= 16,7^\circ \text{ (tg } \beta = 0,3) \\ h &= 5 \text{ m} \\ k &= 2,6 \cdot 10^6 \text{ N/m} \\ v_z &= 0,3 \text{ m/s}\end{aligned}$$

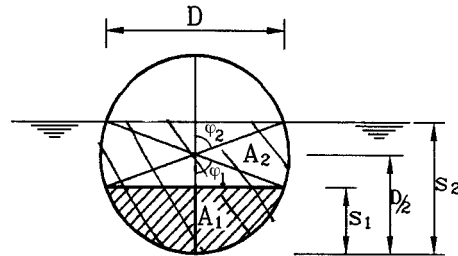
Resultaat voorbeeld methode I:

$$\begin{aligned}b &= 5,70 \text{ m} \\ I &= 4,54 \cdot 10^9 \text{ kgm}^2 \\ c_{md} &= 0,63 \\ c_{mw} &= 1,3 \\ m_m &= 3,69 \cdot 10^6 \text{ kg} \\ \omega &= 0,84 \text{ rad/s} \\ F_z &= 0,93 \cdot 10^6 \text{ N} \\ z &= 0,36 \text{ m} \\ E_z &= 0,166 \cdot 10^6 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Resultaat voorbeeld methode II:

$$\begin{aligned}b &= 5,70 \text{ m} \\ r &= 25,64 \text{ m} \\ k_r &= 31,9 \text{ m} \\ c_m &= 1,70 \\ c_e &= 0,61 \\ c_s &= 0,95 \\ m_m &= 4,43 \cdot 10^6 \text{ kg} \\ \omega &= 0,766 \text{ rad/s} \\ F_z &= 1,02 \cdot 10^6 \text{ N} \\ z &= 0,39 \text{ m} \\ E_z &= 0,199 \cdot 10^6 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Appendix 15.4 Indompeling drijvende ligger



Figuur 15.28 Indompeling drijvende ligger

Uitgangspunten:

- De ronde buis is gedeeltelijk gevuld met water
- Drooggewicht van buis met constructie, buitendiameter en lengte van buis en waterdiepte in buis zijn bekend
- Gevraagd wordt de diepgang van buis in water
- Wanddikte buis wordt in berekening verwaarloosd ten opzichte van diameter buis

Notaties:

D	= diameter buis	[m]
L	= lengte buis	[m]
S ₁	= waterdiepte in buis	[m]
G _{constr}	= gewicht constructie zonder water	[N]
S ₂	= diepgang buis	[m]

Formules voor diepgang:

Hoeken in radialen

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= \arccos(1 - 2 S_1 / D) \\ A_1 &= D^2 (\varphi_1 - \frac{1}{2} \sin(2 \varphi_1)) / 4 \\ G_{A1} &= \rho_w g A_1 L \\ G_{tot} &= G_{constr} + G_{A1} \\ A_2 &= G_{tot} / (\rho_w g L)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{als } A_2 &> \pi D^2 / 8 \\ \varphi_2 - \frac{1}{2} \sin(2 \varphi_2) &= 4 (\frac{1}{4} \pi D^2 - A_2) / D^2 \\ \text{hieruit } \varphi_2 &\text{ oplossen} \\ S_2 &= \frac{1}{2} D (1 + \cos \varphi_2)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{als } A_2 &< \pi D^2 / 8 \\ \varphi_2 - \frac{1}{2} \sin(2 \varphi_2) &= 4 A_2 / D^2 \\ \text{hieruit } \varphi_2 &\text{ oplossen} \\ S_2 &= \frac{1}{2} D (1 - \cos \varphi_2)\end{aligned}$$

Rekenvoorbeeld:

Gegevens:

$$\begin{aligned}D &= 1,70 \text{ m} \\ S_1 &= 0,40 \text{ m} \\ G_{constr} &= 500 \cdot 10^3 \text{ N} \\ L &= 50 \text{ m}\end{aligned}$$

Resultaten:

φ_1	= 1,013 rad
A_1	= 0,407 m ²
G_{A1}	= 199,8*10 ³ N
G_{tot}	= 700*10 ³ N
A_2	= 1,427 m ²
$\varphi_2 - \frac{1}{2} \sin (2 \varphi_2)$	= 1,16
φ_2	= 1,35 rad
S_2	= 1,035 m



Foto 16.1 Bodembescherming in den droge aangebracht voor de Bergse Diepsluis

Hoofdstuk 16 Bodembeschermingen

16.1 Inleiding

De functie van de bodembescherming ligt in het woord besloten, namelijk het beschermen van de bodem bij en eventueel in de schutkolk van een sluis tegen erosie als gevolg van het stromende water om te voorkomen dat de stabiliteit van de schutsluis gevaar loopt.

Doel van dit hoofdstuk is een methodiek aan te reiken waarmee een voorontwerp gemaakt kan worden van een bodembescherming bij een schutsluis. Het gaat om normale stromingssituaties waar met stortsteen volstaan kan worden.

Verdere detaillering van het voorontwerp, bijzondere of gecompliceerde stromingssituaties, bodembescherming anders dan stortsteen, oeverbekledingen en uitvoeringsaspecten komen niet of in beperkte mate aan de orde. Verwezen wordt naar de genoemde literatuur, de documentatie van bestaande ontwerpen of deskundigen.

Over de vorm van het hoofdstuk wordt het volgende opgemerkt:

- in sommige paragrafen zijn veel formules gepresenteerd om een kwantitatieve afschatting van de bodembescherming mogelijk te maken. Deze paragrafen worden afgesloten met voorbeeldberekeningen;
- een aantal nieuwe afleidingen wordt gepresenteerd omdat de bestaande literatuur met name betrekking heeft op andere stromingssituaties dan die bij een schutsluis;
- de toelichting op formules is summier en alleen bedoeld om het inzicht te verhogen.

Het hoofdstuk omvat twee delen, te weten het afleiden van de hydraulische belastingen en het ontwerp van de stortsteen bekleding.

In par. 16.3 en par. 16.4 (1^e deel) komen de hydraulische belastingen aan de orde. Par. 16.3 geeft een opsomming van de mogelijke oorzaken van hoge stroomsnelheden aan de bodem nabij schutsluizen en par. 16.4 behandelt in kwantitatieve zin de stroomsnelheden aan de bodem als gevolg van vul- en ledigingsstromen en als gevolg van de schepen zoals schroefstralen, retourstromingen en boegschroefstralen.

In par. 16.5 t/m par. 16.7 (2^e deel) wordt het ontwerp van de stortsteen bekleding behandeld. Achtereenvolgens komen de toplaag (par. 16.5), de plaats en de lengte (par. 16.6) en de opbouw (par. 16.7) van de bodembescherming aan de orde.

Voorafgaand aan deze paragrafen worden eerst de functies en eisen van bodembescherming opgesomd (par. 16.2). Het hoofdstuk wordt afgesloten met enkele alternatieven voor stortsteen bekledingen (par. 16.8).

Voor het bepalen van oeverbescherming in vaarwegen wordt verwezen naar het rekenprogramma DIPRO (Lit.[16.19]). Dit programma rekent met de belasting van primaire en secundaire scheepsgolven en schroefstralen van hoofdschroef en boegschroef.

16.2 Functie en eisen

16.2.1 Functie

Om aan de functionele eisen van schutten en keren van het water te kunnen voldoen, is het nodig dat de stabiliteit van sluishoofden en sluiskolk gewaarborgd blijft. Onderminning hiervan is mogelijk door erosie van de nabijgelegen bodem als gevolg van hoge stroomsnelheden: ontgrondingskuilen kunnen tot afschuivingen van de ondergrond leiden. De stroomsnelheden worden veroorzaakt door stralen die zijn ontstaan door openingen in of om de deuren (of riolen in het sluishoofd) waar een verval overheen staat of door in- en uitvarende schepen. Beschermen van de bodem tegen de overtrekkende stroming met behulp van een stortsteen bekleding verzekert de bodemligging, afgezien van zetting en klink. De bekleding ligt op een filterlaag die er voor zorgt dat de bodem (het basismateriaal) niet uitspoelt ten gevolge van drukverschillen boven en onder de bekleding.

De bodem bij de remming- en geleidewerken of grondkerende damwanden in de fuik en de voorhaven wordt eveneens aangevallen door stromingen als gevolg van manoeuvrerende schepen. Wanneer de bodem hier teveel door wordt ontgrond, zodat de stabiliteit van de constructies in gevaar komt, moeten ook hier de nabijgelegen bodem en oever met stortsteen beschermd worden.

De functie van de bodembescherming kan daarom samengevat worden als het beschermen van de bij de constructie (sluishoofd, sluiskolk, remmingwerk, damwand etc.) gelegen bodem tegen erosie als gevolg van het stromende water om te voorkomen dat de stabiliteit van genoemde constructie gevaar loopt.

16.2.2 Eisen

Om aan de functie van de bodembescherming te kunnen voldoen, wordt een aantal eisen van functionele en operationele aard gesteld.

- **Stabiliteit (toplaag)**
De bodembescherming dient bestand te zijn tegen de optredende hydraulische belastingen (toplaagstabiliteit). De belangrijkste hydraulische belastingen zijn meestal ledigingsstromen, schroefstralen, boegschroefstralen en retourstromen.
- **Horizontale afmetingen**
De bodembescherming moet zodanige horizontale afmetingen hebben (lengte en breedte) dat als gevolg van de optredende erosie aan de rand van de bodembescherming een eventuele grondmechanische instabiliteit als gevolg van een ontgrondingskuil geen bedreiging vormt voor de schutsluis (of het remming- en geleidewerk of de damwand).
- **Verticale opbouw (filter)**
De verticale opbouw van de bodembescherming dient zodanig te zijn dat door de optredende drukverschillen onder en boven de bekleding geen of nauwelijks transport van het basismateriaal (de bodem) in verticale of horizontale richting optreedt. Dit om te voorkomen dat er alsnog erosie plaatsvindt door de toplaag heen.
Bij een granulaire filter worden verschillende filterlagen tussen bodem en toplaag aangebracht. De onderlinge verhouding van korreldiameters van twee opeenvolgende lagen moet zodanig zijn dat nauwelijks tot geen materiaaltransport van de onderliggende laag door de bovenliggende laag op kan treden.
Bij toepassing van een filter met een geotextiel kunnen één of meerdere filterlagen weggelaten worden. Aan het geotextiel worden eisen opgelegd aan de verhouding maaswijdte van de mat en de korreldiameter van de onderliggende laag.
- **Overgangen, aansluitingen**
Waar de bodembescherming eindigt zal erosie optreden. De rand dient zo flexibel te zijn dat deze de ontgrondingen zonder grote problemen kan volgen.

De aansluiting van de bodembescherming tegen harde constructies moet zorgvuldig uitgevoerd worden om daar mogelijke erosie van het basismateriaal tegen te gaan.

- **Levensduur**
Aangezien het vervangen van moeilijk bereikbare onderdelen van een bodembescherming (zoals een geotextiel) complex is en grote financiële consequenties heeft, wordt veelal geëist dat de levensduur van de onderdelen gelijk is aan die van de totale constructie. Voor schutsluizen is dit (bijvoorbeeld) 100 jaar, voor remming- en geleidewerken (bijvoorbeeld) 50 jaar.
- **Faalkans**
Zowel de hydraulische belasting als de sterkte van de bodembescherming zijn stochastische grootheden. De kans bestaat dat de sterkte van de bodembescherming onvoldoende is, waardoor falen kan optreden. De toelaatbare faalkans van de bodembescherming dient te worden afgeleid uit de toelaatbare faalkans van de gehele schutsluis.
- **Scheepvaartseisen**
Vanwege het huidige (en het in de naaste toekomst te verwachten) scheepvaartverkeer boven de bodembescherming worden eisen gesteld aan het niveau van de bovenzijde van de bescherming in verband met de benodigde vaardiepte. Tevens worden stabiliteitseisen gesteld aan de top laag van de bodembescherming in verband met de huidige (en de in de naaste toekomst te verwachten) geïnstalleerde motorvermogens van schroeven en boegschroeven.
- **Milieu-eisen**
Vanuit het milieubehoud worden eisen gesteld met betrekking tot de herkomst, het uitlooggedrag en eventueel hergebruik van de toe te passen materialen.
- **Uitvoeringseisen**
Lokale omstandigheden en randvoorwaarden bepalen de eisen voor het in te zetten materieel en de te gebruiken materialen. Bepaalde constructietypen worden daardoor uitgesloten. De wijze van uitvoering bepaalt mede het uiteindelijke ontwerp van de bodemverdediging.
- **Inspectie- en onderhoudseisen**
Vanuit het oogpunt van inspectie en onderhoud dient de bodembescherming bereikbaar te zijn voor materieel, gerepareerd kunnen worden en zo mogelijk zelf-herstellend te zijn bij schade.



Foto 16.2 Bodem- en oeverbescherming Roompotsluis (Oosterscheldekering), aangebracht in den droge

16.3 Stromingsoorzaken

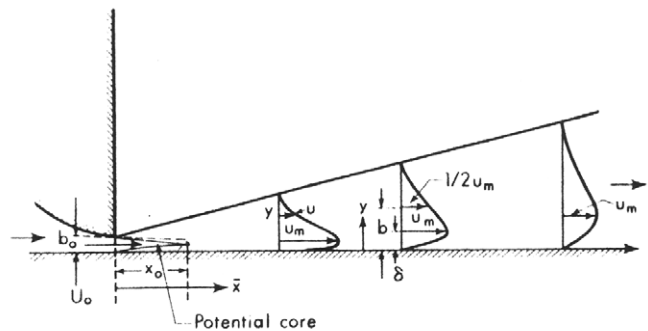
16.3.1 Stralen

Het verval over de deuren of door de schepen in en buiten de schutsluis wekt stralen op die in meer of mindere mate spreiden en dan de bodem raken. Het stromende water boven de bodem bepaalt de bodembescherming en de mogelijke erosie van de bodem.

Het water gaat versnellend naar de niveleeropeningen (of scheepsschroef, deurspleet etc.) toe waarbij het versnellingstraject met hoge stroomsnelheden kort is. In de openingen bij de maximum-contractie ontstaan geconcentreerde stralen met bepaalde afmetingen, stroomsnelheid en richting. In beneden-stroomse richting worden de stralen over langere afstand afgebroken door de turbulente uitwisseling met het omringende water. Daarbij neemt de stroomsnelheid af en de turbulentie-intensiteit toe.

In principe spreiden stralen het beste als deze in ruim water uitkomen waar de turbulente uitwisseling met het omringende water voor de afbraak van de straal zorgt. Het snelheidsprofiel van de straal neemt na enige afstand (bijvoorbeeld) een klokvorm aan. Voor de straalspreiding zijn de volgende punten van belang.

- *Wandinvoled*



Figuur 16.0 Ontwikkeling van vlakke wandstraal naar Rajaratnam (Lit.[16.10])

De aanwezigheid van een nabijgelegen bodem (of wand of wateroppervlak) zorgt ervoor dat vanaf deze zijde minder water wordt aangezogen waardoor de stralen de neiging hebben daar aan te gaan liggen en de verdere straalaafbraak wordt tegengaan. Het traject met hoge stroomsnelheden is dan lang. De stralen drijven hierbij een of meerdere neren boven, onder of naast de straal aan.

- *Vorm*

De vorm van de stralen is belangrijk. Hoe groter de omtrek van de straal, des te gemakkelijker breekt deze af omdat het oppervlak waarmee de straal met het omgevende water kan uitwisselen, ook groter is. Zodoende spreiden vlakke stralen sneller dan rechthoekige en zeker sneller dan ronde stralen met overeenkomstige debieten en initiële stroomsnelheden.

- *Naastgelegen stralen*

Belangrijk is ook of de stralen afzonderlijk kunnen afbreken of gaan samenwerken. Naast elkaar gelegen stralen hebben de neiging naar elkaar toe te trekken omdat minder omringend water aangezogen kan worden. Bij een dergelijke samenwerking neemt het oppervlak met het omringende water af waardoor de straalaafbraak wordt beperkt en over lange afstand zullen hoge stroomsnelheden optreden.

Het zijn uiteindelijk de stroomsnelheden en turbulente drukfluctuaties nabij de bodem - dit laatste gekarakteriseerd door de turbulentie-intensiteit - die de benodigde bodembescherming of de optredende erosie bepalen. Dat staat los van de vraag wat de oorzaken hiervan zijn.

In deze paragraaf wordt in kwalitatieve zin op de volgende punten ingegaan (en in de volgende paragraaf in kwantitatieve zin):

- door welke oorzaken ontstaan de stralen,
- welke vorm, afmeting, stroomsnelheid, turbulentie-intensiteit, niveau en richting heeft het hart van de straal en hoe ver staan de stralen van elkaar af,
- hoe breken de stralen in benedenstroomse richting af en welke stroomsnelheden en turbulentie-intensiteiten treden nabij de bodem op.

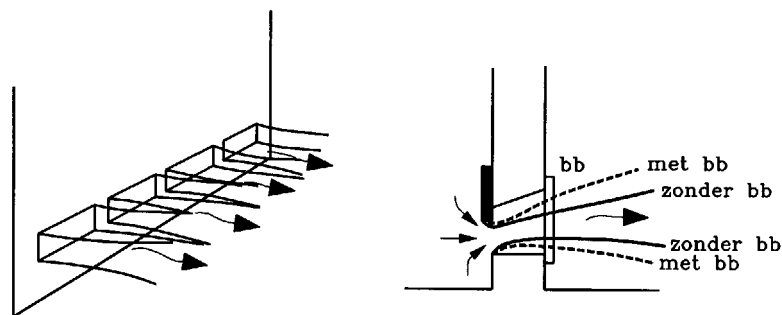
Aangezien bij sommige sluizen ook in de kolk een losse bodembescherming wordt toegepast, wordt zowel aandacht besteed aan het stroombeeld in als buiten de sluis. Voor sluizen met een vaste bodem is dit overbodig. De invloed van dichtheidsverschillen op de stroombeelden wordt niet meegenomen omdat de hiermee gepaard gaande stroomsnelheden niet voor de bodembescherming van belang zijn.

16.3.2 Vul- en ledigingsstromen

Bij het nivelleren van de kolk stroomt het water in of uit via deuropeningen, via riolen in de sluiswanden of via een spleet onder een hefdeur. Bij deuropeningen en riolen worden de schuiven langzaam geheven en bij een hefdeur wordt de deur zelf langzaam geheven. De waterdiepte in de kolk wijzigt zich tijdens het nivelleren waardoor het verval over de openingen varieert. Het resultaat is dat het debiet en de maximum-stroomsnelheid door de openingen in de tijd variëren.

Deuropeningen bevinden zich in het onderste deel van de deuren en zijn bij voorkeur over de kolkbreedte gespreid (fig. 16.1). De schuiven zijn aan de bovenstroomse zijde aangebracht. De benedenstroomse zijde van de vulopeningen is vrijwel altijd voorzien van breekbalken (tenzij de sluis erg klein is of het verval heel gering). In sommige gevallen is dit ook bij ledigingsopeningen het geval. Bij negatieve vervallen over de deuren kunnen de deuropeningen ook in omgekeerde richting gebruikt worden (schuiven aan de benedenstroomse zijde).

Bij het vullen of ledigen van de sluis met deuropeningen is sprake van een aantal, naast elkaar gelegen rechthoekige stralen. Het stroombeeld wordt bepaald door de vormgeving, de plaats, de richting en de onderlinge afstand van de openingen onder de schuiven en door de waterdiepte. Tijdens het heffen van de schuiven veranderen de vormgeving, de plaats en richting van de openingen onder de schuiven en wijzigt ook de waterdiepte in de kolk waardoor ook het stroombeeld varieert. Bovendien variëren het debiet en de stroomsnelheid in de tijd.



Figuur 16.1 Vul- of ledigingsstralen door deuropeningen

In het bovenstroomse traject van de stroming (versnellingsgebied) treden alleen hoge stroomsnelheden op vlak voor de openingen waarbij de turbulentie-intensiteit nog laag is. In de maximum-contractie vlak achter de schuiven (of onderrand deur) treden de hoogste stroomsnelheden op. Bij aanwezigheid van breekbalken, breekplaten e.d. in deuropeningen nemen de maximum-stroomsnelheden daarachter af maar de turbulentie-intensiteit neemt sterk toe. In het benedenstroomse traject breken de stralen af en neemt de turbulentie-intensiteit toe. Van groot belang is of in dit traject de stralen onafhankelijk van elkaar kunnen afbreken of gaan samenwerken waardoor de straalaafbraak veel minder is. Zo ontstaat bij puntdeuren vaak een centrale straal op enige afstand van de deuren omdat de stralen uit de openingen loodrecht op het deurvlak gaan staan. De stralen treffen vanaf een bepaalde afstand de bodem waarna

de straalafbraak verder afneemt. Is de bodem daar ruw (losse stortsteen) dan neemt na bepaalde afstand de turbulentie-intensiteit minder snel af.

Bij het vullen van de kolk breken de stralen in de kolk af. Van invloed is daarbij dat de waterdiepte in de kolk toeneemt, de schepen in de kolk het natte dwarsprofiel deels blokkeren en het debiet in benedenstroomse richting afneemt door de stijgende waterspiegel. Bij het ledigen van de kolk breken de stralen in de voorhaven af waarbij de waterdiepte constant en beperkt is en de breedte van het natte dwarsprofiel meestal toeneemt. Het gebied waar hoge stroomsnelheden aan de bodem kunnen optreden, is steeds benedenstrooms van de deuropeningen en beperkt zich tot (bijvoorbeeld) 7 keer de benedenstroomse waterdiepte.

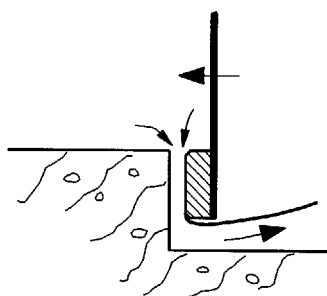
Omloopriolen monden meestal dwars op de sluiswanden en tegenover elkaar uit en wel direct naast de deuren en net boven de bodem. In de riolen zijn schuiven aangebracht en vaak nog schoepen (bochten) en breekbalken (uitmonding). Uit de rioolmonden komen de rechthoekige stralen die dan tegen elkaar botsen waardoor de energie deels vernietigd wordt, waarna de stralen als gezamenlijke, centrale straal in langsrichting verder stroomt en in benedenstroomse richting afbreekt. Achter het benedenhoofd zijn vaak drempels op de bodem aangebracht om de energie verder af te breken. Bij een bovenhoofd met een groot verval treden de stralen eerst via tegenover elkaar liggende riooluitmondingen uit en komen dan in een woelkelder die nog meer energie in de stralen afbreekt voordat het water de kolk instroomt.

Bij het vullen via een spleet onder een bovenhefdeur wordt het water eerst in een soort woelkelder geleid alvorens de kolk in te stromen. Het water komt dan als brede, vlakke straal die bijvoorbeeld wat naar boven toe gericht is, de kolk in en breekt daar verder af. Bij het ledigen via de benedenhefdeur treedt het water als een vlakke bodemstraal uit. Deze wordt in een betonnen woelbak geleid of botst tegen een of meer drempels voordat deze verder de voorhaven instroomt en afbreekt.

16.3.3 Stroming door deurspleten

Sluisdeuren worden geopend bij een (rest-)verval over de deuren van (bijvoorbeeld) 0,10 m. Het water dat de bewegende punt- of draaideur in zijn vlak verplaatst, bouwt een verval over de deur op in de bijna gesloten stand van de deur. Bij openstaande sluizen worden vanaf een zekere stroomsnelheid in de kolk (bijvoorbeeld 0,50 m/s) de deuren gesloten waardoor zich voor het gesloten zijn een verval over de deuren opbouwt.

Wanneer puntdeuren negatief keren ontstaan bij een slappe deurconstructie spleten langs de deuropentrek (fig. 16.2).



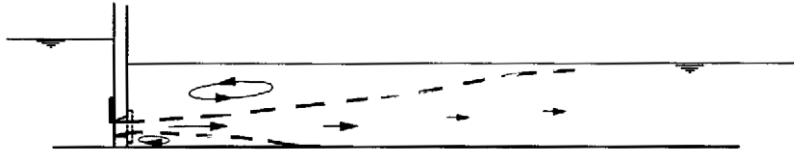
Figuur 16.2 Straal via een deurspleet

In al deze gevallen stroomt het water met hoge snelheid via de spleten rondom de deuren (bodem, voor- en achterhar). De hiermee gepaard gaande vlakke stralen rondom de deuren breken in benedenstroomse richting snel af, omdat de straal dun is en omdat over een groot oppervlak turbulente uitwisseling met het omringende water plaatsvindt. Omdat het invloedsgebied van deze stralen zich over korte afstand van de deur uitstrekt (bijvoorbeeld 1 of 2 keer de waterdiepte) is de stroming door deurspleten in de regel niet maatgevend voor de bodembescherming.

Bij sluizen die voorzien zijn van deuren die met groot verval geopend of met grote stroomsnelheid gesloten kunnen worden, bijvoorbeeld waaierdeuren, kunnen echter wel degelijk grote stroomsnelheden rondom de deuren optreden. Dit kan een maatgevende situatie voor de bodembescherming opleveren.

16.3.4 Spuistroming

De deuropeningen in de bovendeuuren worden vaak gebruikt als spuimiddel. De benedendeuren zijn dan geopend, de schuiven van de bovendeuuren staan (gedeeltelijk) open en het scheepvaartverkeer is gestremd. De rechthoekige stralen uit de bovendeuropeningen breken in de kolk af zodat een gelijkmatig over het natte dwarsprofiel verdeelde stroming de kolk verlaat (fig. 16.3). Ook voor deze situatie treden normaliter geen maatgevende stroomsnelheden aan de bodem in de voorhaven op.



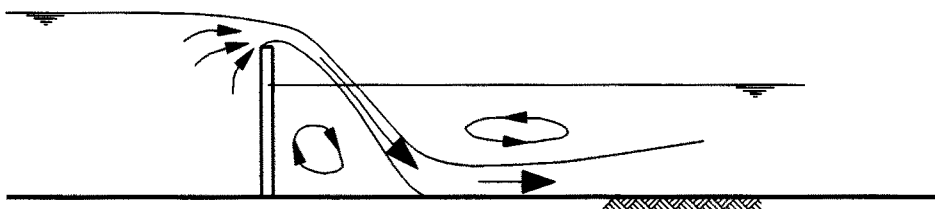
Figuur 16.3 Spuistroming achter deuropeningen

Wanneer een groot spuidebiet noodzakelijk is dat door de schutsluis moet worden afgevoerd, worden vaak extra spuiopeningen in de bovendeuuren aangebracht. De stroomsnelheden aan de bodem kunnen dan aanzienlijk en dus maatgevend worden voor de bodembescherming in de voorhaven en zich over lange afstand uitstrekken.

Als de kolk is voorzien van een bodembescherming met stortsteen, moet deze gedimensioneerd worden op de invloed van de spuistroming.

16.3.5 Overstortende straal

De deurbeplating is tot een bepaald niveau opgetrokken. Zolang het gebied achter de sluis in staat is een extra hoeveelheid water te bergen is het toegestaan dat bij extreem hoge waterstanden wanneer het scheepvaartverkeer gestremd is, water over de deuren en het sluisterrein te laten stromen. De vlakke straal die over de deuren en de kolkwanden heen stort treft het benedenstroomse wateroppervlak, raakt vervolgens de bodem onder een zekere hoek, buigt langs de bodem af en stroomt vervolgens de kolk of de binnenvoorhaven in (fig. 16.4). De overstorthoogte, de valhoogte van de straal en de benedenstroomse waterdiepte bepalen de maximum-stroomsnelheden aan de benedenstroomse bodem. Voor een verdronken stromingssituatie hangt de lengte van het gebied met hoge stroomsnelheden aan de bodem af van de straaldikte en de stroomsnelheid waar de straal de bodem treft en bedraagt (bijvoorbeeld) 7 keer de benedenstroomse waterdiepte. Bij een groot overstortdebiet en een geringe benedenstroomse waterdiepte kan achter de deuren een watersprong optreden waardoor het gebied van hoge stroomsnelheden sterk toeneemt. Dit moet te allen tijde voorkomen worden door een voldoende laag bodemniveau achter de deuren.



Figuur 16.4 Stroming door overstortende straal

Bij de meeste sluizen is deze situatie bij het ontwerp niet meegenomen omdat toen nog niet werd ontworpen met een faalkansanalyse. Voor bestaande sluiscomplexen die als onderdeel van een primaire waterkering moeten voldoen aan hoger gestelde extreme waterstanden (Zuider en Kleine Sluis IJmuiden)

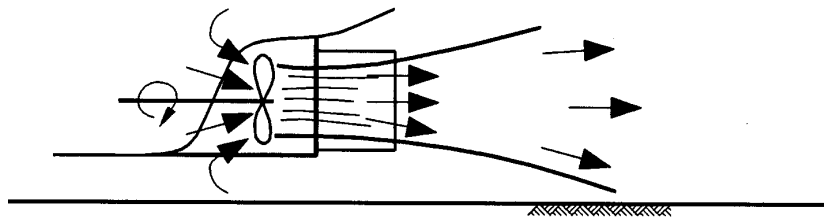
of in sluizen naast een stuw in een rivier is de kans dat deze situatie optreedt aanwezig. De stroomsnelheden aan de bodem kunnen dan maatgevend voor de bodembescherming worden.

16.3.6 Schroefstraal

De schepen gebruiken tijdens het in- en uitvaren van de sluis en in de sluis hun hoofdschroef (of -schroeven). Door de schroef wordt een ronde straal opgewekt (fig. 16.5) met hoge stroomsnelheden en hoge turbulentie-intensiteit. Enerzijds wordt de straal door zijn ronde vorm moeilijk afgebroken, anderzijds wordt de straal door zijn hoge initiële turbulentie-intensiteit en spreidingshoek gemakkelijker afgebroken.



Foto 16.3 Schroefwater achter een duwboot



Figuur 16.5 Schroefstraal

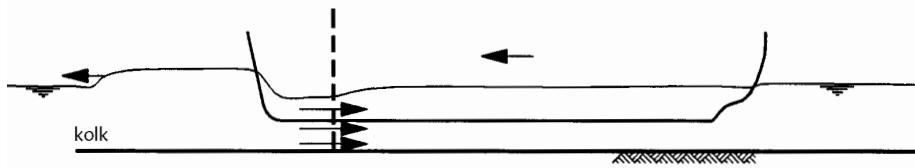
De door de schroefstraal opgewekte stroomsnelheden zijn afhankelijk van het gebruikte vermogen en de diameter van de schroef: hoe groter het vermogen en hoe kleiner de diameter des te hoger zijn de stroomsnelheden. Bij hoge vaarsnelheden zijn de snelheden van het water ten opzichte van de vaste bodem kleiner dan bij een stilliggend schip. Bij geladen schepen waar de schroef zich dicht bij de bodem bevindt, kan minder gemakkelijk water door de straal aangezogen worden waardoor de afbraak veel langzamer plaatsvindt. Aan de bodem treden hoge stroomsnelheden op. De ongunstigste situatie treedt op wanneer een stilliggend, geladen schip met kleine schroefdiameter in nauw vaarwater een groot schroefvermogen gebruikt.

Schroefstralen zijn er de oorzaak van dat overal waar de schepen komen, hoge stroomsnelheden aan de bodem kunnen optreden. Dit is dus in beide voorhavens en in de kolk. Meestentijds treden de hoogste vaarsnelheden op in de vaarbanen naar de sluis en naast de remming- en geleidewerken. In de regel zijn de stroomsnelheden ten gevolge van de schroefstraal aan de bodem maatgevend voor de bodembescherming en erosie van de onbeschermde bodem.

16.3.7 Retourstroming

Het varen van een schip in een vaarweg gaat gepaard met een retourstroming naast en onder het schip die tegengesteld gericht is aan de vaarrichting van het schip (fig. 16.6). Het door de boeg weggezette water stroomt langs het schip en wordt door het hek van het schip weer aangezogen. De retourstroomsnelheid neemt toe naarmate de vaarsnelheid van het schip toeneemt en de blokkering van het

natte dwarsprofiel van de vaarweg door het schip groter is zoals bij sluizen. De maximum-blokkering wordt bereikt bij het maatgevende schip en het minimum-natte dwarsprofiel boven de drempel. De vaarsnelheid nabij de sluismond varieert normaliter sterk.



Figuur 16.6 Retourstroming bij sluismond

De retourstroming strekt zich met name bij nauwe profielen zoals sluismonden vrijwel gelijkmatig uit over het natte dwarsprofiel naast het schip waardoor de stroomsnelheden aan de bodem ongeveer overeenkomen met die van de rest van het dwarsprofiel. De retourstroming nabij een sluismond kan beschouwd worden als een set vlakke wandstralen, te weten twee verticale aan de zijkant en een horizontale bij de bodem. Bij het invaren van de sluis wordt de energie van deze stralen in de voorhaven vernietigd zodat hier de bodem mogelijk wordt aangetast. Bij het uitvaren worden in de kolk de grootste stroomsnelheden aan de bodem door de retourstroming opgewekt waardoor deze situatie meestal niet maatgevend is. De turbulentie-intensiteit van de retourstroming is beperkt.

De stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van de retourstroom is in veel gevallen niet maatgevend tenzij er sprake is van een grote blokkering van het natte dwarsprofiel bij de sluismond of als er grote vaarsnelheden nabij de sluismond mogelijk zijn.

16.3.8 Boegschroefstraal

Buiten, maar ook in de kolk wordt de boegschroef veelvuldig gebruikt voor het manoeuvreren of het in positie houden van het schip. Er zijn verschillende typen boegschroeven in gebruik waarbij onderscheid te maken is in de uittredende straal.

- *Straal aan onderzijde schip*
In het schip bij de boeg is een buis met een horizontale schroef aangebracht en een in- en uitstroommond in de bodem van het schip (kielvlak). Door middel van een schoep in de uitstroommond wordt de uittredende straal zijwaarts maar deels ook naar beneden gericht. Het systeem kan ook uitgerust zijn met een centrifugaalpomp.
- *Straal aan zijkant schip*
Een horizontale buis met een schroef die naar beide kanten kan draaien is in het schip ingebouwd. De in- dan wel uitstroommonden bevinden zich aan de zijkant van het schip. Dit systeem geeft een horizontaal gerichte straal loodrecht op de scheepsas.
- *Straal onder het schip*
Dit systeem werkt met een intrekbare, 360° draaibare en horizontale schroef die onder het schip steekt en een horizontale straal oplevert.

Het tweede systeem wordt in dit hoofdstuk behandeld voor de dimensionering van de bodembescherming, hoewel het eerste systeem ongunstiger voor de bodemverdediging kan uitpakken.

De horizontaal gerichte, loodrecht op de scheepsas staande straal geeft stroomsnelheden aan de bodem maar ook langs de oevers wanneer deze dicht achter de remming- of geleidewerken liggen. De turbulentie-intensiteit is daarbij hoog. Het vaarwater in de sluiscolk is nauw waardoor het manoeuvrerend vermogen van de schroeven toeneemt maar daarmee ook de stroomsnelheden bij de sluiswand en de bodem.

Aangezien het vermogen van boegschroeven groot is maar kleiner dan dat van de hoofdmotor, zijn voor de bodem in een open situatie de stroomsnelheden ten gevolge van de boegschroef niet maatgevend (behalve voor het systeem met de straal aan de onderzijde). Daarentegen kunnen voor dichte geleidewanden of oevers die achter de remming- en geleidewerken liggen, de stroomsnelheden ten gevolge van boegschroeven wel groot zijn en dus maatgevend voor de bodem- of oeverbescherming.

16.3.9 Primaire en secundaire scheepsgolven

Het varen van een schip in nauw vaarwater gaat gepaard met primaire en secundaire scheepsgolven. De primaire golven zijn afkomstig van de waterspiegelafzinking die met het schip meebeweegt, de secundaire golven zijn de golven bij de boeg en het hek. De plotselinge drukverschillen in het water bij de oever die met de golven gepaard gaan, maakt het noodzakelijk een oeverbescherming in de vaarwegen aan te brengen.

In voorhavens wordt meestal met lagere snelheden gevaren dan in de aansluitende vaarweg. De voorhaven is vaak breder dan de aansluitende vaarweg. Het gevolg is dat in voorhavens de oevers meestal minder last hebben van dit soort golven dan in de aansluitende vaarweg.

16.3.10 Windgolven

Bij de deuren aan de voorhavenszijde kan zich een staand golfbeeld voordoen afkomstig van windgolven die in de voorhaven of verderop zijn opgewekt. Bij een niet te diepe bodem treden dan stroomsnelheden op die met de periode van de golf wisselen. In de regel zijn deze stroomsnelheden niet groot en dus niet maatgevend voor de bodembescherming.

Windgolven kunnen de oevers in de voorhavens aantasten. Door de grote strijklengte kunnen windgolven hoger worden dan in de aansluitende vaarweg. De oeverbescherming van de voorhaven moet daar wel op gedimensioneerd worden.

16.3.11 Mogelijkheden van snelheidsreductie

Meestal zijn de stroomsnelheden aan de bodem door het vullen en ledigen, door de schroefstraal of door de retourstroom, bepalend voor de bodembescherming. Voor deze drie oorzaken is het zinvol de mogelijkheden na te gaan om snelheden aan de bodem te reduceren.

Bij stromingsverschijnselen als gevolg van het nivelleren door deuropeningen, is het volgende mogelijk:

- * Het toepassen van breekbalken aan de benedenstroomse zijde van de niveleeropeningen breekt de energie in de stralen deels af; dit kan dus ook bij ledigingsopeningen effectief zijn. De stralen hebben achter de breekbalken sterk gereduceerde snelheden hoewel de turbulentie-intensiteit is toegenomen.
- Door de openingen goed over de breedte te verdelen en de stralen evenwijdig aan de sluisas te laten stromen, ontstaat een brede platte straal die gemakkelijk afbreekt.
- Door de stralen uit de openingen omhoog te richten bereiken deze niet of op verdere afstand met lagere snelheid de bodem. Het naar beneden richten van de stralen en deze dan tegen een drempel te laten botsen of in een woelbak te verdrinken, vernietigt een deel van de energie voordat de stroming zich vervolgt.
- Door het verlagen van de bodem na de drempel bereiken de stralen op verdere afstand de bodem terwijl de waterdiepte waarover de straal kan spreiden groter is.

De mogelijkheden om het effect van de stromingen nabij de bodem van de voorhaven door schroefstralen te verminderen zijn:

- Door de bodem in de voorhaven - en indien relevant ook in de kolk - zo laag mogelijk aan te leggen, worden de stroomsnelheden door de schroefstraal aan de bodem beperkt.
- Door open remming- en geleidewerken toe te passen in plaats van dichte dam- of diepwanden, is het water in de voorhaven nabij de vaarbaan zo ruim mogelijk en breken de schroefstraalsnelheden beter af.
- Voorschrijven dat slechts een beperkt deel van het motorvermogen van de hoofdschroef gebruikt mag worden is effectief maar niet erg realistisch.

De stroomsnelheden aan de bodem bij de sluismond als gevolg van de retourstroom kunnen als volgt verminderd worden:

- De blokkering van de sluismond door het maatgevend schip mag niet te groot te zijn. Dit kan door

- de sluisdrempel te verlagen of de sluisolk te verbreden.
- Het instellen van een maximum-vaarsnelheid voor sterk blokkerende schepen. Veelal is dit niet realiseerbaar.

Het blijkt dus dat door een goed ontwerp van de nivelleeropeningen de stroomsnelheden aan de bodem als gevolg van het vullen en ledigen te beperken zijn. De mogelijkheden voor het beperken van het effect van de retourstroom en de schroefstraal op de stroomsnelheid aan de bodem zijn veel geringer omdat dit alleen met een bodemverlaging of via voorschriften realiseerbaar is.

Voor de oeverbescherming is het effect van de primaire en secundaire scheepsgolven en de schroefstraal (hoodschroef en boegschroef) maatgevend (Lit. [16.19]). Het effect kan verminderd worden door de oevers verder weg te leggen van remming- en geleidewerken hoewel dan het effect van windgolven (par. 16.3.10) kan toenemen.

In de volgende paragraaf wordt in kwantitatieve zin doorgedaan op stroombeelden als gevolg van het ledigingsdebiet, de schroefstraal, de retourstroom en de boegschroef.

16.4 Berekening stroomsnelheden aan de bodem

In deze paragraaf wordt in kwantitatieve zin ingegaan op stroomsnelheden aan de bodem als gevolg van het ledigingsdebiet, de schroefstraal, de retourstroom en de boegschroef. De paragraaf wordt afgesloten met een rekenvoorbeeld. Andere oorzaken van stroomsnelheden worden buiten beschouwing gelaten omdat deze normaliter niet maatgevend zijn (uitzonderingen daargelaten).

16.4.1 Vul- en ledigingsstromingen

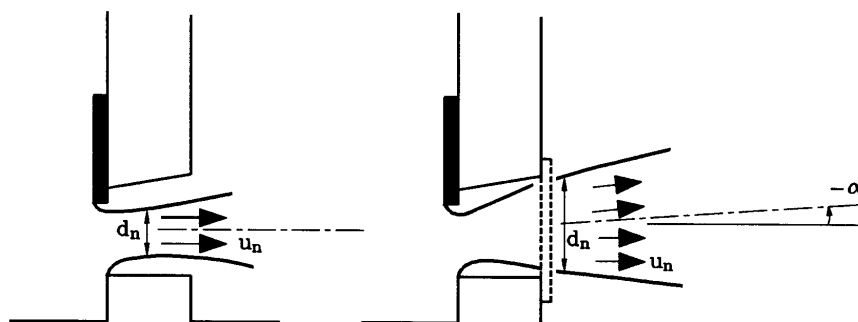
De debieten door de nivelleeropeningen wekken stralen op die in benedenstroomse richting afbreken. De stroomsnelheden aan de bodem ten gevolge van deze stralen hangen af van de grootte en richting van de uittredende stralen, de niveaus van de stralen ten opzichte van de bodem en het wateroppervlak en de horizontale afstand tot het hart van de stralen.

Het stroombeeld voor, in en achter de nivelleeropeningen is zeer gevoelig voor de vormgeving van deze openingen en is mede daarom moeilijk nauwkeurig te berekenen. Een iets andere vorm door (bijvoorbeeld) andere randen van de opening, een hogere schuifstand of een andere opstelling van de breekbalken, levert een heel verschillend stroombeeld op.

In plaats van een nauwkeurige berekening kan wel een veilige schatting van de stroomsnelheden aan de bodem achter deuropeningen gegeven worden door middel van het rekenprogramma LOCKFILL. Het rekenprogramma LOCKFILL berekent waterstanden, debieten en langskrachten op schepen tijdens het vullen of ledigen van de sluis, zie hoofdstuk 6. In het rekenprogramma is een optie opgenomen waarmee de snelheid aan de bodem berekend wordt als functie van tijd en afstand tot de nivelleeropeningen. Deze optie gaat uit van een vlakke straal die in het verticale langsvlak tussen bodem en waterspiegel spreidt maar niet in de breedte. Invoergegevens voor de optie zijn het debiet, de richting, de hoogte, de breedte en het niveau van de stralen, de aan- of afwezigheid van breekbalken en de niveaus van bodem en waterspiegel. Het debiet en het niveau van de waterspiegel zijn daarbij rekenresultaten uit het hoofdprogramma. Toepassing is mogelijk wanneer de deuropeningen goed over de breedte zijn gespreid en de stralen volgens de langsas van de sluis gericht zijn, conform de ontwerpregels van een goed nivelleersysteem (hoofdstuk 6). Als de stralen niet goed in de breedte zijn gespreid, is nadere studie vereist.

Een eerste schatting van de stroomsnelheden aan de bodem achter deuropeningen kan ook handmatig uitgevoerd worden met behulp van de theorie van de spreiding van vlakke, vrije stralen (Lit. [16.10]) en een aanname over de reflectie van de straal tegen de bodem. De procedure verloopt in twee stappen:

1 Eigenschappen uittredende straal



Figuur 16.7 Vul- of ledigingsstralen door deuropeningen

Het maximum-debiet wordt (bijvoorbeeld) bepaald met het rekenprogramma LOCKFILL. De hoogte van de uittredende straal is zonder breekbalken gelijk aan de hoogte van de opening onder de schuiven vermenigvuldigd met een contractiecoëfficiënt (bijv. 0,7) en wel voor het moment van

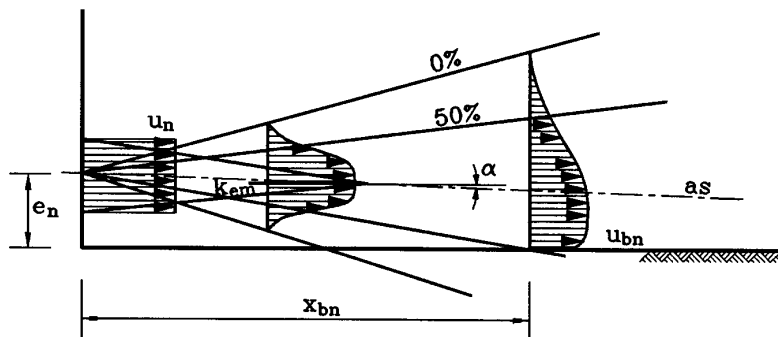
maximum-debiet. Daarentegen is met breekbalken die de benedenstroomse openingen ten minste met 50% blokkeren, de hoogte van de uittredende straal gelijk aan de benedenstroomse hoogte van de openingen (fig. 16.7). De breedte van de stralen is gelijk aan de totale breedte van de openingen. De snelheid van de uittredende straal is dan gelijk aan:

$$u_n = Q_n / (b_n d_n) \quad (16.1)$$

waarin:	u_n	= stroomsnelheid uittredende straal	[m/s]
	Q_n	= debiet	[m ³ /s]
	b_n	= totale breedte straal	[m]
	d_n	= hoogte (of dikte) uittredende straal	[m]

Richting en niveau van de uittredende straal worden geschat aan de hand van de vormgeving van de openingen inclusief de breekbalken en de schuifstand.

2 Plaats en grootte van maximum-snelheid bij de bodem



Figuur 16.8 Straalafbraak (Opm. 50%lijn is de plaats waar de stroomsnelheid de helft is van die in de as van de straal)

De plaats waar de bodemsnelheid maximaal is gaat uit van een lijn die vanuit het hart van de straal en onder een helling van 1:10 (5,7°) met de as van de straal de bodem treft. Een enigszins omhooggerichte straal wordt veiligheidshalve beschouwd als een horizontale straal. Er geldt:

$$x_{bn} = e_n / \tan(\alpha + 5,7^\circ) \quad (16.2)$$

onder de voorwaarde dat $0^\circ < \alpha < 10^\circ$ (naar beneden gericht)

$$x_{bn} = 10 e_n \quad (16.3)$$

onder de voorwaarde dat $\alpha \leq 0^\circ$ (naar boven gericht)

waarin:	x_{bn}	= horizontale afstand van hart straal tot plaats van maximum-snelheid nabij de bodem	[m]
	e_n	= verticale afstand straalas tot bodem	[m]
	α	= helling asstraal met horizontaal (naar beneden gericht is positief)	[°]

De maximum-snelheid aan de bodem hangt af van de wortel uit het quotiënt van straalhoogte en horizontale afstand:

$$u_{bn} = 2,5 u_n \sqrt{(d_n / x_{bn})} \quad (16.4)$$

onder de voorwaarde dat $(Q_n / (b_n h)) < u_{bn} \leq u_n$

waarin:	u_{bn}	= maximum-stroomsnelheid nabij bodem	[m/s]
	h	= totale waterdiepte	[m]

Op verdere afstand aan de bodem ($x > x_{bn}$) is de stroomsnelheid te schatten met:

$$u_{xn} = 2,5 u_n \sqrt{(d_n / x)} \quad (16.5)$$

onder de voorwaarde dat $(Q_n / (b_n h)) < u_{xn} \leq u_n$

waarin:	u_{xn}	= stroomsnelheid aan bodem op afstand x	[m/s]
	x	= horizontale afstand van hart straal tot plaats aan de bodem	[m]

De stroomsnelheden aan de bodem nemen dus af met het toenemen van de afstand tot de deuropeningen.

Met de huidige rekenmodellen is de turbulentie-intensiteit van vul- en ledigingsstralen moeilijk te berekenen. Uit metingen blijkt dat de turbulentie-intensiteit van de stroming vanaf de benedenstroomse zijde van de openingen tot waar de bodem getroffen wordt - als orde van grootte - gelijk is aan 0,25 (zonder breekbalken) tot 0,35 (met breekbalken).

De stroomsnelheid boven de bodem van stralen achter riolen of onder een spleet van de deur vereist een andere aanpak. Hiervoor is advies van deskundigen vereist.

16.4.2 Schroefstraal

De schroef wekt een ronde straal op die achter de schroef afbreekt en op enige afstand de bodem raakt. De stroomsnelheden aan de bodem hangen voornamelijk af van de diameter en het gebruikte vermogen van de schroef en de verticale afstand tot de bodem. Net als het stroombeeld ter plaatse van niveleeropeningen is ook het stroombeeld achter scheepsschroeven moeilijk te berekenen door de grote variatie in schroeven met hun aanstromingen. Daarom zijn in het verleden veel metingen verricht waaruit een aantal algemene relaties zijn afgeleid dat een goede schatting geeft van de stroomsnelheden aan de bodem. Ook nu verloopt de procedure in twee stappen.

1 Eigenschappen uittredende straal

De straal die de schroef verlaat heeft een cirkelvormige doorsnede. De diameter van de cirkelvormige straal is de effectieve diameter die afhangt van de wijze waarop de schroef bij het achterschip ingebouwd is. De stroomsnelheid in de schroefstraal wordt bepaald door het aangewende vermogen en de effectieve diameter. Voor effectieve diameter en stroomsnelheid gelden:

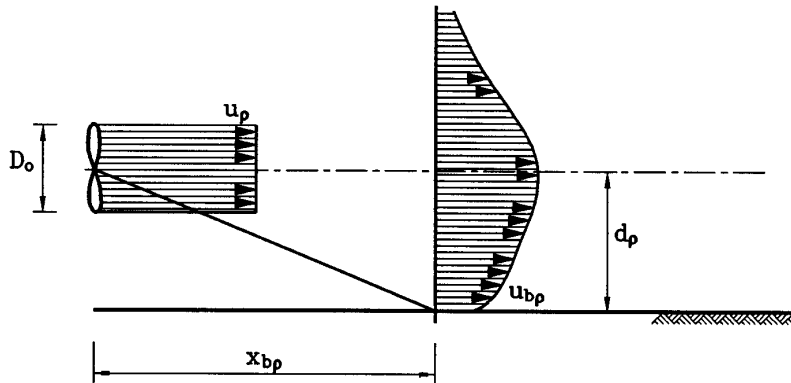
D_o	= 0,71 D_p	(schroef zonder straalbuis)	(16.6a)
	= 1,00 D_p	(schroef in straalbuis)	(16.6b)
	= 0,85 D_p	(schroef/straalbuis/combinatie)	(16.6c)

waarin:	D_o	= effectieve schroefdiameter	[m]
	D_p	= echte schroefdiameter	[m]

$$u_p = 1,15 (P_d / D_o^2)^{1/3} \quad (16.7)$$

waarin:	u_p	= stroomsnelheid achter schroef	[m/s]
	P_d	= aangewend vermogen per schroef	[kW]

2 Plaats en grootte van maximum-bodemsnelheid



Figuur. 16.9 Afbraak van schroefstraal

De schroefstraal is een ronde straal die in benedenstroomse richting alzijdig afbreekt totdat de straal de bodem of het wateroppervlak bereikt. De straal verlaat de schroef niet geheel in lijn met de schroefas (axiaal) maar enigszins divergerend wat invloed heeft op de spreidingshoek van de straal. De plaats waar de bodemsnelheid maximaal is gaat uit van een lijn die vanuit het hart van de straal en onder een helling van 1:5,6 met de (horizontale) straalas de bodem treft. De maximum-snelheid aan de bodem hangt lineair af van het quotiënt van effectieve straaldiameter en afstand tot de straal en met de wortel uit het aantal schroeven. Voor plaats en maximum-snelheid gelden:

$$x_{bp} = 5,6 d_p \quad (16.8)$$

waarin: x_{bp} = horizontale afstand schroef tot plaats maximum-snelheid aan de bodem [m]
 d_p = verticale afstand straalas tot bodem [m]

$$u_{bp} = 1,68 u_p \sqrt{n D_o / x_{bp}} \quad (16.9a)$$

$$= 0,30 u_p \sqrt{n D_o / d_p} \quad (16.9b)$$

onder de voorwaarde dat $u_{bp} \leq u_p$

waarin: u_{bp} = maximale snelheid boven de bodem [m/s]
 n = aantal schroeven [-]

In principe kunnen de bovengenoemde maximale stroomsnelheden aan de bodem in het gehele vaargebied optreden, dus zowel dicht bij als ver af van de constructie (schutsluis, remmingwerk etc.).

Varende schepen geven een reductie te zien in de stroomsnelheden aan de bodem. Bij sluizen wordt ervan uitgegaan dat schepen grote motorvermogens gebruiken terwijl de vaarsnelheid gering kan zijn; de reductie vervalt hiermee.

Ook bij schroefstralen kan de turbulentie-intensiteit van stralen niet goed berekend worden. Uit metingen blijkt dat de turbulentie-intensiteit van de stroming boven de bodem hoog is en - als orde van grootte - gelijk is aan 0,35 tot 0,40.

De schroefdiameter hangt af van het type en de maximum-diepgang d_s van het schip. Voor een binnenvaartschip geldt $D_p = 0,6$ à $0,7 d_s$, voor een duwboot $D_p = 1,05 d_s$ en voor een zeeschip $D_p = 0,7 d_s$. De schroef is enkele centimeters boven de scheepsbodem aangebracht. Het maximum-motorvermogen hangt af van de scheepsklasse. Als voorbeelden kunnen genoemd worden:

- Klasse IV, RHK-schip met totaal vermogen van 1200 kW
Uitgerust met schroef/straalbuis/combinatie met 1 schroef van $D_p = 1,70 \text{ m}$ / $D_o = 1,45 \text{ m}$ of 2 schroeven van $D_p = 1,60 \text{ m}$ / $D_o = 1,35 \text{ m}$
- Klasse Va, GRS-schip met totaal vermogen van 1400 kW
Uitgerust met 2 schroeven (schroef/straalbuis/comb.) van $D_p = 1,80 \text{ m}$ / $D_o = 1,53 \text{ m}$
- Klasse Vb, duwboot met totaal vermogen van 3600 kW
Uitgerust met 3 schroeven (in straalbuis) van $D_p = 1,60 \text{ m}$ / $D_o = 1,60 \text{ m}$
- Kruiplijn-coaster met totaal vermogen van 1200 kW
Uitgerust met 1 schroef (zonder straalbuis) van $D_p = 2,65 \text{ m}$ / $D_o = 1,85 \text{ m}$

16.4.3 Retourstroming

De stroomsnelheid aan de bodem ten gevolge van de retourstroming hangt af van de blokkering van het natte dwarsprofiel van de kolk door het schip, van de vaarsnelheid en van de afstand tot de sluismond. De blokkering wordt bepaald door de natte doorsnede van het maatgevende schip en het minimum-natte dwarsprofiel boven de drempel. In de voorhaven is het profiel veel ruimer dan in de sluis. Een schip kan daar dus veel sneller varen. Daardoor kan het voorkomen dat een schip bij de ingang van de kolk aankomt met een snelheid die veel hoger is dan de daar geldende grenssnelheid. De maximum-vaarsnelheid nabij de sluismond kan gesteld worden op 1 tot 2 maal de grenssnelheid die behoort bij het maatgevende schip en het minimum-dwarsprofiel boven de drempel (Lit. [16.14]). Zou het schip nog harder varen dan ontstaan zeer hoge golven in de kolk. (NB. De grenssnelheid behoort bij een schip dat in een prismatische kanaal vaart en waarvan de snelheid alleen met zeer grote motorvermogens te overschrijden is).

Berekening van de retourstroming nabij de sluismond is mogelijk met het rekenprogramma WAROS. WAROS gaat uit van een 1-dimensionale stromingssituatie in de vaarweg en bepaalt de water- en scheepsbewegingen wanneer een schip een sluis in-, uit- of doorvaart bij een opgegeven gebruik van het motorvermogen (Lit. [16.7]). Uit vergelijking van de berekende vaarsnelheid met de gewenste maximum-vaarsnelheid kan het motorvermogen worden aangepast zodat deze na enige berekeningen overeenkomen. Uit de berekeningen is de stroomsnelheid nabij de bodem van de sluismond af te leiden.

Een eerste schatting van de retourstroming is mogelijk met de hier gepresenteerde methode waarbij het invaren van de sluis wordt weergegeven en de stroomsnelheden aan de bodem van de voorhaven afgeleid worden. De procedure verloopt in drie stappen:

1 Maximum-vaarsnelheid in sluismond

De grenssnelheid is een functie van de blokkering van het vaarwegprofiel en heeft bij benadering de volgende functie:

$$v_g = [0,76 (A_s/A_k)^2 - 1,45 (A_s/A_k) + 0,74] \sqrt{g (h_k - z_d)} \quad (16.10)$$

onder de voorwaarde dat $0,35 < A_s/A_k < 0,8$

waarin:	v_g	= grenssnelheid	[m/s]
	A_s	= doorsnede schip	[m ²]
		= $b_s d_s$	
	b_s	= breedte schip	[m]
	d_s	= diepgang schip	[m]
	A_k	= doorsnede sluisprofiel	[m ²]
		= $b_k (h_k - z_d)$	
	b_k	= breedte kolk	[m]
	h_k	= waterspiegelniveau	[m NAP]
	z_d	= niveau kolkdrempel	[m NAP]
	g	= versnelling zwaartekracht	[9,81 m/s ²]

De maximum-invaarsnelheid in de sluismond is (bijvoorbeeld) 1 tot 2 maal de grenssnelheid:

$$v_{smax} = 1 \text{ tot } 2 v_g \quad (16.11)$$

waarin: v_{smax} = maximum-vaarsnelheid [m/s]

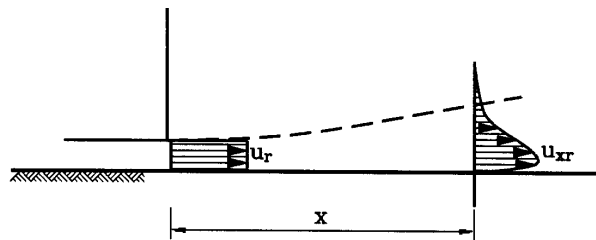
2 Retourstroomsnelheid in sluismond

De retourstroomsnelheid is een functie van de blokkering en de maximum-invaarsnelheid:

$$u_r = \beta v_{smax} A_s / (A_k - A_s) \quad (16.12)$$

waarin: u_r = retourstroomsnelheid [m/s]
 β = coëfficiënt [-]
 $= 0,60 (A_s/A_k = 0,35) \text{ tot } 0,80 (A_s/A_k = 0,80) \text{ voor } v_{smax} = 1 v_g$
 $= 0,45 (A_s/A_k = 0,35) \text{ tot } 0,70 (A_s/A_k = 0,80) \text{ voor } v_{smax} = 1,5 v_g$
 $= 0,30 (A_s/A_k = 0,35) \text{ tot } 0,65 (A_s/A_k = 0,80) \text{ voor } v_{smax} = 2 v_g$

3 Maximum-snelheid aan de bodem



Figuur 16.10 Afbraak van retourstroming

De retourstroming is bij een straal die zich vrijwel aan de bodem bevindt, te beschouwen als een vlakke wandstraal. De maximum-stroomsnelheid bevindt zich op korte afstand van de bodem en wordt veiligheidshalve aangehouden als stroomsnelheid aan de bodem. Voor een vlakke wandstraal geldt (Lit. [16.10]):

$$u_{xr} = 3,50 u_r \sqrt{((h_k - z_d - d_s) / x)} \quad (16.13)$$

onder de voorwaarde dat $u_{xr} \leq u_r$

waarin: u_{xr} = maximale bodemsnelheid [m/s]
 x = afstand tot sluismond [m]

De turbulentie-intensiteit van stralen als gevolg van de retourstroming wordt geschat op 0,20 tot 0,25.

16.4.4 Boegschroefstraal

In Lit. [16.8] en [16.19] zijn de stroomsnelheden en de steenstabiliteit behandeld bij gebruik van een boegschroef door een langs een oever varende of stilliggende schip. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen diverse boegschroeftypen. Voor de situatie bij een schutsluis wordt ervan uitgegaan dat het schip stilligt, wat in het algemeen tot hogere stroomsnelheden aan de bodem of het talud leidt.

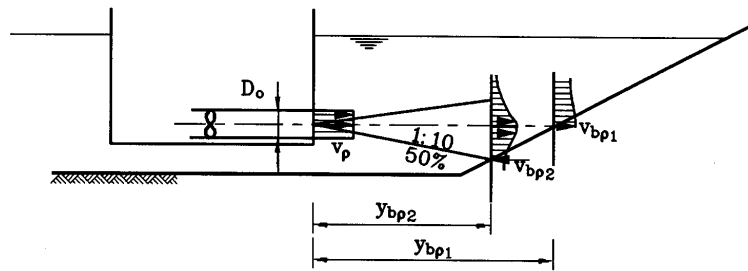
1 Eigenschappen uittredende straal

De afleiding van de eigenschappen van de dwars uit de voorschip tredende ronde straal, is overeenkomstig die voor de hoofdschroef. Uitgegaan wordt van het type, met een kanalsysteem met uitstroming vanuit de zijkant van het voorschip. De effectieve diameter van de uittredende straal komt hierbij overeen met de diameter van de boegschroef.

$$v_p = \zeta 1,15 (P_d / D_o^2)^{1/3} \quad (16.14)$$

waarin:	v_p	= stroomsnelheid uittredende straal	[m/s]
	P_d	= aangewend vermogen op de schroef	[kW]
	D_o	= effectieve schroefdiameter	[m]
	D_p	= werkelijke schroefdiameter	[m]
	ζ	= energieverlies-factor	[-]
		= 0,9 voor kanalsysteem met uitstroming door zijkant	

2 Plaats en grootte van maximum-snelheid bij een talud



Figuur 16.11 Afbraak van boegschroefstraal bij een talud

De straal uit de buis is een ronde straal met uittreesnelheden gericht volgens de buis (dus niet divergerend). Deze ronde straal breekt in benedenstroomse richting alzijdig af totdat de straal de bodem of het talud bereikt (fig. 16.11). Op twee plaatsen kunnen maximum-snelheden optreden met de volgende afstanden (te herleiden uit een situatieschets):

- y_{bp1} : horizontale afstand van zijkant buis tot het snijpunt van het verlengde van de boegschroefas met de taludlijn;
- y_{bp2} : horizontale afstand van zijkant buis tot het snijpunt van de lijn vanuit het hart van de straal onder een helling van 1:10 met de bodem- of de taludlijn.

Uit Lit. [16.10] zijn de volgende maximum-snelheden voor een vrije, ronde straal te herleiden:

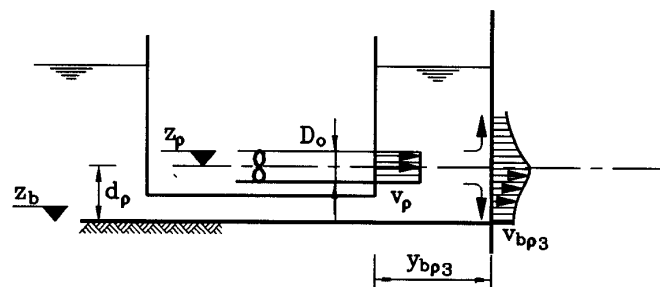
$$v_{bp1} = 6,3 v_p D_o / y_{bp1} \quad (16.15a)$$

$$v_{bp2} = 3,15 v_p D_o / y_{bp2} \quad (16.15b)$$

onder de voorwaarde dat v_{bp1} en $v_{bp2} \leq v_p$

waarin:	v_{bp1}	= maximale bodemsnelheid op afstand y_{bp1}	[m/s]
	v_{bp2}	= maximale bodemsnelheid op afstand y_{bp2}	[m/s]

3 Plaats en grootte van maximum-snelheid bij een rechte wand



Figuur 16.12 Afbraak van boegschroefstraal bij een rechte wand

De horizontale afstand van buis tot wand is gelijk aan y_{bp3} (fig. 16.12). Is de wand veraf gelegen van de buis dan is de maximum-stroomsnelheid boven de bodem voor de wand gelegen op afstand y_{bp2} van de buis en is te berekenen met vergelijking (16.15b). Is de wand dichtbij gelegen dan treedt de maximum-stroomsnelheid op boven de bodem in de hoek bij de wand en is gelijk aan (afkomstig uit Lit. [16.10]):

$$v_{bp3} = 1,03 v_p D_o / d_p \quad (16.16)$$

onder de voorwaarden dat $v_{bp3} \leq (6,3 v_p D_o / y_{bp3})$ en $\leq v_p$

waarin: d_p = verticale afstand straalas tot bodem [m]

De turbulentie-intensiteit van de stroming boven de bodem is hoog en - in orde van grootte - gelijk aan 0,35.

In Lit. [16.8] zijn formules gepresenteerd die de gemiddelde waarden aangeven van het maximum-vermogen en de schroefdiameter van voor de binnenvaart toegepaste boegschroeven:

$$P_d = 18,5 b_s \quad (16.17a)$$

$$D_o = 0,068 P_d^{0,5} \quad (16.17b)$$

waarin: P_d = maximum-vermogen boegschroef [kW]
 b_s = scheepsbreedte [m]
 D_o = effectieve schroefdiameter [m]

Opgemerkt wordt dat de standaardafwijking van het vermogen gelijk is aan ca. 45 kW. De boegschroef onderzijde is enkele centimeters boven de scheepsbodem aangebracht.

16.4.5 Voorbeeld

Vul- en ledigingsstroming (par. 16.4.1)

Invoer:

Debiet:	Q_n	= 30	m ³ /s
Hoogte straal:	d_n	= 1	m
Breedte straal:	b_n	= 10	m
Helling straalas:	α	= 5	° (naar beneden gericht)
Afst. straalas/bodem:	e_n	= 1,50	m
Horiz. afstand:	x	= 15	m (plaats waar snelheid gevraagd wordt)

Uitvoer:

formule (16.1):	u_n	= 3	m/s
formule (16.2):	x_{bn}	= 7,9	m
formule (16.4):	u_{bn}	= 2,7	m/s
formule (16.5):	u_{xn}	= 1,9	m/s

Schroefstraal (par. 16.4.2)

Invoer:

Klasse Va, GRS-schip, schroef/straalbuis/comb.			
Diameter schroef:	D_p	= 1,80	m
Motorvermogen:	P_d	= 700	kW (per schroef, 100% vermogen)
Aantal schroeven:	n	= 2	
Afst. as/bodem:	d_p	= 1,70	m

Uitvoer:

formule (16.6c):	D_o	= 1,53	m
------------------	-------	--------	---

formule (16.7):	u_p	= 7,7	m/s
formule (16.8):	x_{bp}	= 9,5	m
formule (16.9a):	u_{bp}	= 2,9	m/s

Retourstroming (par. 16.4.3)

Invoer:

Breedte schip:	b_s	= 11,40	m
Diepgang schip:	d_s	= 3,70	m
Doorsnede schip:	A_s	= 42,18	m ²
Breedte kolk:	b_k	= 14	m
Niveau watersp.:	h_k	= 0,00	m NAP
Niveau drempel:	z_d	= -4,50	m NAP
Doorsnede kolk:	A_k	= 63	m ²
Horiz. afstand:	x	= 5	m
Invaarsnelheid:	v_{smax}	= 2 v_g	

Uitvoer:

	A_s/A_k	= 0,67	
formule (16.10):	v_g	= 0,72	m/s
	v_{smax}	= 1,45	m/s
	β	= 0,6	
formule (16.12):	u_r	= 1,76	m/s
formule (16.13):	u_{xr}	= 1,76	m/s

Boegschroefstraal (par. 16.4.4)

Invoer:

Klasse Va, GRS-schip			
Breedte schip:	b_s	= 11,40	m
Vermogen	P_d	= 210	kW
Diameter:	D_o	= 1,00	m
Afst. as/bodem:	d_p	= 1,70	m
Horiz. afstand:	y_{bp1}	= 10,30	m
Horiz. afstand:	y_{bp2}	= 7,50	m
Horiz. afstand:	y_{bp3}	= 6,00	m

Uitvoer:

formule (16.14):	v_p	= 6,1	m/s
formule (16.15a):	v_{bp1}	= 3,7	m/s
formule (16.15b):	v_{bp2}	= 2,6	m/s
formule (16.16):	v_{bp3}	= 4,8	m/s

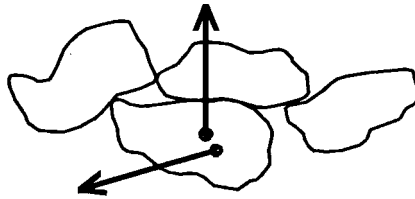
16.5 Berekening toplaag stortsteen

De toplaag van de stortsteen hangt af van de snelheid en turbulentie-intensiteit van de stroming boven de bodem. In deze paragraaf worden diverse stabiliteitsrelaties gepresenteerd waarmee de toplaag berekend wordt en aangegeven welke de voorkeur verdient. De invloed van een taludhelling op de toplaag wordt eveneens gegeven. De paragraaf besluit met een rekenvoorbeeld.

Vooraf wordt opgemerkt dat de gepresenteerde stabiliteitsrelaties een beperkte nauwkeurigheid bezitten en dat niet ingegaan wordt op de vraag hoe vaak een belasting voorkomt en hoe groot deze dan is (probabilistische aspecten).

16.5.1 Stabiliteitsrelatie

Algemeen



Figuur 16.13 Krachten op een stortsteen

Een losse steen, als onderdeel van de bodembescherming, ondervindt de kracht van het stromende water en de zwaartekracht. De kracht van het stromende water is evenredig met $\tau_b D_n^2$ met τ_b = bodemschuifspanning en D_n = (nominale) steendiameter. Het gewicht van de steen onder water is evenredig met $(\rho_s - \rho_w) g D_n^3$ met ρ_s = soortelijke (of volumieke) massa steen en ρ_w = soortelijke (of volumieke) massa water. Het begin van beweging van deze losse steen zal optreden wanneer het effect van het stromende water juist meer wordt dan het effect van de zwaartekracht (hoek van inwendige wrijving wordt overschreden):

$$\alpha_1 \tau_b D_n^2 > \alpha_2 (\rho_s - \rho_w) g D_n^3$$

$$\text{of: } \tau_b / ((\rho_s - \rho_w) g D_n) > \alpha_2 / \alpha_1$$

De factoren α_1 en α_2 hangen af van de stromingstoestand nabij de steen, de vorm van de steen, de ligging ten opzichte van andere stenen etc. In plaats van stenen van een bodembescherming kan ook gedacht worden aan losse korrels van een zandbed.

(Opm. De D_{50} uit een korrel- of steensortering betreft de diameter van de steen die behoort bij een zeefopening waarbij 50% van de korrel- of steenmassa door de zeef valt. D_n is de nominale diameter, zijnde de diameter van D_{50} als ronde bol. Voor breuksteen is als gemiddelde $D_n = 0,84 D_{50}$.)

Begin van beweging

Op soortgelijke wijze als hiervoor genoemd, heeft Shields (Lit. [16.11]) voor het begin van beweging de volgende formule opgesteld:

$$\tau_b / ((\rho_s - \rho_w) g D_n) = \psi_c \quad (16.18)$$

waarin: τ_b	= bodemschuifspanning	[N/m ²]
ρ_s	= soortelijke massa steen	[kg/m ³]
ρ_w	= soortelijke massa water	[kg/m ³]
D_n	= nominale diameter steen	[m]
ψ_c	= Shields-coëfficiënt	[-]

De Shields-coëfficiënt ψ_c hangt af van de lokale stromingstoestand rondom de steen die uitgedrukt wordt met behulp van het zogenaamde lokale Reynoldsgetal Re^* .

$$Re^* = (u^* D_n / \nu)$$

waarin: $u^* = \sqrt{\tau_b / \rho_w}$ = schuifspanningssnelheid
 D_n = nominale korreldiameter
 ν = kinematische viscositeit van het water.

Doorslaggevend zijn de visceuze en turbulente invloeden van de stroming op de betreffende stenen.

Shields heeft experimenten uitgevoerd voor een turbulente stroming met een ontwikkeld snelheidsprofiel boven een bed met bepaalde ruwheden. De turbulentie van de stroming houdt verband met de ruwheid van de bodem. Het bleek dat voor $Re^* \gg 10$ de waarde van ψ_c minimaal is, waarbij op het punt van begin van beweging van de stenen $\psi_c = 0,032$. Duidelijke bewegingen worden waargenomen met $\psi = 0,045$, een gering doorgaand transport ontstaat bij $\psi = 0,060$.

Bodemschuifspanning

De waarde van de bodemschuifspanning τ_b is voor een eenparige stroming gelijk aan:

$$\tau_b = \rho_w g h l \quad (16.19)$$

waarin: h = waterdiepte [m]
 l = verhang [-]

Het verhang kan berekend worden met de formule van Chezy:

$$l = u^2 / (C^2 h) \quad (16.20)$$

waarin: C = coëfficiënt van Chezy [$\sqrt{m/s}$]
 u = stroomsnelheid, gemiddeld over de hoogte [m/s]

De coëfficiënt van Chezy is gelijk aan (geldig voor volledig ontwikkelde snelheidsprofielen):

$$C = 25 (h / D_n)^{1/6} \quad (\text{Manning, Strickler}) \quad (16.21a)$$

$$\text{of: } C = 18 \log (6h / D_n) \quad (\text{White-Colebrook}) \quad (16.21b)$$

Kritieke snelheid bij ontwikkeld snelheidsprofiel

Uit de formules (16.18), (16.19), (16.20) en (16.21a) wordt formule (16.22) afgeleid waarbij de stroomsnelheid u vervangen wordt door u_{cr} , zijnde de kritieke stroomsnelheid, gemiddeld over de hoogte waar bij de stenen net beginnen te bewegen:

$$u_{cr} = 25 (h/D_n)^{1/6} \sqrt{(\Delta D_n \psi_c)} \quad (16.22)$$

waarin: u_{cr} = kritieke stroomsnelheid, gemiddeld over de hoogte [m/s]
 Δ = relatieve dichtheid stenen [-]
 $= (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$

Formule (16.22) is gebaseerd op een volledig ontwikkeld, logaritmisch snelheidsprofiel voor een turbulente stroming in een prismatisch kanaal met een bepaalde ruwheid en is conform de relatie van Shields.

Shields-formulering aangepast voor stralen

Bij schutsluizen wordt de bodem aangevallen door geconcentreerde stralen. Deze stralen leiden tot snelheidsprofielen die sterk afwijken van het ontwikkelde snelheidsprofiel. Er treden bijvoorbeeld nabij de bodem hogere stroomsnelheden op dan de over de verticaal gemiddelde stroomsnelheid. Aan het wateroppervlak kan door neervorming het water mogelijk zelfs terugstromen. Bovendien houdt de turbulentie-intensiteit van de stralen boven de bodem zowel verband met de lokale bodemruwheid als met het feit hoe de straal is ontstaan. Om die redenen is het niet zonder meer mogelijk de stabiliteitsrelatie volgens Shields (formule 16.22) toe te passen. Daarom wordt een stabiliteitsrelatie afgeleid die als parameters de snelheid aan de bodem u_b en de turbulentie-intensiteit r in zich heeft.

Eerst wordt een aantal schattingen gegeven van de verhouding van de snelheid nabij de bodem en de gemiddelde snelheid en van de turbulentie-intensiteit voor het ontwikkelde snelheidsprofiel. De stelling is dat de stenen in beweging komen door de hoogst optredende stroomsnelheid bij de bodem, zijnde $u_b (1+3r)$, oftewel de (over de tijd gemiddelde) stroomsnelheid aan de bodem plus 3 keer de standaardafwijking. Bij een gladde bodem hoort deze hoogst optredende stroomsnelheid bij een (relatief gezien) hoge (over de tijd gemiddelde) snelheid aan de bodem en een lage turbulentie-intensiteit. Bij een ruwe bodem is dit juist andersom:

glad $u_b \gg 0,85 u$ en $r \gg 0,10$
 naar $u_b \gg 0,75 u$ en $r \gg 0,15$
 ruw: $u_b \gg 0,67 u$ en $r \gg 0,20$

waarin: u = stroomsnelheid, gemiddeld over de verticaal en de tijd [m/s]
 u_b = stroomsnelheid boven de bodem, gemiddeld over de tijd [m/s]
 r = standaardafwijking stroomsnelheid boven de bodem
 = turbulentie-intensiteit boven de bodem [-]

In formule (16.22) wordt de gemiddelde snelheid u_{cr} vervangen door u_b en de turbulentie-intensiteit r ingevoerd door middel van een factor $(1+3r)$. Met $u_b = 0,85 u$ en $r = 0,10$ geeft dit:

$$u_b = 0,85 * ((1+3 * 0,10)/(1+3r)) * 25 (h/D_n)^{1/6} \sqrt{(\Delta D_n \psi_c)}$$

Opgemerkt wordt dat de andere combinaties dezelfde uitkomst opleveren.

Uitwerking hiervan geeft met substitutie van $\psi_c = 0,032$ de volgende stabiliteitsrelatie (Lit. [16.13]):

$$\Delta D_n = 0,80 (D_n / h)^{1/3} (u_b(1+3r))^2 / (2g) \quad (16.23a)$$

$$\text{of: } D_n = \{ [0,80 / (\Delta h^{1/3})] * [(u_b(1+3r))^2 / (2g)] \}^{3/2} \quad (16.23b)$$

waarin: Δ = $(\rho_s - \rho_w) / \rho_w$
 = relatieve dichtheid stenen (bijvoorbeeld 1,65) [-]
 D_n = nominale diameter steen [m]
 h = totale waterdiepte [m]
 u_b = stroomsnelheid boven de bodem [m/s]
 r = turbulentie-intensiteit [-]

Formules (16.23a) en (16.23b) zijn een aanpassing van de formulering volgens Shields en zijn toepasbaar voor geconcentreerde stralen boven een stortsteen bekleding zoals bij schutsluizen. Voordeel is dat gebruik gemaakt kan worden van de stroomsnelheid boven de bodem, terwijl de invloed van de turbulentie van de stralen zelf en van de bodemruwheid aanwezig is.

Het blijkt dat de benodigde steendiameter daarbij afhankelijk is van:

- Stroomsnelheid aan de bodem
 De steendiameter neemt met de derde macht van de stroomsnelheid toe.

- Turbulentie-intensiteit stralen
In de reeks van normale turbulentie-intensiteiten (0,1 tot 0,4) neemt de steendiameter ongeveer lineair toe met de turbulentie-intensiteit van de straal.
- Ruwheid bodem
Hoe ruwer de bodem ((D_n / h)) neemt toe) des te groter de benodigde steendiameter wordt omdat de schuifspanning en de wervels aan de bodem in grootte (en daarmee de turbulentie) toenemen.

Als in plaats van geen beweging van de stenen enig transport wel is toegestaan, dan is $\psi = 0,045$ en wijzigt de factor 0,80 in formule (16.23b) in 0,57.

16.5.2 Andere stabiliteitsrelaties

In deze paragraaf worden enkele andere, veel gebruikte stabiliteitsrelaties genoemd omdat deze als controlemiddel kunnen dienen van de in de vorige paragraaf aanbevolen formule (16.23b).

Veel onderzoek is in het verleden verricht naar stabiliteitsrelaties van losse stortsteen. Bij de stabiliteitsrelaties van Shields (formule (16.22)) en Izbash (Lit. [16.4]) is sprake van uniforme stroming in een prismatisch kanaal over een ruw bed. Voor stabiliteitsrelaties bij stroming achter drempels en schuiven (dus met versnellingen en vertragingen van de stroming), zijn twee andere stabiliteitsrelaties ontwikkeld, te weten een uitgebreide Shields (Lit. [16.1]) en de relatie volgens Pilarczyk (Lit. [16.9]). Probleem bij het toepassen van deze stabiliteitsrelaties is dat de stroombeelden (te) veel verschillen van die bij schutsluizen waardoor toepassing niet zonder meer mogelijk is.

De relaties luiden als volgt (NB. 1 is de aangepaste Shields formulering van de vorige paragraaf):

2 Izbash

De eenvoudigste formule is die van Izbash die ervan uitgaat dat het product van steendiameter en relatieve dichtheid van de steen gelijk is aan een factor maal de snelheidshoogte van de stroming:

$$\Delta D_n = \beta u^2 / (2g) \quad (16.24)$$

waarin:	Δ	= $(\rho_s - \rho_w) / \rho_w$	
		= relatieve dichtheid stenen	[-]
	D_n	= nominale diameter steen	[m]
		= $0,84 D_{50}$	
	β	= turbulentie-constante	[-]
		= 0,7 (lage turbulentie bij gladde bodem)	
		tot 1,4 (hoge turbulentie bij ruwe bodem)	
	u	= stroomsnelheid, gemiddeld over de verticaal	[m/s]

3 Uitgebreide Shields

Uit de formules (16.18), (16.19) en (16.20) en het invoeren van een stabiliteitsfactor K die afhangt van het specifieke stroombeeld (en dus uiteindelijk van de constructie) kan de uitgebreide Shields-relatie verkregen worden:

$$\Delta D_n = (K u)^2 / (C^2 \psi_c) \quad (16.25)$$

waarin:	K	= stabiliteitsfactor, constructie-afhankelijk	[-]
	C	= Chezy-coëfficiënt	[$\sqrt{\text{m/s}}$]
		= $25 (h / D_n)^{1/6}$ (Manning / Strickler)	
	ψ_c	= Shields-coëfficiënt	[-]
		= 0,032 (voor begin van beweging)	
	u	= gemiddelde stroomsnelheid	[m/s]

In het verleden is veel modelonderzoek verricht naar de stabiliteit van stortsteen achter drempels. Hieruit zijn K-waardes afgeleid van (bijvoorbeeld) 0,8 tot 1,4 die afhangen van de verhouding drempelhoogte en benedenstroomse waterdiepte (Lit. [16.18]). In deze K-waardes zitten ook effecten van afwijkende snelheidsverdelingen, turbulenties etc.

Als de stroming geconcentreerd is, wordt aanbevolen deze te laten werken over de straalhoogte in plaats van over de gehele waterdiepte. Voor de waterdiepte h in de Chezy-coëfficiënt wordt dan de straalhoogte ingevuld en de gemiddelde snelheid is gemiddeld over de straalhoogte in plaats van over de waterdiepte.

4 Pilarczyk

In de formule van Pilarczyk zijn de verschillende invloedsfactoren ook ingebracht maar nu met een duidelijk omschreven betekenis. Te noemen zijn factoren voor de ligging van de stortsteen, de turbulentiegraad, de helling van de stortsteen, het snelheidsprofiel en de mate van beweging (Shields). Essentieel is de juiste schatting van deze factoren. Er geldt:

$$\Delta D_n = \phi_c K_T K_s K_h (0,035 / \psi_c) u^2 / (2g) \quad (16.26)$$

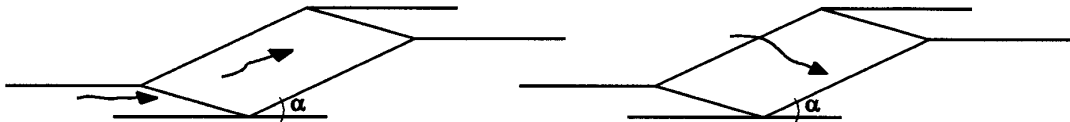
waarin:	ϕ_c	= factor voor ligging van de stortsteen = 0,75 (doorgaande bescherming) tot 1,5 (hoeken en overgangen)	[-]
	K_T	= turbulentie-amplificatiefactor, bijv. $(1+3r)/1,3$ = indicatief: 1 (rivieren), 1,5 (verhoogde turbulentie), 2 (achter watersprong) of 3 (schroefstraal)	[-]
	K_s	= hellingfactor, zie par. 16.5.3	[-]
	K_h	= snelheidsprofiel-factor = $(D_n / h)^{0,2}$ (niet-ontwikkeld snelheidsprofiel met h als waterdiepte)	[-]
	ψ_c	= Shields-factor = 0,032 (begin van beweging van losse stenen)	[-]
	u	= stroomsnelheid, gemiddeld over de verticaal	[m/s]

In de afgelopen jaren zijn veel adviezen over steendiameters van bodembeschermingen bij schutsluizen gegeven waarbij vele soorten formules zijn gebruikt. Klachten uit de praktijk over aantasting van de aanbevolen bodembeschermingen zijn niet ontvangen. Formule (16.23b) van par. 16.5.1 dekt het beste de uitgebrachte adviezen en aangezien deze formule de belangrijkste parameters in zich heeft en het beste aansluit op de stromingssituaties in sluizen, wordt deze formule voor gebruik bij schutsluizen aanbevolen. Het is aan te raden de gevonden resultaten te controleren met de formule van Izbash (formule (16.24)).

16.5.3 Invloed taludhelling op toplaag

Op een talud liggen de stenen onder een helling waardoor de stabiliteit van de stenen kan verminderen. Belangrijk is de hoek van inwendige wrijving van de stenen te kennen. Nadert de hoek van de helling de hoek van inwendige wrijving dan is een kleine stroomsnelheid voldoende om de stenen van het talud te laten rollen.

De in de vorige paragrafen afgeleide nominale steendiameters D_n voor een horizontale bodem worden door een helling-factor K_s gedeeld om de steendiameter voor het talud te verkrijgen (Lit. [16.9]). Onderscheid wordt gemaakt tussen een stroming die langs of evenwijdig aan het talud loopt (bij een oever) en een stroming die een talud op- of afloopt (de stroming staat dwars op de oever) (fig. 16.14). Bij de stroming die het talud op- of afloopt is het van belang of de stroming het talud volgt of niet: bij een steile helling met een oplopend talud "duikt" de stroming het talud in en met een aflopend talud "schiet" de stroming er overheen.



Figuur 16.14 Strooming die een talud oploopt en strooming die langs een talud loopt

De hellingfactor voor een strooming die een talud op- of afloopt luidt:

$$K_s = \sin (\Theta - \alpha) / \sin \Theta \quad (16.27)$$

waarin: K_s = hellingfactor [-]
 Θ = hoek van inwendige wrijving van de stenen [°]
 α = hoek talud [°]

Is de hoek van inwendige wrijving van de stenen Θ gelijk aan de taludhoek α dan wordt K_s gelijk aan nul en ΔD_n wordt oneindig. De formule moet daarom met de nodige voorzichtigheid gebruikt worden.

Voor strooming die langs het talud loopt is de hellingfactor:

$$K_s = \cos \alpha \sqrt{(1 - \tan^2 \alpha / \tan^2 \Theta)} \quad (16.28)$$

16.5.4 Voorbeeld

Het voorbeeld uit par. 16.4 5 wordt uitgewerkt. Hier is sprake van een waterdiepte $h = 4,50$ m en een horizontale bodem. Gekozen is voor stenen met een soortelijke massa van $\rho_s = 2650$ kg/m³ wat leidt tot $\Delta = 1,65$. Voor de stroomsnelheden zijn steeds de snelheden aan de bodem aangehouden. Voor de bodemligging wordt de schroefstraal-invloed niet maatgevend geacht en wordt daarom achterwege gelaten.

- 1 Aangepaste Shields-formule (16.23b) met $\psi_c = 0,032$ en $h = 4,50$ m:

ledigingsstroom:	$u_b = 2,7$ m/s,	$r = 0,25$:	$D_n = 0,20$ m
schroefstraal:	$u_b = 2,9$ m/s,	$r = 0,35$:	$D_n = 0,39$ m
retourstroom:	$u_b = 1,8$ m/s,	$r = 0,20$:	$D_n = 0,04$ m

- 2 Izbash-formule (16.24):

ledigingsstroom:	$u = 2,7$ m/s,	$\beta = 1,0$:	$D_n = 0,22$ m
schroefstraal:	$u = 2,9$ m/s,	$\beta = 1,4$:	$D_n = 0,36$ m
retourstroom:	$u = 1,8$ m/s,	$\beta = 0,7$:	$D_n = 0,07$ m

- 3 Uitgebreide Shields-formule (16.25) met $\psi_c = 0,032$ en $h = 2$ m (straalhoogte):

ledigingsstroom:	$u = 2,7$ m/s,	$K = 1,2$:	$D_n = 0,13$ m
schroefstraal:	$u = 2,9$ m/s,	$K = 1,4$:	$D_n = 0,25$ m
retourstroom:	$u = 1,8$ m/s,	$K = 1,0$:	$D_n = 0,02$ m

- 4 Pilarczyk-formule (16.26) met $\psi_c = 0,032$, $\phi_c = 0,75$, $h = 4,50$ m:

ledigingsstroom:	$u = 2,7$ m/s,	$K_T = 2,0$,	$K_h = 0,54$	: $D_n = 0,20$ m
schroefstraal:	$u = 2,9$ m/s,	$K_T = 3,0$,	$K_h = 0,60$	: $D_n = 0,38$ m
retourstroom:	$u = 1,8$ m/s,	$K_T = 1,5$,	$K_h = 0,40$	: $D_n = 0,05$ m

Uit dit voorbeeld blijkt dat de resultaten volgens 1, 2 en 4 (formules (16.23b), (16.24) en (16.26) van resp. aangepaste Shields, Izbash en Pilarczyk) dicht bij elkaar liggen maar 3 wijkt af (formule (16.25), uit-

gebreide Shields). Formule (16.24, Izbash) is eenvoudig van opzet en heeft in de praktijk bewezen veilig te zijn, maar gaat uit van een andere stromingssituatie. Formule (16.26, Pilarczyk) heeft als nadeel dat er veel factoren zijn die mogelijk verkeerd gekozen kunnen worden. Formules (16.25, uitgebreide Shields) levert te lage waarden op. Formule (16.23b, aangepaste Shields) is geënt op stromingssituaties bij de sluizen (geconcentreerde stralen) en wordt aanbevolen.

Voorbeeld invloed taludhelling op topplaag:

Invoer:

Hoek van inwendige wrijving:

$$\Theta = 40^{\circ}$$

Taludhelling:

$$\alpha = 26,6^{\circ} (1:2)$$

Uitvoer:

Stroming die talud afloopt (formule 16.27):

$$K_s = 0,36$$

Stroming die talud oploopt (formule 16.27):

$$K_s = 1,42$$

Stroming die langs het talud loopt (formule 16.28):

$$K_s = 0,72$$

16.6 Plaats en lengte bestorting

In deze paragraaf gaat het om de plaats waar en over welke lengte stortsteen aangebracht moet worden. De plaats hangt af van waar de belasting kan optreden en of dit in de directe nabijheid van de constructie is (sluis, remming- en geleidewerk, oever e.d.).

Uitgangspunt is dat de lengte waarover de stortsteen wordt aangebracht zodanig moet zijn dat bij bezwijken van de rand van de erosiekuilen (afschuiving of zettingsvloeiing) de constructie niet wordt bereikt. Van grote invloed is daarbij de mogelijke diepte en aanzethelling van de erosiekuilen die op hun beurt afhangen van de overtrekkende stroom en de korreldiameter van de grond.

16.6.1 Bodembelasting en plaats bodembescherming

In par. 16.2 is een groot aantal oorzaken van mogelijke aantasting van de bodem genoemd. In de meeste gevallen zijn de volgende vier belastingen bepalend:

- 1 Ledigingsdebiet
Stromingen veroorzaakt door het ledigingsdebiet belasten de bodem van het op de sluis aansluitende deel van de benedenvoorhaven. De lengte waarover de belasting optreedt is begrensd en neemt in benedenstroomse richting af door de spreiding van de stralen. De richting van de stroming is (uiteraard) in benedenstroomse richting.
- 2 Schroefstraal door hoofdmotor
Schroefstralen door de hoofdmotor van een schip kunnen in principe in het gehele vaargebied van de voorhavens grote stroomsnelheden aan de bodem opwekken en daar erosie veroorzaken. De stroming is in alle horizontale richtingen mogelijk vanwege de diverse richtingen waarin het schip kan liggen en door het effect van het roer op de richting van de schroefstraal. Het meest frequent treedt schroefstraalbelasting op waar de schepen het meeste varen en manoeuvreren, dus in de vaarbaan naar de sluis en bij de remming- en geleidewerken.
- 3 Retourstroming
Belastingen veroorzaakt door de retourstroming van invarnde schepen zijn alleen van belang in de direct op de sluishoofden aansluitende delen van beide voorhavens. De richting van mogelijke belastende retourstroming is van de sluis af gericht.
- 4 Schroefstraal door boegschroef
De van de boegschroef afkomstige schroefstralen worden vooral tijdens het manoeuvreren opgewekt en belasten voornamelijk de bodem bij de remming -en geleidewerken en de taluds van de oevers. De stralen zijn merendeels loodrecht op de sluisas gericht en kunnen zowel naar de wand of de oever toe of hiervan af gericht zijn.

Hoewel dus de bodem in de gehele voorhaven belast kan worden, wordt alleen bodembescherming aangebracht op plaatsen waar de stabiliteit van de constructie in gevaar kan komen door bodemerosie. Dit is op de volgende plaatsen:

- Sluishoofden
Aansluitend op de sluishoofden wordt in de voorhavens over een bepaalde lengte bodemverdediging aangebracht als gevolg van de belastingen 1, 2, 3 en 4.
- Remming- en geleidewerken
Langs de remming- en geleidewerken, zowel bij een open constructie als bij een dichte wand, kan bodembescherming aangebracht worden als reactie op de belastingen 1 en 4 over een bepaalde strookbreedte.
- Oevers
Aan de oevers in de voorhaven die als taluds zijn aangelegd wordt als gevolg van belasting 4 stortsteen aangebracht. (NB. De oevers worden uiteraard ook verdedigd vanwege wind- en scheepsgolven.)
- Sluiskolk
Bij afwezigheid van een betonnen kolkbodem kan in plaats hiervan een bodembescherming in de gehele sluiskolk zijn aangebracht.

In de volgende paragrafen wordt voor de gebieden aansluitend op de sluishoofden de benodigde lengte van de bodembescherming vastgesteld en langs de remming- en geleidewerken de benodigde strookbreedte. Er wordt steeds van uitgegaan dat de bodembescherming uit losse stortsteen bestaat terwijl de bodem van de voorhaven van loskorrelig zand is.

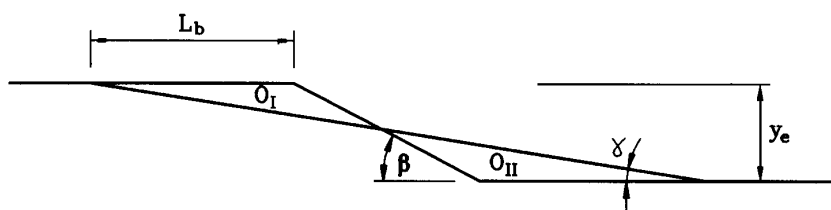
Opmerking: Bij remming- en geleidewerken is sprake van een strookbreedte in plaats van een lengte van de bodembescherming. Om niet in herhaling te vallen wordt steeds het begrip lengte genoemd terwijl hiervoor ook strookbreedte gelezen kan worden.

16.6.2 Relaties voor de lengte van de bestorting

Een bodembescherming heeft als functie erosie van de bodem tegen te gaan. Voorkomen moet worden dat de steundruk tegen de constructie wegvalt waardoor stabiliteitsverlies optreedt. De bodembescherming kan op vele manieren beschadigd of ondermijnd worden, bijvoorbeeld doordat de stortsteen te licht is, de opbouw van de lagen (filterwerking) te kort schiet of door afschuivingen (of zettingsvloeiingen) als gevolg van diepe erosiekuilen aan de randen van de bodembescherming. In deze paragraaf gaat het om de lengte van bodembescherming gaat, zijn de erosiekuilen aan de rand van de bodembescherming aan de orde. (Opm. Met erosie wordt hetzelfde bedoeld als ontgronding.)

Ontstaan langs de rand van de bodembescherming diepe erosie- of ontgrondingskuilen met aanzethellingen in de buurt van de hoek van inwendige wrijving van de grond, dan treedt aan de rand van een grondmoot afschuiving op. De toelaatbare schuifspanning van de korrels wordt daarbij overschreden. De grondmoot aan de rand inclusief de daar aanwezige bodembescherming zakt de kuil in waarbij een profiel ontstaat met een steile helling (de bres) en een flauwe helling. De inscharingslengte is het deel van de rand dat de kuil inschuift. Wanneer de kuil zich steeds verder verdiept, herhaalt zich het proces van afschuiven en verdwijnt steeds meer materiaal de kuil in. Na nog verdere afschuivingen gaat de bodem onder een gemiddelde hoek γ van bijvoorbeeld 1:6 tot 1:8 ($\gamma = 10^\circ$ tot 7°) staan.

In plaats van afschuiving van de kuilrand kan soms zettingsvloeiing optreden als gevolg van verweking van de bodem wanneer het bodemmateriaal daar gevoelig voor is. Door toename van de schuifspanningen aan de kuilrand treedt een volumeverkleining van het bodemmateriaal op waardoor de waterdrukspanning toeneemt en diensgevolge de korrelspanning afneemt. De grond gaat zich als een zware vloeistof gedragen en verweekt. Door deze verweking schuift de grondmoot met de bodembescherming de kuil in (fig. 16.15). De gemiddelde hoek γ waaronder de bodem na verweking gaat staan is veel flauwer dan na afschuiving: bijvoorbeeld 1:15 ($\gamma = 3,5^\circ$).



Figuur 16.15 Afschuiving of zettingsvloeiing grondmoot

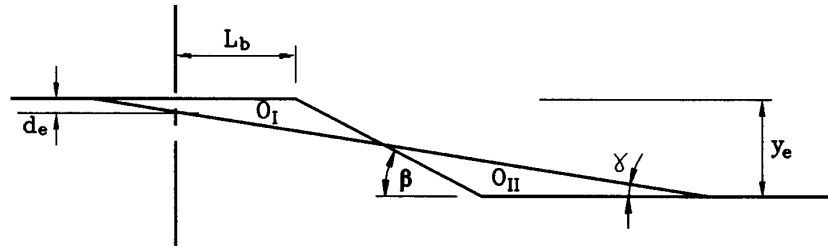
Voorkomen moet worden dat de bodembescherming tot aan de constructie in de kuil zakt. Daartoe moet de bodembescherming voldoende lengte worden gegeven. Globaal genomen draait na afschuiving of zettingsvloeiing de gemiddelde bodem om een punt dat zich halverwege de kuildiepte bevindt aan de rand van de bodembescherming. Hierbij geldt $O_I = O_{II}$ met O als oppervlak. De zgn. inscharingslengte is dan de lengte van de afgeschoven grondmoot. De lengte van de bodembescherming bedraagt minimaal de inscharingslengte zodat het bodemniveau bij de constructie gewaarborgd blijft:

$$L_b = 0,5 y_e (\cotg \gamma - \cotg \beta) \quad (16.29a)$$

waarin: L_b = minimale lengte bodembescherming [m]

y_e	= maximum-kuildiepte	[m]
β	= aanzethelling kuil	[°]
γ	= eindhelling bodem na afschuiving of verweking	[°]

Uit de formule blijkt dat de inscharingslengte en daarmee de minimaal vereiste lengte van de bodembescherming afhangt van de kuildiepte en de eindhelling, samenhangend met het bezwijkmechanisme van de grond. Opgemerkt wordt dat het bezwijkmechanisme en de formule bestemd zijn voor loskorrelig materiaal zoals zand. Bij cohesieve gronden is de situatie duidelijk anders.

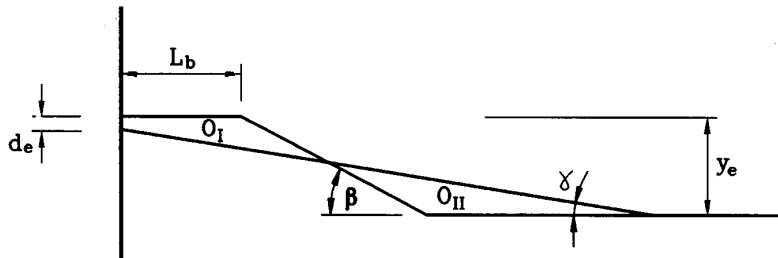


Figuur 16.16 Afschuiving grondmoot ter plaatse van open remmingwerk

Indien wordt toegestaan dat de grondslag ter plaatse van de constructie over een beperkte hoogte mag zakken, vermindert de minimale lengte van de bodembescherming. Het is denkbaar dat dit bij een remmingwerk toegestaan wordt mits met deze zakking rekening gehouden wordt voor het constructieve ontwerp van het remmingwerk. Bij een open remmingwerk waarachter de bodem zich voortzet, bedraagt de minimale lengte (of strookbreedte) van de bodembescherming, gemeten loodrecht op het remmingwerk:

$$L_b = 0,5 (y_e - d_e) (\cotg \gamma - \cotg \beta) \quad (16.29b)$$

waarin: d_e = toegestane verdieping bij constructie [m]



Figuur 16.17 Afschuiving grondmoot ter plaatse van kunstwerk

Bestaat de constructie uit een gesloten wand en is ook enige zakking hiervoor toegestaan, dan zakt de grond voor de wand extra door het ontbreken van aanvoer van zand achter de wand. De factor 0,5 uit formule (16.29b) neemt dan toe tot bijvoorbeeld 0,6 of 0,7. Door gelijkstelling van het afschuivende oppervlak met het in de kuil terechtgekomen oppervlak ($O_I = O_{II}$) kan een uitdrukking gevonden worden waaruit de lengte L_b opgelost kan worden. In vereenvoudigde vorm is deze uitdrukking:

$$L_b (d_e + 0,5 L_b \cotg \gamma) = 0,5 (y_e - d_e - L_b \cotg \gamma)^2 \cotg \gamma \quad (16.29c)$$

16.6.3 Relaties voor de kuildiepte

De in deze paragraaf genoemde gegevens zijn afkomstig uit Lit. [16.3] (Breusers, Raudkivi).

Kritieke stroomsnelheid

Bij een loskorrelige bodem, zoals bij een onbeschermde bodem van de voorhaven van een sluis, kan de

kritieke stroomsnelheid volgens formule (16.22) uit par. 16.5.1 worden berekend. Bij deze snelheid beginnen de korrels nog net niet te bewegen. Bij een Shields-coëfficiënt van $\psi_c = 0,032$ gaat voor-noemde formule over in (geldt voor niet-cohesief materiaal):

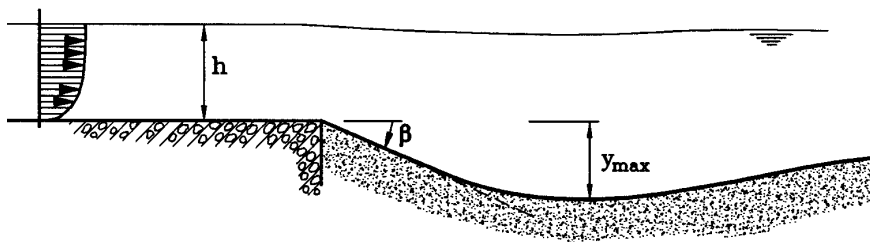
$$u_{cr} = 1,4 (h / D_{50})^{1/6} \sqrt{(\Delta g D_{50})} \quad (16.30)$$

waarin: u_{cr} = kritieke stroomsnelheid [m/s]
 h = waterdiepte [m]
 D_{50} = korreldiameter [m]

Uit formule (16.30) blijkt dat de kritieke stroomsnelheid toeneemt met het toenemen van de korreldiameter en ook toeneemt bij een grotere waterdiepte bij gelijke korreldiameter (oftewel een relatief gladde bodem). Overschrijdt de stroomsnelheid de kritieke stroomsnelheid dan erodeert de bodem en ontstaat kuilvorming.

Opmerking: De D_{50} betreft de korreldiameter van het basismateriaal (dus niet van de bodembescherming) en behoort bij een zeefopening waar 50% van de korrelmassa door de zeef valt. Omdat kuilen zich over meters diepte kunnen uitstrekken moet voor D_{50} de over de kuildiepte gemiddelde waarde genomen worden.

Kuil in uniforme stroming



Figuur 16.18 Kuil in uniforme stroming

Een uniforme stroming trekt over een horizontale bodembescherming en vervolgens over de onbeschermde bodem (Opm.: dit is bedoeld als een twee-dimensionale stromingssituatie onafhankelijk van de breedte). Als de stroomsnelheid groter is dan de kritieke snelheid, ontstaat achter de bodembescherming een kuil met een bepaalde diepte, lengte en aanzethelling. De kuil neemt in de tijd toe wat betreft diepte en lengte; de aanzethelling verandert echter weinig. De kuildiepte, zijnde het diepste punt van de kuil, is bij benadering gelijk aan:

$$y_{max} = h (t/t_1)^{0,38} \quad (16.31a)$$

$$\text{waarin: } t_1 = 330 \Delta^{1,7} h^2 (\alpha u - u_{cr})^{-4,3} \quad (16.31b)$$

en: y_{max} = maximum-kuildiepte na tijd t [m]
 h = waterdiepte boven initiële bodemligging [m]
 t_1 = tijd waarop maximum-kuildiepte gelijk is aan waterdiepte ($y_{max} = h$) [m]
 u = over de verticaal gemiddelde stroomsnelheid [m/s]
 α = coëfficiënt voor invloed turbulentie [-]
 $\alpha = 1,5 + 5 r$ (bijv.)
 r = relatieve turbulentie-intensiteit [-]

Uit het eerste deel van de formule blijkt door de macht 0,38 dat de kuilgroei eerst snel en daarna veel langzamer verloopt. Uit het tweede deel blijkt dat de tijd benodigd voor het bereiken van een kuildiepte overeenkomstig de waterdiepte, toeneemt met het toenemen van de waterdiepte en afneemt bij toe-

nemen van de stroomsnelheid. Voor andere geometrieën zoals stroming achter een drempel of bij drie-dimensionale stromingseffecten, is de coëfficiënt α groter.

De evenwichtsdiepte van de kuil die na lange tijd wordt bereikt, kan ruwweg geschat worden uit:

$$y_e = h (u - u_{cr}) / u_{cr} \quad (16.32)$$

waarin: y_e = evenwichtsdiepte van de kuil [m]

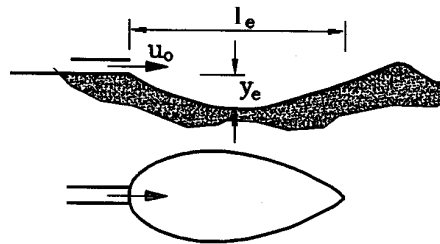
Deze evenwichtsdiepte is slechts een globale indicatie omdat geen rekening is gehouden met de turbulentie van de stroming, het loslaten van de stroming aan de rand en omdat de kritieke stroomsnelheid niet nauwkeurig is.

Uit deze formule volgt dat de stroomsnelheid ten opzichte van de kritieke snelheid de uiteindelijke kuil diepte bepaalt. Bij een grote stroomsnelheid die een aantal malen groter dan de kritieke snelheid is (bijv. van een factor 4), blijkt de formule onrealistisch grote waarden op te leveren.

De aanzethelling β van de kuil (hoek van kuilrand met de horizontaal) is vrijwel constant in de tijd en hangt af van de ruwheid en lengte van de bodembescherming voor de kuil. Bij een grotere ruwheid en een kleinere lengte van de bodembescherming neemt door de lagere snelheden boven de bodem de helling wat af. De aanzethelling β voor loskorrelig materiaal is:

voorland als gladde bodembescherming: $\beta = 1 : 2,5$ tot $1 : 3,5$ (22° tot 16°)
 voorland als ruwe bodembescherming: $\beta = 1 : 3,5$ tot $1 : 5$ (16° en 12°).

Kuil achter een ronde straal



Figuur 16.19 Kuil achter een ronde straal

Achter een ronde straal vlak boven een onbeschermd bodem treedt een kuil op met een bepaalde breedte, lengte en diepte (fig. 16.19). (Opm. Dit is een drie-dimensionale stromingssituatie.) Bij een zandbodembodem wordt het zand uit de kuil opzij en naar achteren gestuurd. Een formule voor de maximum-kuildiepte in de evenwichtssituatie (dus na lange tijd) staat in Lit. [16.3] en betreft de erosie achter een ronde rioolopening:

$$y_e = 0,65 (u_o / u_{*c})^{1/3} D_o \quad (16.33)$$

waarin: y_e = maximum-kuildiepte (evenwichtssituatie) [m]
 u_o = straalsnelheid [m/s]
 u_{*c} = kritieke schuifspanningssnelheid [m/s]
 $= \sqrt{(\psi_c g \Delta D_n)}$
 ψ_c = Shields-coëfficiënt [-]
 $= 0,032$
 D_o = straaldiameter [m]
 D_n = nominale korrel- of steendiameter [m]

De kuildiepte neemt toe met het toenemen van de stroomsnelheid en/of de straaldiameter en met het afnemen van de korreldiameter. De lengte van de kuil in de evenwichtssituatie is 8 tot 10 keer de kuildiepte:

$$l_e = y_e \cdot (8 \text{ à } 10) \quad (16.34)$$

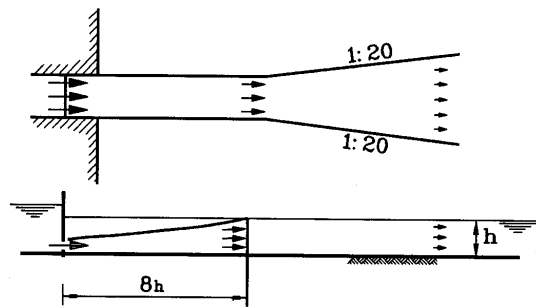
waarin: l_e = kuillengte [m]

De breedte van de kuil is ongeveer de helft van de lengte. De evenwichtssituatie van de kuil achter een ronde straal wordt sneller bereikt dan bij een kuil in uniforme stroming. De aanzethelling van de kuil is steiler dan bij de kuil in uniforme stroming en veelal steiler dan de hoek van het natuurlijk talud (hoek van inwendige wrijving grond).

16.6.4 Lengte bestorting voor ledigings- en retourstromingen

Uitgangspunt bij de lengte van de bodembescherming is dat achter de rand van de bodembescherming de kuil zo diep mag zijn dat bij afschuiving (of verweking) van de grond het sluishoofd hierdoor niet ondermijnd wordt. Voor de kuil wordt rekening gehouden met de evenwichtssituatie omdat de levensduur van een sluis lang is en gedurende deze tijd ook vele malen geledigd en door schepen gepasseerd wordt.

Straalspreiding



Figuur 16.20 Straalspreiding

De stroming ten gevolge van het ledigen van de sluis is meestal op een afstand van 8 keer de waterdiepte vanaf de benedendeuren gelijkmatig gespreid over een dwarsprofiel gelijk aan sluisbreedte maal waterdiepte (fig. 16.20). Dit geldt ook voor de retourstroming aan de voorhavenszijde van de boven- en benedendeuren.

Hierachter vindt verdere spreiding in de breedte plaats onder hoeken van 1:20 aan weerszijden van een open stromingsituatie (in totaal dus 1:10) of onder een hoek van 1:20 aan een zijde als de stroming aan de andere zijde van een wand gaat aanliggen.

De stroomsnelheid aan het einde van de bodembescherming ($x = L_b$) kan vanaf een afstand $x = 8 h$ geschat worden uit de volgende vergelijking (aan weerszijden spreiding in de breedte onder 1:20):

$$u = Q_{\max} / (h (b_k + 0,1 (L_b - 8 h))) \quad (16.35)$$

met $L_b > 8h$

waarin: u	= stroomsnelheid aan einde bodembescherming	[m/s]
$Q_{\max}$	= maximum-ledigings- of retourstroomdebiet	[m ³ /s]
L_b	= lengte bodembescherming vanaf sluisdeuren	[m]
h	= waterdiepte	[m]
b_k	= breedte kolk	[m]

Lengte bodembescherming:

Blijkt de stroomsnelheid u aan het einde van de bodembescherming lager te zijn dan de kritieke snelheid u_{cr} (formule (16.30)) van het losse bodemmateriaal, dan wordt de lengte op de stortsteen gesteld op de praktische maat van $L_b = 8 h$. Ontgronding achter de bodemverdediging vindt niet langer plaats als gevolg van het ledigingsdebiet en de retourstroming.

Als de stroomsnelheid evenwel hoger is dan u_{cr} , is de afleiding van de benodigde lengte van de bodembescherming ingewikkelder. Er worden drie vergelijkingen gebruikt:

- (16.29a): relatie tussen de lengte L_b van de bodemverdediging en de kuildiepte y_e
- (16.32): relatie tussen de kuildiepte y_e en de stroomsnelheid u
- (16.35): relatie tussen de stroomsnelheid u en de lengte van de bodembescherming L_b

Deze drie vergelijkingen hebben drie onbekenden, te weten u , L_b en y_e . Hieruit is een vierkantsvergelijking in y_e af te leiden:

$$t y_e^2 + (20 b_k + t h - 16 h) y_e + (20 b_k h - 16 h^2 - 20 Q_{\max} / u_{cr}) = 0 \quad (16.36)$$

waarin: $t = (\cotg \gamma - \cotg \beta)$

u_{cr} = kritieke snelheid volgens formule (16.30)

Oplossen van vergelijking (16.36) geeft de evenwichtsdiepte y_e van de kuil. Substitutie van y_e in (16.29a) levert de benodigde lengte van de bodembescherming L_b onder de voorwaarde dat $L_b > 8 h$.

16.6.5 Lengte bestorting voor schroefstraal

Lengte uit theorie van erosie achter ronde straal

Wanneer een vrijwel stilliggend schip aan de rand van de bodembescherming voor het manoeuvreren gedurende langere tijd veel schroefvermogen gebruikt, kan een duidelijke kuil ontstaan. Als veel schepen dit op dezelfde plaats doen, wordt de kuil steeds dieper. Gezien de levensduur van de sluis, de frequente belasting van de bodem door schroefstralen, het snel bereiken van de evenwichtsdiepte en het ontbreken van voorschriften voor het schroefgebruik moet er rekening mee gehouden worden dat de maximumkuildiepte kan optreden.

Voor het schatten van de maximumkuildiepte wordt formule (16.33) gebruikt die eigenlijk is opgesteld voor een ronde straal vlak boven de bodem. De straaldiameter D_o komt overeen met de effectieve schroefdiameter volgens formule (16.6). De straalsnelheid is de uittreesnelheid van de schroef u_p volgens formule (16.7). De maximumkuildiepte van formule (16.33) wordt verminderd met de afstand van schroefas tot ongestoorde bodem. Geen rekening wordt gehouden met het effect van meerdere schroefstralen naast elkaar hoewel hierdoor de maximumkuildiepte iets kan toenemen.

$$y_e = 0,65 (u_p / u^*)^{1/3} D_o - d_p \quad (16.37)$$

waarin: y_e = maximumdiepte kuil

[m]

u_p = straalsnelheid

[m/s]

u^* = kritieke schuifspanningssnelheid

[m/s]

$= \sqrt{(\psi_c g \Delta D_n)}$

d_p = verticale afstand schroefas tot ongestoorde bodem

[m]

De aanzethelling β van de kuil wordt geschat op $\beta = 1/5$ tot $1/3$ (23° tot 30°).

Met een van de formules (16.29a, b, c) kan de lengte van de bodembescherming worden afgeleid.

Lengte stortsteen uit theorie van straaIspreiding

Een andere benadering van de maximumlengte en diepte van de kuil is om door middel van de spreiding van de schroefstraal na te gaan op welke plaatsen geen bodemerosie meer mogelijk is. Dit is waar de stroomsnelheid aan de bodem gelijk is aan de kritieke stroomsnelheid.

In langsrichting is een plaats aan te wijzen waar net geen erosie optreedt. De stroomsnelheid u_{bp} boven de (ongestoorde) bodem volgens formule (16.9a) wordt gelijkgesteld aan de kritieke stroomsnelheid u_{cr} volgens formule (16.30). De horizontale afstand x_{bp} wordt vervangen door de maximum-kuillengte l_e . Dit levert als maximum-kuillengte:

$$l_e = 1,68 u_p \sqrt{n D_o} / u_{cr} \quad (16.38)$$

waarin: l_e	= maximumlengte kuil	[m]
u_p	= stroomsnelheid achter schroef, formule (16.7)	[m/s]
u_{cr}	= kritieke stroomsnelheid, formule (16.30)	[m/s]
D_o	= effectieve schroefdiameter	[m]
n	= aantal schroeven	[-]

Ook in verticale zin is een plaats aan te wijzen waar bij kunstmatige bodemverlaging net geen erosie meer optreedt. De stroomsnelheid u_{bp} boven de (verlaagde) bodem volgens formule (16.9b) wordt gelijkgesteld aan de kritieke stroomsnelheid u_{cr} volgens formule (16.30). Het (ongestoorde) bodemniveau z_b wordt vervangen door het verlaagde bodemniveau $(z_b - y_e)$ met y_e als maximum-kuildiepte. Dit levert de volgende maximum-kuildiepte:

$$y_e = 0,30 u_p \sqrt{n D_o} / u_{cr} - d_p \quad (16.39)$$

waarin: y_e	= maximumdiepte kuil	[m]
d_p	= verticale afstand schroefas tot ongestoorde bodem	[m]

De aanzethelling β van de kuil is bij benadering:

$$\beta = 3 y_e / l_e \quad (16.40)$$

Met gebruik van een van de formules (16.29a, b, c) kan de lengte van de bodembescherming afgeleid worden.

16.6.6 Toe te passen lengte bestorting

Bij de huidige sluizen strekt de bodembescherming zich meestal uit tot een afstand van 8 tot 20 keer de waterdiepte vanaf beide sluishoofden de voorhaven in. Voor de strookbreedte langs remming- en geleidewerken wordt veelal 1 tot 1,5 keer de scheepsbreedte toegepast.

In par. 16.6.4 wordt de benodigde lengte van de bodembescherming afgeleid als effect van de ledigings- en retourstroming. Evenzo is dit in par. 16.6.5 op twee manieren voor het effect van de schroefstraal bepaald. Aanbevolen wordt om als werkelijke lengte van de bodembescherming het maximum van deze drie aan te houden tenzij dit veel meer is dan tot nu toe gebruikelijk. In dit laatste geval is nader onderzoek nodig.

16.6.7 Voorbeeld

Als algemene gegevens geldt dat het basismateriaal een $D_n = 0,00035$ m (0.35 mm) en $\Delta = 1,65$ heeft. Het niveau van de waterspiegel is gesteld op NAP 0,00 m en de bodem op NAP -4,50 m met als waterdiepte $h = 4,5$ m. De kritieke stroomsnelheid is na substitutie hiervan in formule (16.30) gelijk aan $u_{cr} = 0,51$ m/s.

A Lengte bodembescherming vanaf sluishoofd tot rand

Voor het sluishoofd wordt gerekend op mogelijke verweking van de ondergrond met een eindhelling $\gamma = 3,5^\circ$. Het debiet door de ledigingsstroming is groter dan dat van de retourstroming.

1 Ledigingsstroming

Gegevens:

Maximum-debiet:	$Q_{\max} = 50 \text{ m}^3/\text{s}$
Breedte sluiskolk:	$b_k = 14 \text{ m}$
Aanzethelling:	$\beta = 17^\circ$

Berekening:

Evenwichtskuildiepte, formule (16.36):	$y_e = 3,30 \text{ m}$
Lengte bescherming, formule (16.19a):	$L_b = 22 \text{ m}$
Lengte bescherming tenminste 8 h:	$L_b = 36 \text{ m}$

2 Stroming als gevolg van schroefstraal (boegschroef wordt niet maatgevend geacht voor bodem):

Gegevens:

Schroefdiameter:	$D_p = 1,80 \text{ m}$
Schroefvermogen:	$P_d = 700 \text{ kW}$ (per schroef, 100% vermogen)
Aantal schroeven:	$n = 2$
Afstand schroefas tot ongestoorde bodem	$d_p = 1,70 \text{ m}$

Berekening:

– Schroefstraal

Schroefstraaldiameter, formule (16.6):	$D_o = 1,53 \text{ m}$
Straalsnelheid, formule (16.7):	$u_p = 7,7 \text{ m/s}$

– Lengte uit theorie erosie achter ronde straal

Diepte kuil, formule (16.37):	$y_e = 6,5 \text{ m}$
Aanzethelling:	$\beta = 23^\circ$
Lengte bescherming, formule (16.29a):	$L_b = 45 \text{ m}$

– Lengte uit theorie straalspreading

Lengte kuil, formule (16.38):	$l_e = 55 \text{ m}$
Diepte kuil, formule (16.39):	$y_e = 8,1 \text{ m}$
Aanzethelling, formule (16.40):	$\beta = 24^\circ$
Lengte bescherming, formule (16.29a):	$L_b = 57 \text{ m}$

Conclusie: Schroefstraal maatgevend, lengte bodembescherming vanaf sluishoofd $L_b = 57 \text{ m}$.

B Strookbreedte bodembescherming langs remmingwerk

Voor het remmingwerk wordt gerekend op afschuiving kuilrand met eindhelling $\gamma = 8,5^\circ$. Toegestane bodemverdieping bij remmingwerk is $d_e = 1 \text{ m}$. Alleen met het schroefstraaleffect wordt gerekend.

Gegevens:

Zie hierboven voor schroefstraal

Berekening:

Zie hierboven voor schroefstraal, met uitzondering van de formule (16.29a):

– Lengte uit theorie erosie achter ronde straal

Lengte bescherming, formule (16.29b):	$L_b = 11,9 \text{ m}$
---------------------------------------	------------------------

– Lengte uit theorie straalspreading

Lengte bescherming, formule (16.29b):	$L_b = 15,8 \text{ m}$
---------------------------------------	------------------------

Conclusie: Strookbreedte bodembescherming langs remming- en geleidewerken is minimaal $L_b = 15,8 \text{ m}$.

16.7 Verticale opbouw bestorting

16.7.1 Algemeen

De opbouw van een bodembescherming komt tot stand door op het oorspronkelijke bodemmateriaal één of meer filterlagen aan te brengen met opeenvolgende grofheid en daarop de top laag van stortsteen. In het verleden maar ook nu nog worden filters ontworpen die volledig zijn opgebouwd met granulaair, dus loskorrelig materiaal. Tegenwoordig worden vaak ook één of meer filterlagen vervangen door een geotextiel.

Filterlagen bij bodembeschermingen hebben als functie het voorkomen van erosie (filterfunctie) van de bodem, zijnde het basismateriaal. Bij erosie worden de korrels uit ondergelegen lagen steeds verder omhoog gebracht zodat deze gemakkelijk wegspoelen. Het vervullen van de filterfunctie stelt, afhankelijk van de grootte van de belasting, eisen aan de korrelafmetingen bij granulaire filters of de karakteristieke openingsgrootte bij geotextielen.

Essentieel is verder dat geen opbouw van overmatige wateroverdrukken plaatsvindt. Daartoe heeft het filter ook een drainerende functie. Hiervoor moeten de filterlagen of het geotextiel voldoende waterdoorlatend zijn.

Het voorkomen van erosie van het basismateriaal kan bereikt worden door te zorgen dat verticaal of horizontaal transport van materiaal binnen een laag of van een ondergelegen naar een hoger gelegen laag geometrisch gezien - ongeacht de belasting - onmogelijk is vanwege de korrelafmetingen. Dit worden geometrisch-dichte filters genoemd.

Er bestaan ook stabiele geometrisch-open filters. Deze korrels zouden geometrisch gezien wel verticaal kunnen verplaatsen maar doen dit niet omdat de lokale hydraulische belasting te klein is. Hiermee zou bijvoorbeeld een filterlaag uitgespaard kunnen worden of een ander geotextiel toegepast kunnen worden. Stabiele geometrisch-open filters zijn veilig maar vereisen extra berekeningen of onderzoek om de lokale stromingssituatie goed te beschrijven.

Bij bodembeschermingen van sluizen worden in de regel één, twee of hooguit drie filterlagen of een geotextiel met een filterlaag toegepast en hier bovenop de top laag. Er wordt gekozen de filters geometrisch-dicht uit te voeren vanwege de onzekerheid van de hydraulische belasting van de korrels zoals bij een overtrekkende schroefstraal.

De besproken informatie is afkomstig van een aantal handboeken, te weten Lit. [16.17] (Filters in de waterbouw) en Lit. [16.16] (Geotextielen in de waterbouw). In Lit. [16.15] (Uitvoering bodemverdediging) wordt uitgebreid het aanbrengen met verdere praktische zaken van bestortingen beschreven. In deze paragraaf wordt hierop niet verder ingegaan.

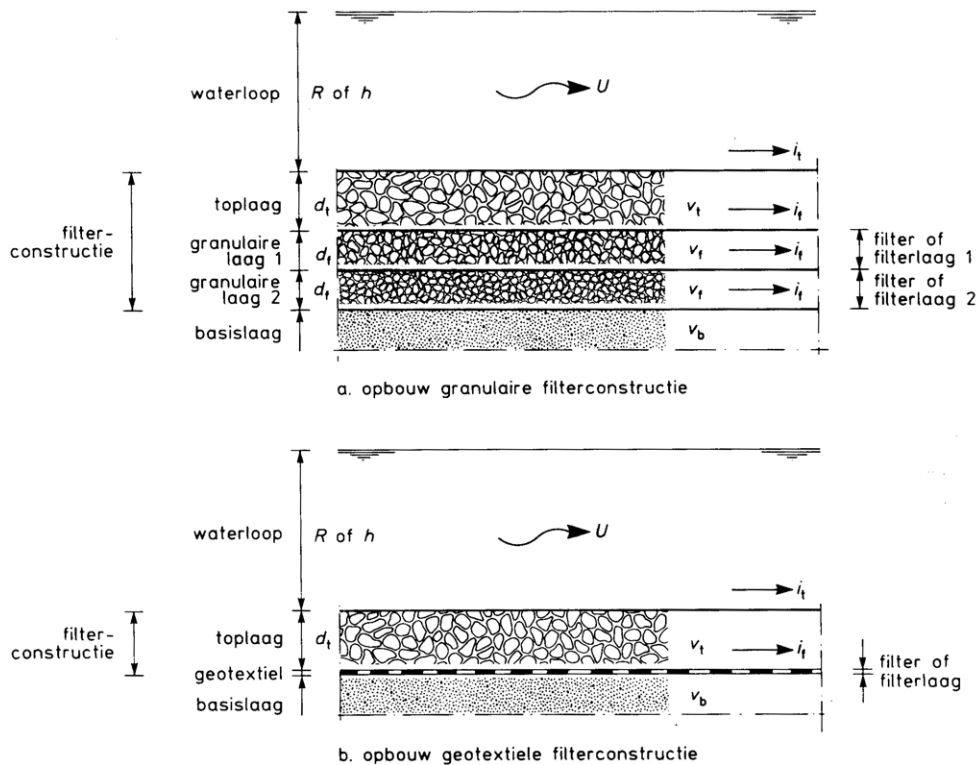
16.7.2 Notaties en materialen

Notaties

De laagdikte van het granulaire materiaal wordt aangegeven met de letter d . De oorspronkelijke bodem die beschermd wordt is de basislaag. De filterlagen hebben van boven af de index f_1 , f_2 etc. met als laagdikten d_{f_1} , d_{f_2} etc. De top laag heeft de index t met als laagdikte d_t .

De korrel- of steendiameters worden aangegeven met de letter D . D_{85} is de korrel- of steendiameter behorend bij een zeefopening waarbij 85% van de korrel- of steenmassa door de zeef valt. Voor D_{50} is dit 50% en voor D_{15} is dit 15%. D_n is de nominale diameter, zijnde de diameter van D_{50} als ronde bol.

Voor het geotextiel is O_{90} een karakteristieke openingsgrootte die door 90% van de openingen wordt onderschreden.



Figuur 16.21 Opbouw granulaire en geotextiele filterconstructie (naar Lit. [16.16])

Materialen

In Appendix 16.1 is een overzicht gegeven van de standaard-sorteringen van breuksteen, grind en steenslag met waarden voor de D_{85} , D_{50} , D_{15} , D_n en D_{85}/D_{15} . De fijne sorteringen worden uitgedrukt in zeefmaten (mm), de lichte en zware sorteringen in massa's (kg). Bij breuksteen zijn soorten met een relatief hoge soortelijke massa (basalt-achtigen: 2800-3000 kg/m³) en een relatief lage soortelijke massa (kalksteen, graniet: 2600-2700 kg/m³).

Steenachtige materialen zoals mijnsteen, fosforslak en staalslak komen ook bij bestortingen voor hoewel hiertegen milieutechnische bezwaren kunnen bestaan.

Voor geotextielen worden zowel weefsels als vliezen gebruikt. Bij toepassing van geotextielen moet de levensduur van de geotextielen in beschouwing genomen worden.

Van het basismateriaal zelf (de bodem) moet vooraf een korrelverdelingsdiagram beschikbaar zijn.

16.7.3 Samenstelling filterlagen

Eisen aan granulaire filters

Aan geometrisch-dichte, granulaire filters worden de volgende eisen gesteld:

- Grensvlakstabiliteit
De fijnste deeltjes van een laag mogen niet naar de erboven liggende laag gezogen worden. Voor geometrisch-dichte filters wordt dit vertaald in de eisen:

$$(D_{15} \text{ bovenlaag} / D_{85} \text{ onderlaag}) \leq 4 \text{ à } 5 \text{ of}$$

$$(D_{50} \text{ bovenlaag} / D_{50} \text{ onderlaag}) \leq 6 \text{ à } 10$$

- **Interne stabiliteit**
Een laag moet intern stabiel zijn zodat geen fijne fracties de neiging vertonen te gaan migreren (uitspoelen). Per laag zijn dan de eisen:

$$\begin{aligned} D_{10} &< 4 D_5 \\ D_{20} &< 4 D_{10} \\ D_{30} &< 4 D_{15} \\ D_{40} &< 4 D_{20} \end{aligned}$$

Of algemeen voor alle belangrijke fracties x:

$$D_x < 4 D_{x/2}$$

- **Waterdoorlatendheid**
De doorlatendheid van (opeenvolgend) bovenliggende lagen moet zodanig toenemen dat een snelle uitstroming kan plaatsvinden zonder dat lokaal verhangconcentraties kunnen optreden. Dit geeft als eisen:

$$(D_{15} \text{ bovenlaag} / D_{15} \text{ onderlaag}) > 4 \text{ à } 5$$

Zeeffrommes van opeenvolgende lagen lopen ongeveer evenwijdig (behalve de toplaag)

Eisen aan filters van geotextiel

Aan een geometrisch-dicht, geotextiel filter worden de volgende eisen gesteld:

- **Grensvlakstabiliteit**
Voor een geometrisch-dicht filter is de eis:
 $(O_{90} \text{ geotextiel} / D_{90} \text{ basismateriaal}) \leq 2$ (voor stationaire belasting)
 $(O_{90} \text{ geotextiel} / D_{90} \text{ basismateriaal}) \leq 1$ (voor dynamische belasting)
- **Waterdoorlatendheid**
De doorlatendheid van het geotextiel moet zo groot zijn dat geen lokale verhangconcentraties kunnen optreden. Dit geeft als eis:

$$k_n \text{ geotextiel} > 50 \cdot k_b \text{ basismateriaal}$$

Hierin is k_n de doorlatendheidscoëfficiënt van het geotextiel voor stroming loodrecht op het geotextiel en k_b voor het basismateriaal.

(Opm. In Nederland wordt als absoluut minimum ook wel $10 \cdot k_b$ gehanteerd.)

16.7.4 Laagdikten

Bij een schutsluis zal de gehele of het grootste deel van de bodembescherming in den natte en in stroomloze toestand aangebracht worden.

Elke granulaire laag moet voldoende dik zijn om oneffenheden op te vangen. Bij zorgvuldige uitvoering wordt rekening gehouden met de volgende waarden van minimale laagdikte $d_{\min}$ en tolerantie σ :

materiaal	$d_{\min}$	σ
fijne gradering	$\geq 0,25 \text{ à } 0,40 \text{ m}$	$0,10 \text{ à } 0,20 \text{ m}$
lichte en zware sortering	$\geq 1,5 \text{ à } 2 D_{50} \text{ en } > 0,25 \text{ m}$	$0,25 \text{ à } 0,50 D_{50}$

Bij uitvoering met zijlossers e.d. dienen (ten minste) de hoogste waarden aangehouden te worden. Bij uitvoering met een kraan met afvlakking kan volstaan worden met de laagste waarden. De uiteindelijke laagdikte is minimaal $d_{\min}$, gemiddeld $d_{\min} + \sigma$ en maximaal $d_{\min} + 2\sigma$.



Foto 16.4 Aanbrengen bodembescherming in den natte in de kolk van de Nieuwe Oranjesluis



Foto 16.5 Aanbrengen oeverbescherming in den natte bij het sluiscomplex van Lith

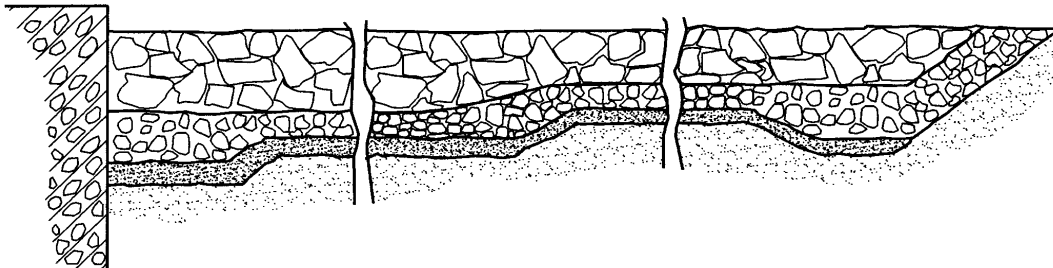
Bij een geotextiel is het gebruikelijk dat zinkstukken gemaakt worden met een roosterwerk van rijshoutwiepen. Het zinkstuk wordt op de bestemde plaats afgezonken door het aanbrengen van de hiervoor bestemde filterlaag. Deze laag op het geotextiel mag hooguit van steensortering 10 - 60 kg zijn om te voorkomen dat het doek scheurt. Indien een rietmat aanwezig is, de storthoogte beperkt is en het storten gecontroleerd plaatsvindt, mag dit ook met een steensortering van 40 - 200 kg. In plaats van een zinkstuk kan het geotextiel ook op de bodem worden uitgerold door een schip met assistentie van duikers.

De baggertolerantie voor de bodem is bijvoorbeeld +/- 0,25 m ten opzichte van het streefniveau.

Voor de totale constructiehoogte wordt gerekend met de som van de gemiddelde laagdikten vermeerderd met de wortel uit de som van de gekwadrateerde toleranties. De bovenkant van de toplaag bevindt zich bij voorkeur 0,50 m onder de drempel van de schutsluis.

16.7.5 Overgangen

Veel zorg moet besteed worden aan de aansluiting tegen de wand, de overgang van de ene toplaag naar een andere toplaag en de beëindiging van de bodembescherming. Bij granulaire filters worden de filterlagen meestal plaatselijk dikker gemaakt (fig. 16.22).



Figuur 16.22 Overgangen bodembescherming

Bij gebruik van geotextiel moet de aansluiting tegen de wand zorgvuldig geschieden waarbij het doek tegen de wand aan moet liggen. Indien dit niet mogelijk is zoals bij het werken in den natte, moet langs de wand worden overgegaan op een volledig granulair filter in een strook van enkele meters. Tegenwoordig wordt vaak een penetratie toegepast met colloïdaal-beton of asfaltmastiek over een strook van ongeveer 0,5 m langs de harde constructie.

16.7.6 Voorbeeld

In het voorbeeld is voor de toplaag een nominale steendiameter van $D_n = 0,39$ m nodig terwijl het basismateriaal een nominale korreldiameter $D_n = 0,00035$ m (= 0,35 mm) heeft.

Uitgegaan wordt van een geometrisch-dicht filter. Dit geeft als eisen voor de grensvlakstabiliteit (par. 16.7.3) met $(D_{15} \text{ bovenlaag} / D_{85} \text{ onderlaag}) \leq 5$ en $(D_{50} \text{ bovenlaag} / D_{50} \text{ onderlaag}) \leq 6 \text{ à } 10$. In Appendix 16.1 staan de standaard-steensorteringen. De toplaag wordt gekozen met de sortering 60-300 kg met $D_n = 0,38/0,43$ m. De sprong van toplaag naar basismateriaal vereist bij een volledig granulair filter 3 filterlagen en bij een geotextiel één filterlaag.

Volledig granulair:

	Soort	Sortering	Nom. diameter D_n	Laagdikte d
Toplaag	breuksteen	60 / 300 kg	0,38 / 0,43 m	0,70 m
1e filterlaag	breuksteen	40 / 100 mm	0,053 / 0,075 m	0,25 m
2e filterlaag	grind	4/32 mm	0,0055 / 0,016 m	0,25 m
3e filterlaag	grof zand		0,0018 m	0,15 m
Basismateriaal	zand		0,00035 m	

Filter met geotextiel:

	Soort	Sortering	Nom. diameter D_n	Laagdikte d
Toplaag	breuksteen	60 / 300 kg	0,38 / 0,43 m	0,70 m
Filterlaag	breuksteen	40 / 100 mm	0,053 / 0,075 m	0,25 m
Geotextiel			$O_{90} > 2 D_{90} \text{ basis}$	
Basismateriaal	zand		0,00035 m	

16.8 Alternatieven voor stortsteen

16.8.1 Gezette steen

De klassieke constructie van stortebedden bestaat uit zetwerk van basalt op puin of grind, rustend op een vlijlaag van puin, gelegd op een kleilaag. Het geheel is afgezet met een rij perkoenpalen of met een betonnen rand die voor de verdeling van de waterstroom boven het stortebed zou kunnen uitsteken.

Het is een open bekleding op een gesloten onderlaag. Door de onderlinge samenhang van de blokken (klemming en interlock) en het vrij gladde oppervlak heeft de stroming nauwelijks vat op de bekleding, waardoor deze tegen hoge stroomsnelheden bestand is. Schade kan ontstaan wanneer drukfluctuaties van de stroming aan de bovenzijde te groot worden. Hierbij wrikt een steen die niet goed klem zit zich langzaam los en wordt door de stroming eruit gelicht. Het onderlinge verband gaat hierdoor achteruit.

De bezwaren tegen deze constructie zijn de noodzaak haar in den droge aan te brengen, het arbeidsintensieve proces van vervaardigen, de kans dat zij door wateroverdrukken zal worden opgelicht en het moeilijk repareren. Dit weerhoudt tegenwoordige toepassing.

Bij renovatie van oude sluizen heeft men vaak met zetsteen te maken. Is de zetsteen nog geheel intact en blijft deze gehandhaafd dan moeten maatregelen genomen worden om beschadiging door de renovatiewerkzaamheden te voorkomen.

16.8.2 Penetratie

Onder penetratie worden constructies verstaan die bestaan uit met colloïdaal beton of asfalt gepeneetreerd granulaair materiaal. De stabiliteits- en zanddichtheidsfunctie zijn hierbij geïntegreerd. De stroombestendigheid wordt vergroot door de onderlinge samenhang van de stenen. Afhankelijk van de mate van vulling ontstaat een waterdoorlatende dan wel een waterdichte constructie.

Voordelen zijn een grotere mate van stabiliteit tegen de overtrekkende stroming dan bij losse stortsteen en de eenvoudige aansluiting tegen harde constructies. Nadelen zijn de meestal grotere constructiehoogte (optredende overdrukken worden afhankelijk van de waterdoorlatendheid deels of geheel door het eigen gewicht gecompenseerd), de moeilijkheid van het goed verdeeld onder water aanbrengen en de schade bij eventuele zettingen van de ondergrond doordat de constructie star is.

Zoals eerder vermeld wordt penetratie vooral toegepast als smalle strook bij de aansluiting tegen dam- en betonwanden vanwege de zanddichtheid door het ontbreken van een geotextiel.

16.8.3 Blokkenmatten, gabions, matrassen

Blokkenmatten bestaan uit een geotextiel (zanddichtheidsfunctie) waarop betonblokken zijn bevestigd (stabiliteitsfunctie). De stabiliteit van de blokkenmat hangt primair af van de grootte en dikte van de (beton)blokken en de verbinding tussen de stenen. De verbinding kan vergroot worden door de blokken onderling te koppelen met staaldraden of door de ruimte tussen de blokken op te vullen met grind.

Gabions zijn korven van gaas, gevuld met een granulaair materiaal. Niet het individuele gewicht van de steen maar het gewicht per m² van de korf is bepalend voor de stabiliteit van de constructie, zodat volstaan kan worden met een relatief lichte sortering als vulmateriaal.

Matrassen kunnen beschouwd worden als relatief lange dunne gabions van grote lengte die zowel aan de onderzijde als de bovenzijde voorzien zijn van een geotextiel. In de matras zijn de stabiliteits- en zanddichtheidsfunctie geïntegreerd, zodat de matras als zelfstandig constructie-element kan dienen.

Het voordeel van deze typen is de grote stroombestendigheid. Nadelen betreffen de geringe flexibiliteit bij zettingen van de ondergrond, het nauwelijks kunnen uitvoeren van reparaties, snelle beschadigingen door ankers en de kwetsbaarheid van de aansluitingen tegen harde constructies en onderling. Genoemde nadelen staan toepassing bij schutsluizen meestal in de weg.

Literatuur:

- [16.1] Ariëns, E., Franken, A., Klatter, L., 'Handleiding voor het ontwerpen van granulaire bodemverdedigingen achter twee-dimensionale uitstroomconstructies', Bouwdienst Rijkswaterstaat, 1995
- [16.2] Blaauw, H.G., van de Kaa, E.J., 'Erosion of Bottom and Sloping Banks Caused by Screw Race of Manoeuvring Ships', Waterloopkundig Laboratorium, Delft, 1978
- [16.3] Breusers, H.N.C., Raudkivi, A.J., 'Scouring', IAHR-manual, uitg. Balkema, Rotterdam, 1991
- [16.4] Izbash, Khaldre, 'Hydraulics of river channel closure', Berlin
- [16.5] Kolkman, P.A., 'Notities van P.A. Kolkman', Waterloopkundig Laboratorium, Delft, 1992
- [16.6] de Jonge, J.J., Vrijburcht, A., 'Rekenprogramma LOCKFILL', Waterloopkundig Laboratorium, Q1537, Delft, 1994
- [16.7] Kleef, van E.A., Fokkema, G., Vrijburcht, A., 'Rekenprogramma WAROS', Waterloopkundig Laboratorium, Q99, Delft, 1991
- [16.8] Meyer, D.G., Verhey, H.J., 'Stroomsnelheden bij de oever veroorzaakt door boegschroeven', Q1657, Waterloopkundig Laboratorium, Delft, 1993
- [16.9] Pilarczyk, K.W., 'Coastal Protection', Balkema (Rotterdam, Brookfield), 1990
- [16.10] Rajaratnam, N., 'Turbulent Jets', Elsevier (Amsterdam, Oxford, New York), 1976
- [16.11] Shields, A., 'Anwendung der fhnlichkeits-Mechanik und Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung', Berlin, 1936
- [16.12] Verhey, H.J., 'The Stability of Bottom and Banks Subjected to Velocities in the Propellor Jet behind Ships', Waterloopkundig Laboratorium, Delft, 1983
- [16.13] Vrijer, A., 'Vul- en ledigingssysteem en bodembescherming, duwvaartsluizen te Hansweert', M1684, Waterloopkundig Laboratorium, Delft, 1981
- [16.14] Vrijburcht, A., 'Krachten op puntdeuren en enkele draaideuren', Waterloopkundig Laboratorium, Q1442, Delft, 1994
- [16.15] 'Handboek uitvoering bodemverdedigingsconstructies van losgestorte granulaire materialen', Bouwdienst Rijkswaterstaat, juni 1991
- [16.16] CUR en NGO, 'Geotextielen in de waterbouw', CUR-rapport no. 174, januari 1995
- [16.17] CUR, 'Filters in de waterbouw', CUR-rapport no. 161, juni 1993
- [16.18] CUR, 'Manual on the use of Rock in Hydraulic Engineering', CUR-rapport no. 169
- [16.19] DIPRO 3.02N, 'Ontwerpprogramma voor oeververdedigingen in vaarwegen', Gebruikershandleiding, Waterloopkundig Laboratorium, december 1997

Appendix 16.1: **Standaard steensorteringen**

Karakteristieke korreldiameter standaardsorteringen breuksteen:

Sortering	D ₅₀ [m]	M ₅₀ [kg]	D _n [m]	D ₈₅ [m]	D ₁₅ [m]	D ₈₅ /D ₁₅ (gem.)
30/80 mm	0,045 - 0,065	0,15 - 0,45	0,038 - 0,055	0,085 - 0,064	0,048 - 0,024	2,22
40/100 mm	0,063 - 0,090	0,4 - 1,2	0,053 - 0,075	0,118 - 0,086	0,067 - 0,038	2,01
50/150 mm	0,090 - 0,125	1,2 - 3,1	0,075 - 0,110	0,173 - 0,125	0,096 - 0,054	2,06
80/200 mm	0,125 - 0,180	3,1 - 9,3	0,11 - 0,15	0,226 - 0,169	0,136 - 0,075	1,96
5 - 40 kg	0,20 - 0,25	13 - 26	0,17 - 0,21	0,33 - 0,28	0,20 - 0,16	1,70
10 - 60 kg	0,25 - 0,31	26 - 46	0,21 - 0,26	0,36 - 0,32	0,25 - 0,20	1,52
40 - 200 kg	0,38 - 0,44	90 - 140	0,32 - 0,37	0,54 - 0,48	0,37 - 0,31	1,50
60 - 300 kg	0,45 - 0,52	150 - 220	0,38 - 0,43	0,61 - 0,55	0,43 - 0,36	1,47
300 - 1000 kg	0,72 - 0,78	595 - 760	0,60 - 0,66	0,92 - 0,83	0,66 - 0,60	1,39
1000 - 3000 kg	1,04 - 1,11	1800 - 2200	0,87 - 0,93	1,31 - 1,20	0,97 - 0,88	1,36
3000 - 6000 kg	1,40 - 1,47	4400 - 5050	1,18 - 1,23	1,64 - 1,51	1,32 - 1,26	1,22
6000 - 10000 kg	1,70 - 1,77	7850 - 8900	1,43 - 1,49	1,95 - 1,80	1,63 - 1,57	1,17

Overzicht handelssorteringen grind, steenslag en LD-fosforslakken, incl. karakteristieke korreldiameters:

Materiaalsoort	Karakteristieke korreldiameter in mm			
	D ₁₅	D ₅₀	D _n	D ₈₅
Grind				
2/6 mm	2,1 - 2,5	3,5 - 3,9	2,9 - 3,3	4,9 - 5,2
4/11 mm	4,3 - 5,1	7,2 - 7,8	6,1 - 6,6	10,0 - 10,5
4/16 mm	4,0 - 5,6	6,0 - 9,8	5,0 - 8,2	10,5 - 15,4
4/32 mm	4,3 - 8,2	6,6 - 19,0	5,5 - 16,0	14,5 - 28,3
20/40 mm	17,5 - 25,0	22,5 - 31,5	18,9 - 26,5	29,0 - 31,5
Steenslag				
2/6 mm	1,6 - 2,4	2,5 - 3,7	2,1 - 3,1	4,0 - 5,2
2/11 mm	2,0 - 4,0	5,6 - 7,1	4,7 - 6,0	9,0 - 10,4
4/8 mm	4,3 - 5,6	5,8 - 6,7	4,9 - 5,6	7,3 - 7,7
6/22 mm	5,7 - 9,0	10,5 - 14,5	8,8 - 12,2	18,0 - 21,0
8/11 mm	7,0 - 8,5	9,2 - 9,6	7,7 - 8,3	10,5 - 10,8
8/22 mm	8,6 - 9,9	11,8 - 14,5	9,9 - 12,2	18,0 - 21,0
11/16 mm	10,0 - 12,0	13,0 - 13,8	10,9 - 11,6	15,2 - 15,6
11/32 mm	11,6 - 14,1	17,1 - 20,9	14,4 - 17,6	25,0 - 28,8
16/22 mm	14,0 - 17,0	18,4 - 19,5	15,5 - 16,4	21,1 - 21,8
20/40 mm	17,5 - 25,0	22,0 - 31,5	18,5 - 26,5	28,5 - 31,5
22/32 mm	20,0 - 23,7	25,5 - 27,0	21,4 - 22,7	29,6 - 30,4
LD-fosforslak				
40/160 mm	35,0 - 66,0	56,0 - 108,0	47,0 - 90,8	86,0 - 170,0



Foto 17.1 Bedieningsgebouw van Middensluis te IJmuiden

Hoofdstuk 17 **Inrichting van sluis en voorhavens**

17.1 Inleiding

Dit hoofdstuk moet in nauwe samenhang worden gezien met de hoofdstukken 2 ("Programma van Eisen"), 5 ("Lay-out sluiscomplex") en 15 ("Remmingwerken"). In die hoofdstukken zijn namelijk onderwerpen behandeld die met de inrichting van het sluiscomplex te maken hebben. Hoofdstuk 17 vormt daarop een aanvulling en nadere detaillering.

De mate van detaillering is echter beperkt. Omdat dit boek bedoeld is om te komen tot een goed voorontwerp, worden geen richtlijnen gegeven voor de vormgeving en afmetingen van kleine onderdelen van het sluiscomplex. Voor de beoordeling van het voorontwerp moet echter wel (letterlijk) rekening gehouden worden met de vele kleinere onderdelen en de plaats die ze moeten krijgen. Daarom wordt in dit hoofdstuk een overzicht gegeven van die onderdelen die substantieel (kunnen) ingrijpen in de afmetingen, vormgeving en/of kosten van het voorontwerp. Aan de orde komen zaken ten dienste van de verkeersregeling (par. 17.2), zaken ten dienste van invaren en vastmaken (par. 17.3), bijzondere zaken (par. 17.4, stroming, ijs, wind e.d.), bouwkundige zaken (par. 17.5) en voorzieningen op het sluis-terrein (par. 17.6).

Per onderdeel worden meestal ook enkele overwegingen opgenomen alsmede een verwijzing naar een bron voor nadere informatie. Het voorliggende hoofdstuk krijgt hierdoor het karakter van een checklist-met-toelichting.

In dit hoofdstuk is de aandacht vooral gericht op sluizen voor gewone binnenvaartschepen, waartoe ook container(binnen)schepen worden gerekend. Kruiplijn-coasters wijken op onderdelen af van echte binnenschepen maar vergen bij sluizen niet of nauwelijks speciale voorzieningen.

Zeesluizen wijken op nogal wat punten af van binnenvaartsluizen. Er worden enige specifieke eisen voor zeesluizen genoemd. Hetzelfde geldt voor sluizen voor de recreatievaart.

17.2 Zaken ten dienste van de verkeersregeling

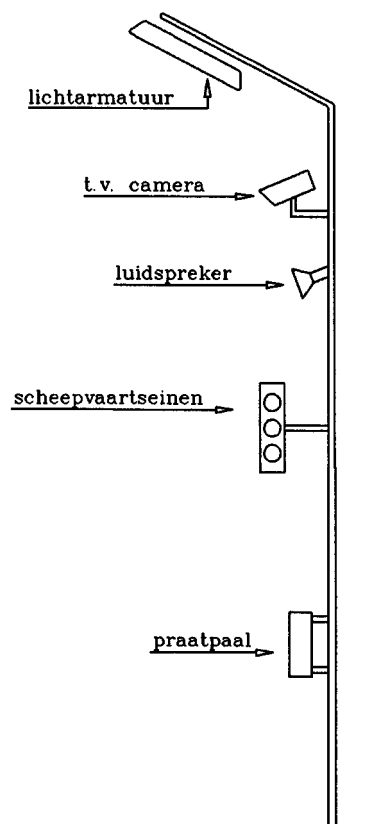
17.2.1 Inleiding

Bij verkeersregeling zijn drie fasen te onderscheiden, elk met specifieke hulpmiddelen:

- 1 voor het inwinnen van informatie (licht, camera's, marifoon, IVS etc.)
- 2 voor het verwerken van de informatie en het besturen en bedienen (sluispersoneel in bedieningsgebouw)
- 3 voor het doorgeven van de beslissingen (aanwijzingen/opdrachten) aan de schippers (visuele signalen zoals lichten en borden, verder marifoon)

De genoemde hulpmiddelen komen hieronder aan de orde.

Op en rond een sluiscomplex moeten diverse voorwerpen geplaatst worden, veelal op palen of frames. Het wordt sterk aanbevolen om die palen of frames zoveel mogelijk gecombineerd te gebruiken (fig. 17.1) waarmee wordt voorkomen dat het hele complex 'bezaaid' is met palen etc.



Figuur 17.1 Combinatie van functies voor lichtmast

Voor alle onderdelen geldt dat de situering niet strijdig mag zijn met andere gebruiks-eisen op de sluis. Bijvoorbeeld: een lichtmast mag het zichtveld van een camera niet onderbreken; hij mag ook niet in de weg staan voor het passeren van een onderhoudsauto of een ambulance.

17.2.2 Verlichting

De verlichting op het sluiscomplex dient vooral voor de algemene veiligheid, maar ook om het bedienend personeel voldoende zicht (al dan niet door middel van camera's) te geven op het scheepvaartverkeer, om dat naar behoren te kunnen regelen. Hiervoor kan een uitgebreide lichtinstallatie nodig zijn.

Het verlichtingsplan zal leiden tot een (groot) aantal lichtmasten, met hun elektrische voeding en benodigde schakelapparatuur. Bij het situeren van de lichtmasten moeten erop gelet worden dat ze niet in de weg staan voor voertuigen die op het sluissterrein moeten rijden (werkzaamheden, brandweer etc.). Bovendien bestaat de mogelijkheid dat een (deel van een) schip, afhankelijk van plaats, hoogte, scheepsvorm en hoek-van-aanvaren, boven een remmingwerk of boven het sluisplateau kan komen en daar een lichtmast kan beschadigen.

Het kabelplan voor de energievoorziening moet geïntegreerd worden met de bekabeling voor andere doeleinden. Dit kan doorwerken in de benodigde kabelgoten en schakelruimten.

Referenties:

- Lit. [17.1], CVB Richtlijnen vaarwegen, par. 6.7;
- Lit. [17.5], PIANC, Supplement bulletin no. 55, report Study of Locks, page 205;
- Lit. [17.9], Richtlinien Schleusen- und Vorhafenbeleuchtung (Duitse normen);
- Par. 2.4.8: Programma van eisen: Verlichting, signalering en bebording

17.2.3 TV-camera's en radar

De meeste nieuwe sluizen en ook veel gemoderniseerde oudere sluizen worden bediend vanuit een centrale bedieningsruimte. Soms is het directe uitzicht uit de bedieningsruimte niet voldoende en zijn aanvullende beelden nodig van een zogenaamd CCTV (Closed Circuit TV) systeem bestaande uit:

- camera's bij geleidewerken, sluishoofden, schutkolken en beweegbare bruggen;
- beeldschermen (monitors) in de centrale bedieningsruimte.

De kosten van het systeem hangen sterk af van het aantal camera's en van de vraag of ze op afstand bedienbaar moeten zijn (zwenken, dompen, zoomen).

Wanneer bij slecht zicht (duisternis, mist) zichtinformatie nodig is op grotere afstand van de sluis (orde 1 à 4 km), dan biedt een radarinstallatie uitkomst. Een standaard binnenvaartradar, met rasterscan-presentatie, voldoet aan de voor een sluis te stellen eisen. De radarscanner kan vaak op het bedieningsgebouw geplaatst worden. Maar als het radarzicht belemmerd wordt door hoge obstakels, zoals een brug, kan het nodig zijn de scanner op enige afstand van de sluis te plaatsen. Dit is meestal sterk kostenverhogend. Het radarscherm wordt uiteraard in de bedieningsruimte geplaatst.

Referentie:

- Lit. [17.2], CVB Richtlijnen bediening kunstwerken, par. 6.5.8

17.2.4 Communicatiemiddelen

Elke sluis moet zijn uitgerust met middelen via welke het bedienend personeel met de gebruikers van de sluis kan spreken. Daarvoor zijn vaak verschillende voorzieningen naast elkaar nodig.

- *VHF-systeem (marifoon)*
Een zeer effectief hulpmiddel voor schepen om zich tijdig te melden bij de sluis. De marifoon zal ook worden gebruikt voor het (in Nederland op bepaalde routes voorgeschreven) verstrekken van de scheepsgegevens die in het Informatie Volg Systeem (IVS) worden ingevoerd. De installatie wordt op en in het bedieningsgebouw geplaatst.
- *praatpalen*
Deze dienen voor schepen zonder marifoon die al hebben aangelegd bij de wacht- of opstelplaatsen voor de sluis. Bij op-afstand bediende sluizen en bij sluizen met een gesloten centraal bedieningsgebouw is dit de enige mogelijkheid voor (jacht)schippers zonder marifoon om contact op te nemen met het sluispersoneel. De praatpalen staan op de remmingwerken, op eventuele jachtensteigers, en ook op het sluisplateau. De plaatsen en aantallen moeten van geval tot geval worden afgestemd op de verwachte behoefte en het aantal gebruikers.
- *omroepinstallatie* (dus éénzijdige communicatie)
Een zeer effectief hulpmiddel bij de verkeersregeling in sluizen met recreatievaart. Aantal, type en plaats van de benodigde luidsprekers moet door een geluidstechnicus worden geadviseerd. Voor de luidsprekers moet, evenals voor de praatpalen, de verlichting etc. een geschikte beves-

- tiging worden gevonden (combineren met andere zaken).
- *telefoon/fax/e-mail*
Voor communicatie 'naar buiten' heeft elke sluis een telefoonaansluiting. Bij grote sluizen kan dat gecombineerd worden met een intern telefoonnet voor onderlinge communicatie van het sluispersoneel (en eventueel aanwezig onderhoudspersoneel) op verschillende plaatsen van het complex.
- *geluidsignaal*
Ten slotte kan als (éénzijdig) communicatiemiddel nog worden beschouwd een geluidsignaal dat de schippers waarschuwt dat met het nivelleren van de kolk wordt begonnen, of dat men een deur gaat bewegen.

Referentie:

- Lit. [17.2], CVB Richtlijnen bediening kunstwerken, par. 6.5.2
- par. 18.5.5, Besturing en bediening: Communicatie-apparatuur

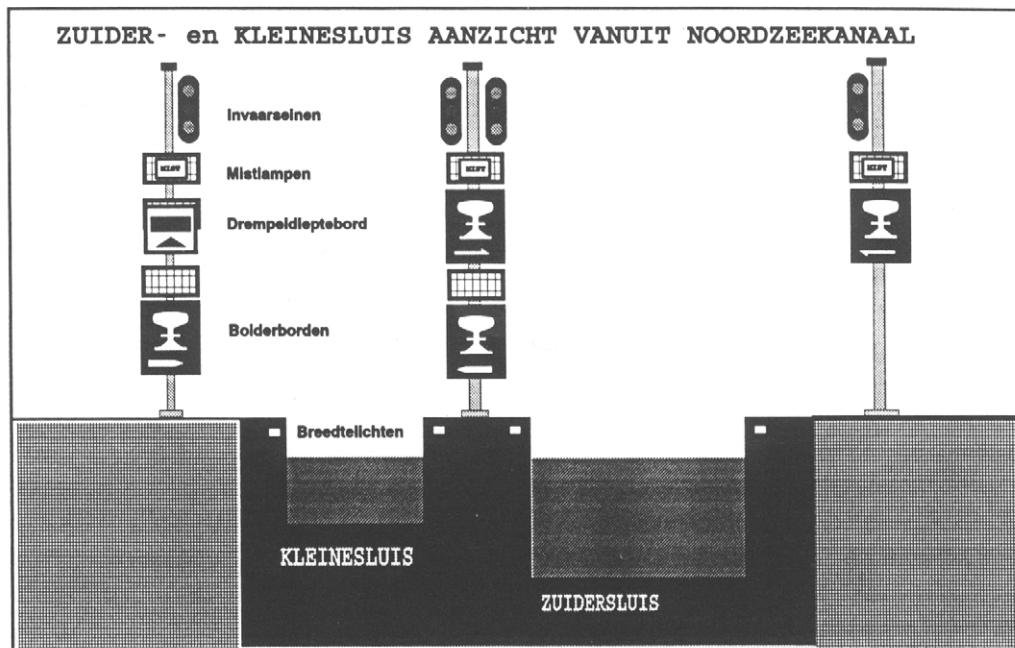
17.2.5 Borden en seinen

Zowel borden als seinen dienen om (visueel) informatie over te brengen aan de vaarweggebruikers. Voor borden en seinen zijn gedetailleerde voorschriften beschikbaar in Lit. [17.4], nader gedetailleerd door de Commissie Richtlijnen Scheepvaarttekens (Lit. [17.3]).



Foto 17.2 Voorbeeld verkeersbord (Oranjesluizen te Amsterdam)

De borden betreffen meestal permanente geboden en verboden (bijvoorbeeld betreffende ligplaats nemen etc.). De borden worden geplaatst op de remmingwerken en het sluisplateau, op die plaatsen waar ze van toepassing zijn. Vaak moeten borden zijn voorzien van verlichting. Een relatief nieuw (en kostbaar) middel tot informatie-verstrekking is het matrix-bord waarop bijvoorbeeld de beschikbare waterdiepte of doorvaarthoogte aan de scheepvaart kan worden bekendgemaakt.



Figuur 17.2 Seinbeeld Zuider en Kleine Sluis IJmuiden

Seinen dienen meestal voor de verkeersregeling en bestaan over het algemeen uit lichten. Deze zijn voorgeschreven in het BPR en het RPR (Lit. [17.2]). Minimaal zal een set rode en groene lichten nodig zijn op elk sluishoofd, maar bij grote sluizen worden ook lichten geplaatst op andere plaatsen van het complex. Bijvoorbeeld op de kop van een sluiseland tussen twee kolken of op het sluisplateau, om bij het openen van de sluisdeur het uitvaren te regelen.

Als de sluis gecombineerd is met een beweegbare brug zullen ook daarvoor de vereiste borden, seinen, kabels etc. in het ontwerp moeten worden meegenomen. Voor de borden en seinen moeten in het sluisontwerp de nodige bevestigingsmiddelen (palen, frames etc.) en kabelgoten worden opgenomen.

Referenties:

- par. 2.4.8, Programma van eisen: Verlichting, signalering en bebording
- par. 18.5.6 en 18.5.7, Besturing en bediening: Visualisatie- en seinapparatuur

17.3 Zaken ten dienste van invaren en vastmaken

17.3.1 Geleiding, fysiek en visueel

Bij sluizen zijn voorzieningen nodig om de schepen vlot en veilig in de kolk te loodsen. Het zijn:

- *Geleidewerken*

Geleidewerken in de fuiktoegang van de sluis verschaffen een invarend schip, zo nodig, fysieke geleiding om de kolk ook onder moeilijke omstandigheden zonder schade binnen te varen. De geleidewerken zijn in de hoofdstukken 5 en 15 behandeld.

- *Visuele richtmiddelen*

De roerganger stuurt op basis van wat hij ziet en waarneemt over de positie en bewegingen van zijn schip ten opzichte van de objecten in de voorhaven en de sluis. Het is daarom belangrijk dat die informatie duidelijk, eenduidig en voldoende is. Bij schepen met een hoge boeg of lading (containers), mist de roerganger gedurende enige tijd het directe zicht vanuit de stuurhut op de sluisingang.

De voornaamste eis is dat de sluisingang *symmetrisch* moet zijn voor de roerganger. Als de constructie niet symmetrisch kan worden uitgevoerd, wordt aanbevolen de asymmetrie visueel te corrigeren, bijvoorbeeld door het bijplaatsen van voorwerpen die juist wel symmetrie (ten opzichte van de hartlijn van de sluis) suggereren. Dat kan met eenvoudige middelen zoals het wit schilderen van bepaalde paalkoppen enz. en het aanbrengen van een 0,30 - 0,50 m brede verticale witte band op de (gesloten) sluisdeur in de hartlijn van de sluis. Als er een brug over de kolk ligt, moet ook daarop de hartlijn van de kolk geaccentueerd worden. Soms is het lonend meer geavanceerde richtmiddelen toe te passen zoals een lichtenlijn die nauwkeurig de hartlijn van de sluis aangeeft.

Het is noodzakelijk om al in een vroeg stadium het sluisontwerp te toetsen aan de eisen van visuele geleiding. Bovenstaande 'correctiemiddelen' hebben over het algemeen geen invloed op het voorontwerp, maar bieden de ontwerper zo nodig wat vrijheid om desnoods enige asymmetrie in de sluisingang te accepteren. Aan geleidewerken te stellen eisen hebben uiteraard wel invloed op het voorontwerp.

Referentie:

- onderzoek door IZF (TNO, Instituut voor Zintuig-Fysiologie), Soesterberg

17.3.2 Stopstreep en afstandsmarkeringen in de kolk

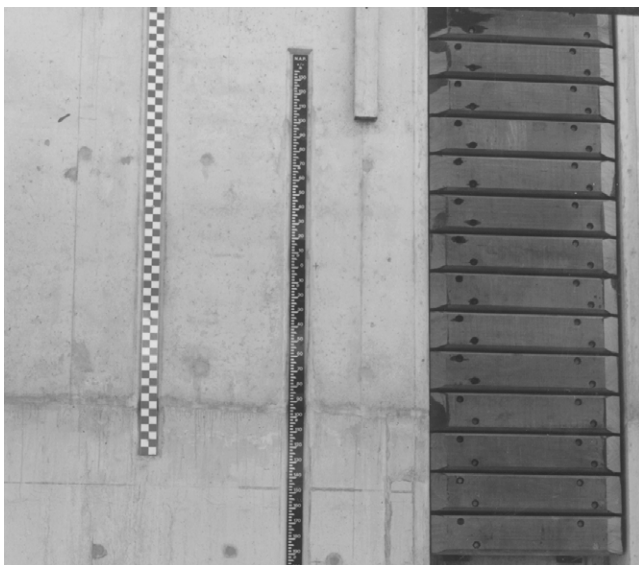


Foto 17.3 Stopstreep, peilschaal en dichtgezette sponning van de Nieuwe Oranjesluis te Amsterdam

De stopstreep geeft aan hoe dicht een schip in de kolk de sluisdeur mag naderen met het oog op de veiligheid van schip en deur.

Voor het bepalen van de afstand van de stopstreep tot de deur, bij verschillende sluisstypen, wordt verwezen naar par. 4.6.2.2. Indien een betere bescherming voor de deur noodzakelijk wordt geacht, zal een opvanginrichting moeten worden aangebracht (par. 17.3.3).

Voor het positioneren van het schip in de lengterichting van de sluis kolk zijn afstandskenmerken op de kolkwanden een belangrijk hulpmiddel. Ze moeten vanaf de stopstrepen om de 5 m worden aangebracht over een lengte van 20 m (klassen I en II) of 40 m (overige klassen). De merken moeten op de sluiswand en op het sluisplateau bij hoge en bij lage waterstand zichtbaar zijn, zowel vanaf geladen als ongeladen schepen. Bij een minimumsluis behoeven de afstandsmerken aan slechts één zijde te worden aangebracht, bij een bredere sluis aan beide zijden.

Zowel de stopstrepen als de afstandskenmerken kunnen eenvoudig zijn uitgevoerd als brede verfstroken of dergelijke (strook witte of rood-en-witte tegels). Ze vergen dus geen aanpassing van de constructie.

Referenties:

- Lit. [17.1], CVB Richtlijnen vaarwegen, par. 4.2.3
- Par. 4.6.2.2: Hoofdafmetingen schutsluis en voorhavens, Stopstreepafstand

17.3.3 Opvangconstructies

Opvangconstructies dienen om te voorkomen dat een schip een sluisdeur kan raken en (fataal) beschadigen (zie par. 2.4.11). Het zijn relatief kostbare voorzieningen die meestal een aanzienlijke invloed hebben op het sluisontwerp. Daarom moet ook bij het voorontwerp al een grondige afweging worden gemaakt van:

- 1 de kans op schade aan de deur;
- 2 de kosten van eventuele schaden en vervolgschaden (bij ontbreken van zo'n opvanginrichting), rekening houdend met de kans van vóórkomen;
- 3 de kosten van bouw en onderhoud van de opvangconstructie, het tijdverlies voor de scheepvaart en het verlies aan schutcapaciteit door het gebruik van de opvanginrichting.

Ad 1:

De kans op schade aan de deur wordt bepaald door twee factoren:

a *Hoe schadegevoelig is de deur*

Sommige deuren kunnen een lichte aanvaring verwerken zonder dat wezenlijk functieverlies optreedt. Een voorbeeld: puntdeuren kunnen in de ene richting (tegen de 'punt' in) grote krachten opnemen. Omdat puntdeuren tegenwoordig met hydraulische duw/persstangen ook tegen het verval in kunnen worden dicht gehouden, kan worden overwogen één stel deuren (of beide stellen deuren) met de punt in de richting van de kolk te plaatsen. Het risico van deurschade wordt daarmee verkleind en zodoende is een vanginrichting overbodig. De keuze die gunstig is met het oog op aanvaarschade is echter meestal ongunstig voor de waterkerende functie. Par. 7.3 ("Keuze sluisdeuren") gaat in op de deurkeuze waarbij ook het aanvaringsaspect meegewogen wordt.

b *Hoe groot is de kans dat een schip tegen de deur vaart*

Dit wordt sterk bepaald door de afstand van deur tot de stopstreep (zie hiervoor), maar ook door de aard en intensiteit van het verkeersaanbod. Verder is de nauwheid van de kolk van belang: een groot schip in een nauwe kolk ondervindt grote hydraulische weerstand bij het invaren en het nauwkeurig stoppen bij de stopstreep wordt bemoeilijkt door translatiegolven. (In het ontwerp kan dit worden ondervangen door de afstand tussen deur en stopstreep groter te kiezen).

Ad 2:

De schadekosten betreffen niet alleen de aangevaren deur en het schip, er kunnen ook vervolgschaden zijn:

- de scheepvaart leidt economische schade als de vaart wordt gestremd;

- als de deur 'eruit gevaren' wordt (kans is niet groot) kan het bovenpand leeglopen met als mogelijk gevolg dat daar de oevers (door grondwater-overdruk) vernield worden, terwijl aan de benedenstroomse zijde overstromingen kunnen optreden, zelfs met ernstige persoonlijke ongelukken.

Het spreekt vanzelf dat deze schaden een enorme omvang kunnen aannemen, vooral als de sluis in een hoofdvaarweg ligt en een primaire waterkering met een groot verval vormt. Voordat deze kosten worden afgewogen tegen de onder ad 3 genoemde kosten, moet ook de kans van voorkomen in rekening worden gebracht. De methodiek voor het bepalen van kansen, kosten en baten, valt buiten het bestek van dit hoofdstuk.

Ad 3:

Een opvangvoorziening moet in staat zijn om zeer grote hoeveelheden bewegingsenergie (in de vorm van kracht en verplaatsing) op te nemen en af te leiden naar de vaste constructie van de sluis. De bouw brengt daarom vrij hoge kosten mee, zowel voor de constructie zelf als voor de vereiste aanpassingen in de kolkwanden (lengte, sterkte). Behalve de bouwkosten moeten ook de kosten van het tijdverlies voor de scheepvaart worden meegewogen. Afhankelijk van het soort constructie en het gekozen bedieningssysteem werkt het aanbrengen en weer wegnemen van de opvangconstructie vertragend op de schutcyclus en verkleint daardoor de schutcapaciteit. Dit bezwaar kan worden verminderd door het aanbrengen/wegnemen te laten plaatsvinden tijdens het nivelleren. Bij sluizen met groot verval hoeft de opvangconstructie bij het benedenhoofd niet te worden weggenomen omdat men er onderdoor kan varen. Bij hefdeuren kan de vangkabel met de deur mee geheven worden.

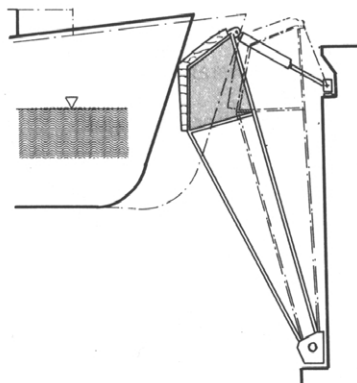
Ten aanzien van de keus om wel of niet een vanginrichting in het ontwerp op te nemen, kunnen de volgende gevallen naast elkaar worden gezet:

- Sluizen voor de *zeevaart*
Zeesluizen zijn vaak zeer breed en de schepen hebben een zeer grote massa; het invaren gebeurt over het algemeen zeer behoedzaam, en vaak is sleepboothulp aanwezig om het schip te geleiden en te stoppen. In de praktijk worden bij zeesluizen geen vanginrichtingen toegepast.
- Sluizen voor de *binnen-beroepsvaart*
Dit is de groep waarop het bovenstaande vooral is gericht; hier komen situaties voor waar het raadzaam is een vanginrichting op te nemen (groot verval, hoofdwaterkeringen). Niettemin zal het aanbrengen van een vanginrichting in veel gevallen niet economisch verantwoord zijn.
- Sluizen voor de *recreatievaart*
De grootte en de massa van de schepjes is zo gering dat (voor de deur) fatale aanvaarschade zeer zeldzaam is; daarom worden hier nooit vanginrichtingen aangebracht.

Omdat de condities bij sluizen zeer verschillend kunnen zijn, is het niet mogelijk een voor alle gevallen doelmatige constructie te adviseren. Vandaar dat hier volstaan wordt met enkele voorbeelden:

Balk

De zware balk (eventueel voorzien van een ballastbak om de massa te vergroten) vormt samen met twee poten een scharnierend portaal (fig. 17.3).



Figuur 17.3 Scharnierend portaal als opvangconstructie

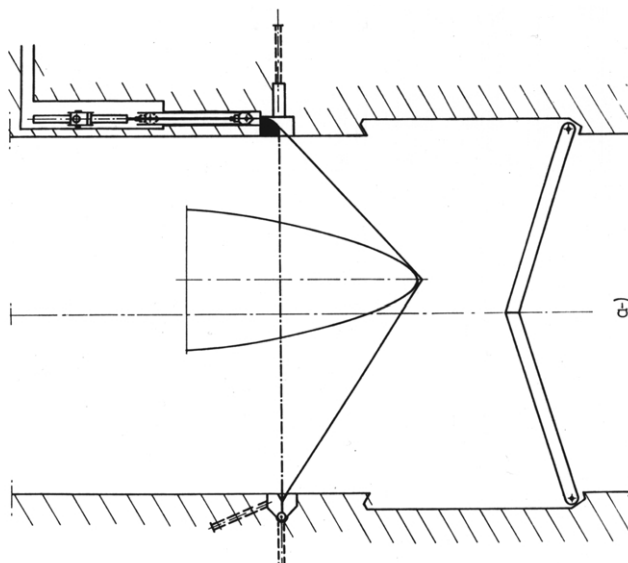
De bewegingsenergie wordt opgenomen door hydraulisch dempende cilinders en door de zwaartekracht-component van de zware balk. Het portaal staat niet verticaal, zodat bij een aanvaring de balk naar achteren en omhoog gedrukt wordt, het water uit. Voor schepen met een duwbakstevan (schuin oplopende boeg) komt daar nog bij dat het schip zelf ook iets uit het water getild wordt door het omhoog draaiende portaal. Deze oplossing is aantrekkelijk bij een groot-verval benedenhoofd waar de schepen na het nivelleren eenvoudig onderdoor kunnen varen. Dit constructietype is toegepast in de schachtsluizen bij Uelzen en Leerstetten in Duitsland (Ruhrgebied).



Foto 17.4 Aanvaarbalk van sluizen te Born en Maasbracht

Bij de sluizen te Born en Maasbracht is een horizontale balk toegepast met horizontaal gelegen, dempende cilinders als ondersteuning (Foto17.4).

Kabel over kolk

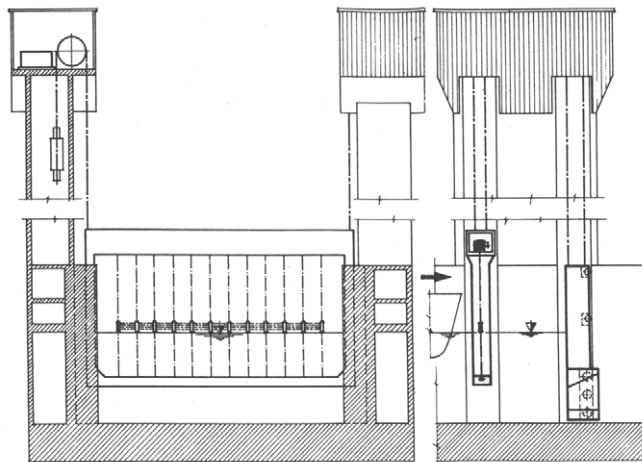


Figuur 17.4 Gespannen kabel over kolk als opvangconstructie

Bij sluizen met een matig of klein verval moet de opvanginrichting steeds worden geplaatst en weer weggenomen. Dan is een relatief lichte constructie, zoals een kabel, aantrekkelijk (figuur 17.4). Daarvoor zijn twee systemen in gebruik:

- 1 Een kabel die over de kolk gespannen wordt gehouden (opvangen) en gevierd (doorvaren) door een trommel met een slippende rem die de energie opneemt (relatief dure constructie).
- 2 Een kabel opgehangen aan een arm die over de kolk reikt (relatief goedkoop). De einden van de kabel vallen in bevestigingskommen op de kolkwand. Na het plaatsen van de kabel wordt de arm weer geheven, waarna de schepen mogen invaren. De kunststof kabel is in staat door rek en demping de energie op te nemen. Deze kabel moet na één aanvaring worden vervangen. Dit type opvangkabels is onder meer toegepast in de sluis bij Stroobos (vaarweg Lemmer-Delfzijl).

Vangnet aan apart raamwerk onder heftoren



Figuur 17.5 Vangnet als opvangconstructie

Dit is een variant van de voorgaande (kabel), maar met een veel grotere energie-absorptiecapaciteit. Het bestaat uit een rechthoekig raamwerk met daarin een grof net van staalkabels (fig. 17.5). De verticale kabels zijn elk aan de bovenzijde verbonden aan een hydraulische rem. Het samenstel van kabels neemt de energie op door elastische vervorming en door de remmen in de bovenbalk. Gezien de massa van het raamwerk, is voor het heffen eigenlijk een systeem met contragewichten nodig. Het leent zich vooral voor toepassing bij sluizen waar voor de deuren al hefportalen zijn voorzien. Vanwege de benodigde veiligheidsafstand tussen de deur en de vanginrichting zullen voor de laatste meestal aparte heftorens nodig zijn, al dan niet gekoppeld aan het deurhefportaal. Dit systeem is toegepast in de sluis van Wijk bij Duurstede.

Referentie:

- Lit. [17.5], PIANC, supplement bulletin no. 55, blz. 255 e.v.
- Lit. [17.6], RWS rapport aanvaarbescherming deuren.
- Par. 2.4.11: Programma van eisen, Bescherming constructies tegen aanvaringen



Foto 17.5 Vangnet als opvangconstructie van sluis te Wijk bij Duurstede

17.3.4 Bolders en haalkommen

Tot de afmeervoorzieningen genoemd in het Programma van Eisen (par. 2.4.3) worden gerekend: bolders, haalkommen, haalbuizen, meerpennen enz., dus alle voorzieningen waaraan de meertrossen van schepen kunnen worden vastgemaakt tijdens het wachten in de voorhaven of tijdens het nivelleren in de schutkolk. (Zie voor afbeeldingen hoofdstuk 13, "Betonconstructies en fundering"). De beschikbaarheid van voldoende, geschikte en goedgeplaatste bolders op een sluis, heeft veel invloed op de vlotheid van het sluisbedrijf: het vastmaken gaat sneller en de beschikbare ruimte in de schutkolk kan optimaal worden benut. Voor uiteenlopende vaartuigen bestaan verschillende soorten bolders. Bolders en haalkommen zijn van belang voor het voorontwerp vanwege de grote krachten die ze naar de vaste constructie moeten overdragen (zie verder) en de vele sparingen in de kolkwand. De invloed is niet altijd even groot.

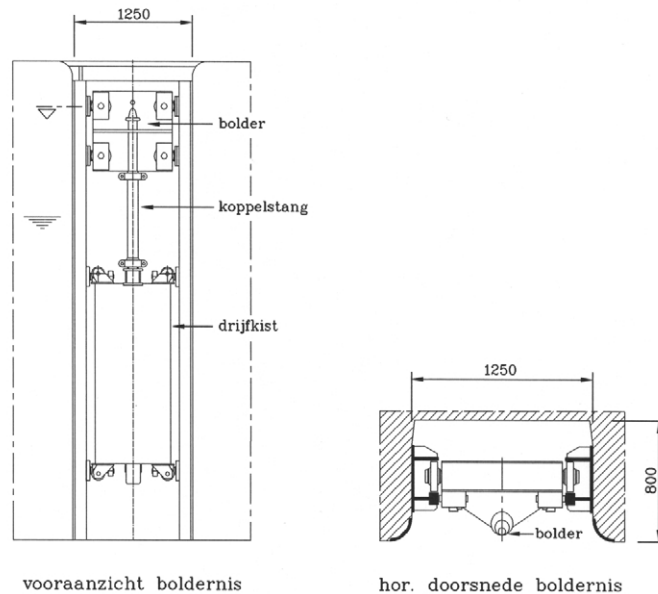
Onderscheid naar plaats:

- in de *voorhavens*
Vanouds zijn remmingwerken voorzien van paalkoppen waaromheen een tros kan worden gelegd. Moderne remmingwerken en geleidewerken zijn meest stalen constructies waarop zonder veel moeite alle gewenste vastmaakvoorzieningen kunnen worden aangebracht (lassen, bouten). Vrijwel altijd zijn het gegoten of gelaste stalen bolders.
- in/op de *schutkolk*
Vrijwel altijd (afhankelijk van het verval) zullen, zowel bovenop het sluisplateau als in de kolkwanden, bolders beschikbaar moeten zijn. Bolders in de kolkwanden worden aangeduid als '(ver)haalkommen'.
Nederlandse sluizen hebben vaak vlakke betonnen wanden. Het aanbrengen van verhaalkommen in die wanden betekent dat een (groot) aantal sparingen nodig is.
Als drijvende bolders worden toegepast (bijvoorbeeld bij vervallen van meer dan 6 m), moet voor elke bolder zelfs een sparing over de volle hoogte in de kolkwand worden gemaakt (fig. 17.6)
Als de kolkwanden uit damwand bestaan, kunnen bolders eenvoudig geplaatst worden in de

holtes van de planken. Om de troskrachten te kunnen opnemen moet wel een achterwaartse versterking (gording, anker) worden aangebracht.

- in het hoofd, *buiten de deuren*:

Voor onderhoudswerk moeten werkschepen vlak buiten de deur kunnen vastmaken. Ook geleidewerken hebben onderhoud nodig; de daarvoor benodigde bolders stellen echter geen specifieke eisen aan het voorontwerp en blijven daarom verder buiten beschouwing..



Figuur 17.6 Drijvende bolder nieuwe schutsluis Panheel

Onderscheid naar maatgevend scheepstype:

- *zeeschepen*

Bij het schutten van grote zeeschepen is meestal personeel op de sluis beschikbaar om de trossen aan te leggen. De trossen zullen gewoonlijk om bolders worden gelegd die boven op het sluisplateau staan. Er zijn dus geen bolders of verhaalkommen in de kolkwanden nodig. Drijvende bolders zijn voor zeeschepen evenmin van belang omdat bij het nivelleren de trossen op het schip worden bediend, zo nodig met behulp van lieren. Om te voorkomen dat de trossen van de meestal relatief hoge zeeschepen naar de bolders te steil komen te staan, moeten de bolders minimaal 3 m vanaf de kolkwand staan. De bolders zullen ook een zodanige vorm moeten hebben dat een steil omhoog staande tros er niet af gaat. De onderlinge afstand tussen de bolders varieert van 15 m (voor schepen tot circa 150 m) tot 30 m.

- *binnenvaart*

Omdat de bemanning van het schip zelf de trossen uitbrengt en bedient moeten er veel bolders beschikbaar zijn zodat er altijd voldoende onder (letterlijk!) handbereik aanwezig zijn. Behalve bij zeer kleine vervallen moeten bolders zowel boven op de sluis, als in de kolkwanden zijn geplaatst. Door de CVB zijn voor binnenvaartsluizen richtlijnen opgesteld die als volgt kunnen worden samengevat:

- de onderlinge verticale en horizontale afstanden moeten zijn afgestemd op het kleinste maatgevende (= redelijk vaak voorkomende) schip;
- verticale maten: laagste bolder 1,5 m boven lage maatgevende waterstand, verticale afstand ongeveer 1,5 m; boven een verticale rij verhaalkommen staat op het plateau een bolder, dicht bij de rand opdat de bemanning rechtstreeks vanaf het schip de tros erom moet kunnen leggen/goeien;
- horizontale maten: de eerste rij dicht bij de stopstreep, vervolgens ca. 10 - 10 - 15 - 15 m enz. Bij grote vervallen zijn drijvende bolders sterk aan te bevelen. Voor vorm en afmetingen van bolders voor de binnenvaart wordt verwezen naar het PIANC supplement bulletin no. 55 (Lit. [17.5], blz. 194 - 201). De maatgevende belastingen zijn gegeven in tabel 17.1.

- *recreatievaart*

Het verschil met de binnenvaart is vooral dat de schepen relatief klein en licht zijn, maar ook dat de bemanningen relatief weinig geoefend zijn en de scheepjes vaak niet gemakkelijk zijn af te meren (moeilijk beloopbaar, niet-rechte zijkanalen). Daarom moeten er voor deze scheepjes extra hulpmiddelen zijn om het schutten toch vlot en zonder ongelukken te laten verlopen. Bijvoorbeeld:

- bolders of meerpenen op kleine tussenafstanden (horizontaal orde 5 m, verticaal 1,25 m);
- verticale afmeerbuizen of -stangen (in plaats van drijvende bolders) bij sluizen met een verval van meer dan enkele meters;
- horizontaal langs de kolkwanden opgehangen grijp-lijnen (touw, voldoende dik voor houvast) bij sluizen met matig tot klein verval.

Als een sluis geschikt moet zijn voor twee categorieën schepen wil dat niet zeggen dat persé volledig aan de eisen/wensen van beide groepen moet worden voldaan. De ontwerper zal de belangen moeten afwegen. Meestal wordt het een 'binnenvaartsluis' met extra voorzieningen (soms) voor de zeevaart of voor de recreatievaart. In beide gevallen zijn die aanvullingen weinig ingrijpend voor het ontwerp, maar ze werken wel kostenverhogend.

In dit verband is het goed om te noemen dat bij de combinatie van beroepsvaart en recreatievaart vaak aparte wacht- en opstelsteigers nodig zijn voor de beroepsvaart en de recreatievaart, elk met hun specifieke vastmaakmiddelen (zie ook hoofdstuk 5, "Layout van het sluiscomplex").

Remmingwerken en kolkwanden moeten mede gedimensioneerd worden op de op te nemen troskrachten. Tabel 17.1 geeft de maatgevende belastingen voor de meest voorkomende schepen:

categorie schepen	CEMT klasse	maatgevende belasting in kN
zeeschepen	nvt	1000) *
binnenschepen (beroepsvaart)	I en II	100
	III en IV	150
	Va en Vb	200
	VI	300) **
recreatievaart	nvt	40

) * voorlopige richtlijn voor zeeschepen tot orde 100.000 dwt.

) ** voorlopige richtlijn voor 4-baks duwstelen

Bij aanlegplaatsen in voorhavens of langs kanalen waar passerende schepen snel langs varen, en waar geladen duweenheden of zeer grote binnenvaartschepen afgemeerd liggen, zijn bolderbelastingen mogelijk tot 600 kN (studie over ligplaatsen langs Amsterdam-/Rijnkanaal). Dit komt voort uit het feit dat deze schepen met dubbele voor- of achtersprings of dubbele voor- of achtertrossen afgemeerd kunnen liggen aan één en dezelfde bolder en de breekrachten van de trossen in orde van grootte 250 tot 300 kN bedragen.

Bij de verdere uitwerking van de bolders etc. komen veel praktische details aan de orde, vaak betreffende de vormgeving met het oog op de hanteerbaarheid en de slijtage van de trossen. Mede om laatstgenoemde reden moeten alle hoeken van constructies worden voorzien van afgeronde metalen hoekbeschermingen (zie bijvoorbeeld Lit. [17.5], PIANC, blz. 186 en 194).

17.3.5 Fendering

Onder het begrip fendering vallen alle wrijfribsen, wrijfgordingen, drijfrahmen, stootkussens etc., kortom de voorzieningen die ervoor zorgen dat een lichte aanraking tussen schip en constructie geen schade geeft. Goede fendering heeft ook een positief effect op de vlotheid van het schutbedrijf en is daarom bij drukke sluizen altijd een lonende investering. Bij sluizen met weinig verkeer en gunstige nautische condities (luw gelegen, geen stroom) kan de fendering minimaal zijn.

Wat de constructie betreft moet bij het ontwerp van de fendering rekening worden gehouden met:

- het opnemen van *wrijvingskrachten* als een schip langs de kolkwand vaart;

- het opnemen van *stoten loodrecht* op de kolkwand;
- de te verzekeren *afstand* tussen overhangend schip en kolkwand;
- gemak en kosten van *onderhoud, reparatie, verwijdering en vervanging*.

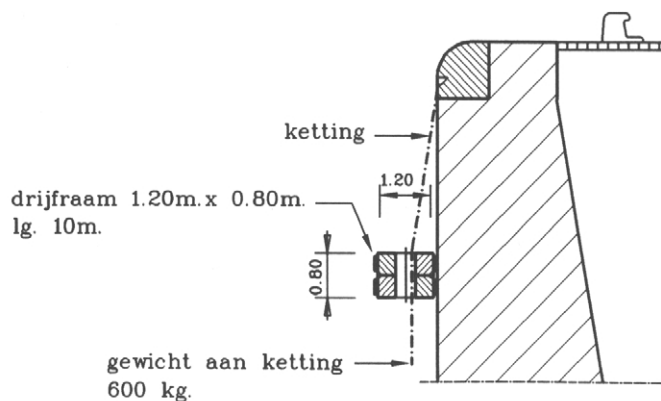
Bij de keuze van een fenderingsysteem spelen naast nautische overwegingen ook de kosten een belangrijke rol:

- investering: niet alleen de kosten van de fenders zelf, maar tevens de benodigde extra breedte van de schutkolk (vergelijk kale kolkwand versus brede drijframes);
- schade en onderhoud: aan de fenders, aan de sluiswand en aan de schepen;

In deze paragraaf wordt onderscheid gemaakt tussen sluizen voor de grote zeevaart, de binnenvaart en de recreatievaart.

Sluizen voor de grote zeevaart

Ten behoeve van het vlot en veilig invaren van de sluis moet de ruimte voor de sluis vrijgehouden worden voor manoeuvrerende sleepboten en worden dus geen fuiken met doorgaande geleidewerken toegepast. Doorgaande geleidewerken zouden ook te kwetsbaar zijn vanwege de zeer grote massa's van zeeschepen. Wel kunnen voor de ingang van de sluis enkele zware meerstoelen geplaatst worden die met hout bekleed zijn. Op de hoeken van de sluishoofden kunnen horizontale rubber wielfenders geplaatst worden ter bescherming van sluis en schip. Door de zeer grote scheeps massa's van zeeschepen zijn deze fenders omvangrijk en duur en hebben dus invloed op het voorontwerp.



Figuur 17.7 Kolkwand met drijfraam voor zeesluis

In de sluis zelf is het gewenst dat het schip op afstand van de kolkwand blijft omdat de hoge opbouw van een zeeschip vaak buiten het onderwaterdeel uitsteekt. Voor trosbediening is deze afstand geen bezwaar doordat hulp op de sluis aanwezig is. Er is een dikke, elastische fendering vereist die veel energie moet kunnen opnemen als wrijving maar ook loodrecht op de wand. Toegepast worden daarom drijfrahmen tegen de kolkwanden. Drijfrahmen vergen veel onderhoud en functioneren niet altijd correct (kantelen). Voor de renovatie van de Noordersluis in IJmuiden wordt een nieuw type ontwikkeld dat deze bezwaren minder heeft. Door de toepassing van drijfrahmen moet de sluis met deze breedte vermeerderd worden om de nuttige sluisbreedte te halen. Dit is sterk kostenverhogend nog afgezien van de investeringen van de drijfrahmen zelf.

Sluizen voor de binnenvaart

Bij Nederlands binnenvaartsluizen worden altijd invaarfuiken toegepast. Zowel de flexibele, open constructies (vrijstaande remmingwerken) als de meer starre, gesloten constructies (damwanden) van de fuiken zijn voorzien van horizontale wrijfvliggers.

Binnenvaartschepen zijn weinig hoger dan de kolkwand en steken niet buiten hun onderwaterdeel uit. Deze schepen kunnen daarom zonder bezwaar direct langs de kolkwand liggen en moeten dit ook van-

wege de handmatige trosbediening. Er is een dunne fendering vereist die bestand is tegen wrijving. Bij vlakke betonwanden in de kolk is geen aparte fendering op de wand nodig aangezien het schip eigen wrijfhouten gebruikt. Bij kolkwanden van stalen damwanden is wel een goede fendering vereist in de vorm van horizontale wrijflijgers langs de kolkwanden.

Bij recente sluisontwerpen (Sluis Schijndel, Tweede Sluis Lith) zijn enkele varianten vergeleken waarbij ook kolken met 'ruwe' kolkwanden voorkwamen. Dat waren stalen damwand- en betonnen diepwand-constructies. In beide gevallen is de ruwe wand geschikt gemaakt voor de scheepvaart door er een betonnen schort voor te hangen. Zo'n vlakke wand vergt voor de binnenvaart minimale of geen fendering. Bij de stalen damwand is in plaats van een vlak betonnen schort een raamwerk van regels en stijlen overwogen. Hierbij moet worden opgemerkt dat regels het bezwaar hebben dat bij het nivelleren (onderdelen van) schepen kunnen 'happen' onder of op een regel.

Een belangrijke kostenfactor bij wanden met een regelwerk zijn de optredende variaties in waterstanden, zowel in de voorhavens als in de kolk. Zo'n fendering moet immers bij alle waterstanden functioneren, waardoor bij grote variaties in de waterstand zeer grote oppervlakken moeten worden beschermd. In dat geval moet zeker een drijvende voorziening overwogen worden.

Sluizen voor recreatievaart

Bij sluizen voor de recreatievaart gelden dezelfde overwegingen als voor de beroepsvaart, maar dan in versterkte mate. Niet alleen beschouwen jachteigenaren hun scheepje als een kostbaar goed waar geen krasje op mag komen, de scheepjes zijn juist extra kwetsbaar. Ze hebben meestal niet-rechte zijanten waardoor hun eigen fenders 'altijd' op de verkeerde plaats hangen. Als de fendering van de kolkwand uit stijlen en gordingen bestaat is de kans zeer groot dat een deel van het scheepje onder, op of tegen zo'n balk stoot. De enig goede oplossing voor een nieuwe recreatiesluis zijn dan ook geheel vlakke kolkwanden.

Referentie:

- Lit. [17.10] Variantennota Tweede Sluis Lith
- Lit. [17.11] Ontwerpnota Sluis Schijndel

17.4 Bijzondere zaken

17.4.1 Stroming in voorhavens

Bij schutsluizen kan stroming optreden als gevolg van:

- 1 nivelleren van de schutkolk;
- 2 maatregelen ter bestrijding van zoutbezwaar;
- 3 spuien of terugpompen.

In alle gevallen moet gestreefd worden naar een stroombeeld dat wordt gekenmerkt door:

- uiterst lage stroomsnelheden bij de ingang van de kolk;
- geen scherpe overgangen (gradiënten) tussen stroomloos en stromend water;
- stabiliteit stroombeeld (d.w.z. dat het niet verandert in de tijd).

In het volgende wordt nader ingegaan op de stroming en eventuele hinder door de punten 1 en 2. Punt 3 is reeds behandeld in par. 5.3.4 (Indeling bij spuien langs binnenvaartsluizen) en wordt hier niet verder behandeld; opgemerkt wordt punt 3 wel ingrijpend kan zijn voor het ontwerp.

Stroming door nivelleren van de schutkolk

In hoofdstuk 6 ("Vul- en ledigingssystemen") is voornamelijk aandacht gegeven aan de verschijnselen in de schutkolk. Het nivelleren heeft echter ook gevolgen in de voorhavens.

Het kolkvullen is in de voorhaven voornamelijk merkbaar als een waterspiegelverhang (negatieve translatiegolf). De scheepvaart is hieraan gewend en ervaart dat niet als wezenlijk hinderlijk. De vulstroom is alleen zeer dicht bij de sluis merkbaar, maar daar wordt op dat moment toch niet gevaren.

Bij het ledigen van de kolk kan in de benedenvoorhaven een forse stroom ontstaan die wel degelijk risico's kan meebrengen voor de daar manoeuvrerende schepen. Door een zorgvuldige plaatsing en vormgeving van de uitstroomopening(en) zal de hinder tot aanvaardbare waarden worden teruggebracht. Dit kan veel invloed hebben op het voorontwerp. Als twee schutkolken vlak naast elkaar liggen, moet de ontwerper erop bedacht zijn dat door het ledigen van de ene kolk een dwarsstroom voor de andere kolk kan ontstaan. Dat kan een reden zijn om het tussenliggende sluiseland te verlengen. Een andere reden om het tusseneiland te verlengen is dat schepen bij het in- en uitvaren in elkaars vaarwater kunnen komen en elkaar mogelijk hinderen. Zie verder par. 5.3.2 (deel 1).

Stroming door dichtheidsverschillen (zout/zoet)

Als de sluis tevens de scheiding vormt tussen zout en zoet water, zijn soms extra maatregelen nodig. In par. 21.3 worden overwegingen gegeven voor de keuze tussen een zout/zoetscheidingssysteem met open deuren (bijvoorbeeld met luchtbellenschermen), en een systeem met gesloten deuren (bijvoorbeeld de Krammersluizen).

Als er geen maatregelen tegen zoutdoordringing worden getroffen, wordt bij elke schutting als gevolg van dichtheidsverschillen vrijwel de gehele kolk inhoud uitgewisseld: op het moment dat, na een schutting, de deuren worden geopend ontstaat aan de oppervlakte een stroom van 'zoet' water in de richting van het zoute bekken doordat het zoute water onder het zoete water stroomt. Dat geldt zowel aan de zoete als aan de zoute kant van de sluis. De scheepvaart kan hiervan ernstige hinder ondervinden *bij het invaren vanaf de zoete zijde*: voor de ingang van de sluis en in de kolk heeft het schip (oppervlakte-) stroom mee, terwijl juist gestopt en aangelegd moet worden in de kolk. Voor het sluisontwerp betekent dit dat extra aandacht moet worden besteed aan de bolders en verhaalkommen in/op de sluis; kleinere horizontale tussenafstanden en ruime kommen.

Als de zoutdoordringing wordt bestreden met een luchtbellenscherm geeft dat in de omgeving van het bellenscherm een zeer onrustig oppervlakte-stroombeeld waar kleine schepen ernstig hinder van kunnen ondervinden, zowel qua bestuurbaarheid als snelheid (stoppen om vast te maken). De gevolgen van de stroomhinder kunnen enigszins worden beperkt door meer en betere bolders en haalkommen.

Referentie:

- Lit. [17.5] PIANC supplement bulletin no. 55, blz. 366 - 375.

17.4.2 Ijsbestrijding

Als ondanks ijsvorming de kanalen nog open zijn voor de scheepvaart, desnoods met hulp van ijsbrekers, kan het ijs problemen veroorzaken bij de schutsluizen. Het door de ijsbrekers losgemaakte drijfijis kan zich ophopen bij de sluizen en daar enorm hinderlijk zijn.



Foto 17.6 Ijs in puntdeurkassen van jachtensluis Volkerak

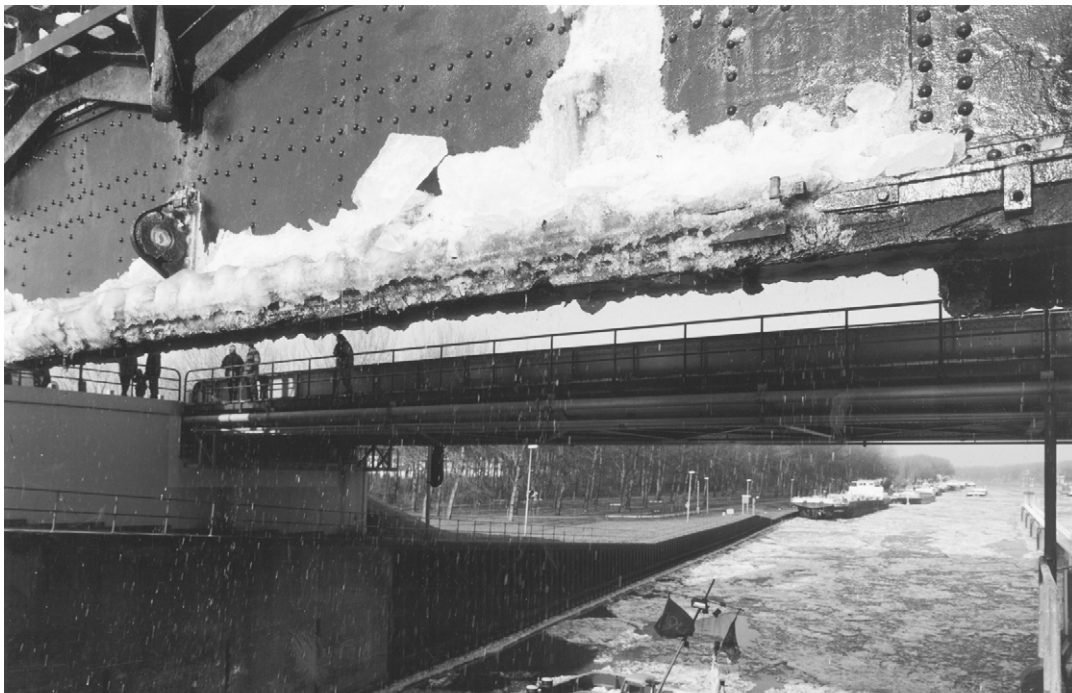


Foto 17.7 Ijs aan hefdeur Prinses Beatrixsluis te Nieuwegein

Voorbeelden van moeilijkheden door ijs bij schutsluizen zijn:

- ophoping van ijs voor de slusingang;
- ijs in deurkassen, waardoor de deuren niet geheel kunnen worden geopend;
- beschadiging van kwetsbare onderdelen (bijvoorbeeld leidingen) doordat deze blootstaan aan stormen en schuren van ijs wat door varende schepen wordt opgestuwd;
- drijvende bolders die vastvriezen;
- ijsafzetting aan en in hefdeuren waarvoor de trekkracht van de hijslieren groter moet zijn;
- ijsbrokken en -schollen die in de riolen gezogen worden en daar verstoppingen geven en/of de schuiven blokkeren.

Aangezien het in bedrijf houden van de sluizen een groot economisch belang vertegenwoordigt, zijn voor deze problemen diverse oplossingen ontwikkeld. De Bouwdienst Rijkswaterstaat heeft een onderzoek ingesteld naar de effectiviteit van diverse maatregelen. De resultaten zijn gepresenteerd in Lit. [17.8] (hoofdstukken 4 en 5) en er is een Centraal Punt Ijsbestrijding (Bouwdienst te Tilburg) ingesteld.

De belangrijkste techniek om drijfijis te bestrijden is de airlifttechniek. Op de bodem van een rivier of kanaal vriest het niet, daar is het water altijd warmer. Dat water wordt naar boven gebracht door beneden lucht te laten ontsnappen. De lucht borrelt omhoog en neemt het warmere water naar het oppervlak toe. Dat is voldoende om het ijs te laten smelten of weg te duwen. Er zijn verschillende soorten luchtbellenschermen. Het verschil zit hem in de kracht waarmee de lucht ontsnapt. Deze keus wordt bepaald door de hoeveelheid drijfijis en het soort probleem. Een whirlscherm laat het water heel zachtjes omhoog komen waardoor het water open blijft. De kasblaasinstallaties zijn krachtiger en houden het ijs weg uit deurkassen, deurnissen en bij drijvende bolders. Ook worden luchtbellenschermen ter plaatse van de drempels aangebracht (kunnen eventueel ook dienst doen als scheiding van zout en zoet water).

In Noord-Brabant worden de sluizen in de Zuid Willemsvaart uitgerust met een installatie waarbij water wordt verpompt. Het water onder in de deurkas wordt aangezogen en bij het draaipunt net onder het wateroppervlak langs de deurkaswand weggeblazen.

Ijsafzetting op het kunstwerk en de deuren zelf kan effectief bestreden worden door elektrische wandverwarming: een kunststofplaat die aan de achterkant waterbestendige verwarmingselementen bevat.

Verdere middelen zijn:

- regelmatig bewegen van de deuren;
- verwijderen van drijfijis met ijsbrekers of door spuien;
- permanent draaien van de schroef van een afgemeerde sleepboot of dienstvaartuig;
- aanbrengen kunststofbekleding waar ijs niet aan hecht.

Ook als nog geen technische middelen ter bestrijding van overlast door ijs in de nieuwe sluis worden geïnstalleerd, wordt sterk aanbevolen om in het ontwerp toch minstens de nodige voorbereidingen op te nemen (sparingen, leidingen, kabelgoten). Daarnaast moeten de inlaatopeningen van eventuele riolen zo diep gelegd worden, dat er geen ijs in kan worden aangezogen.

Referentie:

- Lit. [17.5] PIANC rapport, blz. 337 - 353
- Lit. [17.8] Ijsbestrijding Kunstwerken
- Centraal Punt Ijsbestrijding

17.4.3 Opnemers voor waterstanden enz.

Voor een juiste bediening van de sluizen moet de waterstand op een aantal punten gemeten kunnen worden. Vanouds deed men dat met peilschalen, één aan beide zijden van elk stel deuren. Bij sluizen met centrale bediening moeten de waterstanden op de centrale post afleesbaar zijn. Daar zal men vaak ook een aantal andere waarnemingen verzamelen (bijvoorbeeld watertemperatuur of meteorologische grootheden). Voor al deze metingen moeten opnemers geplaatst worden, zodanig dat ze goed functioneren en gemakkelijk kunnen worden onderhouden of vervangen. De voorzieningen voor de opnemers

en de benodigde kabels moeten in het ontwerp worden opgenomen. Ze hebben naar verwachting geen wezenlijke invloed op het voorontwerp.

17.4.4 Windschermen

Windschermen zijn bedoeld om de windhinder voor schepen te beperken, vooral op die plaatsen waar ze zeer langzaam varen en tevens nauwkeurig moeten manoeuvreren; dus nabij en in de sluis maar ook bij bruggen. Het is vooral van belang als er veel windgevoelige schepen voorkomen, zoals kleine zeeschepen, containerschepen of ongeladen duwstellen. Om schade aan de schepen en de sluis te voorkomen moet worden gekozen uit:

- het verbreden van de voorhaven en de slusingang, inclusief het aanbrengen van zeer goede en sterke geleidewerken;
- het wegnemen of verminderen van de windinvloed door windschermen te plaatsen.

Het verminderen van de windhinder heeft ook een positieve invloed op de schutcapaciteit doordat men vlotter in- en uitvaart. Beide soorten maatregelen hebben invloed op het voorontwerp. Het ontwerp van windschermen vergt specialistische kennis. In het volgende wordt volstaan met het noemen van enkele aspecten van vier typen windschermen.

- 1 *Bomen ('windsingels')*
Een windscherm van bomen moet uit meerdere rijen bestaan (bijvoorbeeld minstens 5) om effectief te kunnen zijn. Een bezwaar van bomen als windscherm is, dat het jaren duurt eer ze voldoende groot en dicht zijn om effect te sorteren. Loofbomen verliezen 's winters hun blad en zijn dan minder effectief.
Bomenschermen zijn niet duur in aanleg, vergen relatief veel ruimte, en kunnen een landschappelijke waarde hebben.
- 2 *Aarden wal*
Een aarden wal is als windscherm niet zonder meer betrouwbaar. De kans is groot dat de wind erachter 'terug slaat'. Vaak wordt dan volledige luwte afgewisseld door windstoten. In dat geval is het middel erger dan de kwaal.
Met een gedegen aerodynamisch onderzoek kan echter een goede windkering bestaande uit een aarden wal ontworpen worden. Een aarden wal vergt veel grondverzet, veroorzaakt een forse verticale belasting op de ondergrond en vergt een zekere groundbreedte.
- 3 *Muren of panelen*
Sinds een aantal jaren staat bij een brug over het Hartelkanaal een serie gebogen betonnen wanden als windkering. Een grondig aerodynamisch onderzoek is hieraan voorafgegaan. Deze oplossing vergt relatief weinig ruimte, maar zal niet in alle landschappen aanvaardbaar zijn.
- 4 *Hoge remming- en geleidewerken*
Remmingwerken en geleidewerken die zijn uitgevoerd met horizontale gordingen met kleine tussenafstanden (zie par. 17.3.1), hebben uitstekende windkerende eigenschappen. Ze zijn meestal niet hoog genoeg om dwarswind geheel te voorkomen, maar ze hebben zeker een positieve invloed zodat daardoor wellicht andere maatregelen achterwege kunnen blijven.

Referentie:

- Lit. [17.1] CVB Richtlijnen Vaarwegen, par. 2.5 en 3.2.

17.5 Bedienings-, installatie- en dienstengebouwen

17.5.1 Soorten gebouwen

Meestal is er bij een sluiscomplex sprake van drie soorten gebouwen:

1. Bedieningsgebouw; vanuit de centrale bedieningsruimte wordt de sluis bestuurd.
2. Installatiegebouw(en); deze is er voor het onderbrengen van de technische installaties.
3. Dienstengebouw; deze is voor het beheer van de sluis.

Daarnaast zijn er vaak nog technische ruimtes voor de deurbewegingswerken, uitgevoerd als kelders of bovenin heftorens. Ook worden wel uitzichttorens of een informatiecentrum voor het publiek gebouwd.

Vaak worden de technische installaties (zoals hydraulische installatie van de deurbewegingswerken, elektrische installaties, computers, schakelkasten, noodstroomvoorziening, hoogspanningsruimte) voor een deel opgenomen in het bedieningsgebouw en voor een ander deel in de kelders van het bewegingswerk in de sluishoofden en is geen sprake van aparte installatiegebouwen. In het dienstengebouw dat vaak geheel apart staat van de sluis, kunnen zich diverse ruimtes bevinden zoals een werkplaats, garage, magazijn of een vergaderruimte. Installatiegebouwen worden veelal ondergronds aangelegd om te voorkomen dat deze te dominant aanwezig zijn.

Het is van groot belang dat alle gebouwen zo ingericht worden, dat de gebruikers hun werk onder alle omstandigheden optimaal kunnen uitvoeren. Dit betekent dat de techniek wordt ingepast in een concept waarin de taken van de gebruikers (monitoring, bediening en onderhoud van sluizen en bruggen) optimaal kunnen plaatsvinden. Met andere woorden: de mens staat centraal.

17.5.2 Bedieningsgebouw

Plaats

De bediening wordt uitgevoerd in de centrale bedieningsruimte van het bedieningsgebouw. Het is van belang dat van hieruit zo veel mogelijk direct contact met de plaats van handeling tot stand komt. Enerzijds moet het zicht op de sluis, de voorhavens en de brug optimaal zijn en anderzijds mag beschadiging door scheepvaart niet mogelijk zijn. Het gebouw wordt dan ook langs de sluiswand geplaatst met de centrale bedieningsruimte bovenin het gebouw met zoveel mogelijk zicht rondom.

Exterieur

De omgeving waarin het bedieningsgebouw gerealiseerd wordt, is voor de ontwerper een uitgangspunt in verband met landschappelijke inpassing van het gebouw en het kunstwerk. Het bouwwerk moet niet alleen functioneel, maar vooral ook esthetisch verantwoord zijn en passen in zijn omgeving. Een vaste groep architecten staat ter beschikking waaruit voor elk ontwerp in overleg met de principaal een keuze wordt gemaakt. Welke architect in aanmerking komt hangt af van de aard en omvang van het object. Rijkswaterstaat schenkt in toenemende mate aandacht aan de vormgeving van haar kunstwerken. De verfrissende inbreng van gekozen architecten leidt ook tot originele ontwerpen van bedieningsgebouwen.

Interieur

Het inrichten van het bedieningsgebouw betekent het samenvoegen van een groot aantal eisen en wensen. Wensen die onderling vaak variëren. In overleg zoeken de ontwerpers naar de ideale vormgeving, waarbij het uitgangspunt is dat de functionaliteit gewaarborgd blijft.

Het bedieningsgebouw huisvest het bedienend personeel en de bedieningsinrichting.

Het personeelsbestand bestaat bij een groot sluiscomplex bijvoorbeeld uit de sluisleiding, een centrale verkeersgeleider (of operationele sluismeester voor toewijzen kolken) en assistent-verkeersgeleiders (waaronder een centralist voor inwinnen scheepsgegevens en sluisbedienaars voor het bedienen van de schutsluis). Ook is vaak een verkeerscentrale ondergebracht met verkeersleiders voor aanliggende vaar-

wegen en havens. Ieder heeft zijn eigen werkplek in de centrale bedieningsruimte. Veelal is het sluisbedrijf volcontinu, dat wil zeggen 24 uur in ploegendienst.

De plaatsing van bedienings-/informatiepanelen en monitoren en het zicht op de te bedienen objecten is van wezenlijk belang. Vanaf de centrale bedieningsruimte moet (zoals reeds vermeld) een goed direct zicht op de kolken en voorhavens zijn; voor een bedieningsgebouw is glas daarom buitengewoon belangrijk. Aan de aspecten zoninstraling (warmte), reflecties en schoonhouden wordt dan ook veel aandacht geschonken. Ook de klimaatbeheersing en de invloed van aanwezige installaties hierop wordt zorgvuldig in acht genomen. De maatregelen in het kader van de ARBO-wetgeving krijgen ruime aandacht. Waar nodig wordt een adviserend ergonomoos ingeschakeld.

In het bedieningsgebouw worden een keuken en sanitaire voorzieningen geplaatst voor de mensen die het pand dagelijks bemannen.

Referentie:

- par. 2.4.7.1 (Situering bedieningsgebouw)
- hoofdstuk 18 ("Besturing en bediening")
- Richtlijnen Vaarwegen (CVB, Lit. [17.2]).



Foto 17.8 Bedieningsgebouw van sluis te Gorinchem



Foto 17.9 Bedieningsgebouw van schutsluis Krimpen a/d IJssel naast stormvloedkering



Foto 17.10 Bedieningsgebouw van Noordersluis te IJmuiden



Foto 17.11 Bedienings- en dienstengebouw van Prinses Beatrixsluizen te Nieuwegein



Foto 17.12 Bedieningsgebouw op middenwand van Prinses Beatrixsluizen te Nieuwegein

17.6 Voorzieningen op het sluisterrein

17.6.1 Werkplaatsen en opslag

Voor kleine reparaties en onderhoud is een werkplaats op het sluiscomplex gewenst die wordt geplaatst in het dienstengebouw. De grootte en inrichting van de werkplaats moeten worden bepaald op grond van een onderhoudsplan voor de sluis. Als het normale onderhoud door derden zal worden uitgevoerd, kan het nuttig zijn toch een eenvoudige werkplaats beschikbaar te hebben. In het Programma van Eisen (par. 2.5) zijn hiervoor richtlijnen gegeven. Als de werkplaats, vanwege de voorziene werkzaamheden (bijvoorbeeld lassen) of wegens het opslaan van bijvoorbeeld smeerolie of verf relatief brandgevaarlijk wordt geacht, kan dat een reden zijn om het gebouw(-tje) apart te zetten.

Tevens zullen er een plaats en voorziening moeten komen voor één of meer reservesluisdeuren (zie par. 2.5.2). Deze deur(en)bergplaats moet zowel vanaf het water als vanaf de landzijde toegankelijk zijn met een voldoende zware bok of mobiele kraan. Dat laatste stelt eisen aan de fundering van de wegen op het sluisterrein en aan de toegelaten belasting boven op de sluishoofden waar de deuren moeten worden ingehangen.

17.6.2 Kabels en leidingen

In paragraaf 18.5 wordt onder meer een overzicht gegeven van de elektrotechnische installatie. Daarvan maken ook de kabels deel uit. Zowel voor het efficiënt installeren als voor onderhoud en het verhelpen van storingen, is het van het grootste belang dat kabels overzichtelijk en goed bereikbaar gelegd kunnen worden in aparte kabelgoten. Voor kabels en leidingen die het complex kruisen, worden in de hoofden kabelschachten en -kokers opgenomen. Zie ook par. 2.3.4.2 (Programma van Eisen, kabels en leidingen).

17.6.3 Bereikbaarheid en wegenplan

Voor het sluisbedrijf, maar ook voor onderhoud, reparatie en brandbestrijding moet het sluiscomplex, alsmede alle onderdelen daarvan, goed bereikbaar zijn, zie par. 2.4.12 en 2.4.13 (Programma van Eisen). Dat stelt dwingende eisen aan verschillende onderdelen van het complex. Zo moeten niet alleen de gebouwen op het sluiscomplex bereikbaar zijn, maar ook schepen die in de kolk of de voorhavens liggen. Bij het begrip 'bereikbaar' moet worden aangegeven of dat 'te voet' is, of met ambulance, brandweerauto of zware kraanwagen (aanpassen van draagkracht van wegfundering, eventuele bruggen en sluisplateau). Een en ander moet worden uitgewerkt in een 'bereikbaarheidsplan' wat tot een overzicht geeft van berijdbare wegen, voetpaden en loopbruggen.

Bereikbaarheid en wegenplan hebben wellicht invloed op het voorontwerp. Het is denkbaar dat een foutieve (voorlopige) plaatsing van een gebouw verstreckende gevolgen kan hebben. Daarom wordt aanbevolen de bereikbaarheid reeds in dit stadium voldoende aandacht te geven, zowel qua lay-out als qua belasting.

Referentie:

- Lit. [17.11] Binnenvaarthavens, nota KSV Schuttevaer

17.6.4 Brandbestrijding en EHBO/ambulance

Voor brandweer en EHBO/ambulance is bereikbaarheid een eerste vereiste. Het betekent niet alleen dat het sluiscomplex van goede wegen en paden moet zijn voorzien, maar ook dat die vrij en begaanbaar worden gehouden. Vooral bij sluizen waar het publiek vrij toegang heeft, zal men wellicht maatregelen moeten nemen om er zeker van te zijn dat de toegangen niet geblokkeerd worden door geparkeerde auto's. Omgekeerd kunnen hekken die geplaatst zijn om het publiek te weren, op cruciale momenten de doorgang voor de brandweer of de ambulance belemmeren.

Op het complex zelf zullen middelen voor brandbestrijding en EHBO beschikbaar moeten zijn. Verwezen wordt naar de specifieke voorschriften. Over het algemeen moeten op een sluis gebruiksklare reddingsboeien en brandblussers in kasten op het sluisplateau en de remmingwerken aanwezig zijn. All deze voorzieningen zijn echter van ondergeschikt belang voor het voorontwerp (niet ingrijpend)

Referentie:

- Lit. [17.5] PIANC supplement bulletin no. 55, blz. 191

17.6.5 Auto's van/aan boord

Voor het van of aan boord zetten van een personenauto heeft de binnenvaart behoefte aan een korte steiger of kade die is aangesloten op de openbare weg. Een kraan of rijbrug is niet nodig (dat hebben de schepen zelf aan boord). De steiger of kade moet niet te hoog zijn, omdat het bereik van de kleine boordkranen beperkt is.

Aan weerszijden van de autosteiger moeten voldoende bolders of meerpalen staan, zodanig dat schepen van verschillende afmetingen er goed kunnen vastmaken. Daarbij moet de ontwerper er rekening mee houden dat de auto en de autokraan op verschillende plaatsen op het schip (voor, midden, achter) kunnen zijn geplaatst.

De noodzaak van zo'n autosteiger bij het sluiscomplex hangt sterk af van de overige mogelijkheden die al in de omgeving aanwezig zijn. De 'autosteiger' moet zo gesitueerd zijn dat het schip er kan aanleggen zonder het overige verkeer te hinderen. Daarom is de autosteiger meestal niet toelaatbaar bij de opstelplaatsen. Als er niet te veel verkeer is, kan eventueel worden toegestaan een wachtplaats voor dit doel te gebruiken. De autosteiger moet met een bord (pictogram) worden gemarkeerd en van verlichting worden voorzien. De autosteiger/kade moet worden opgenomen in het ontwerp van de aanlegplaatsen en het wegenplan.

Referentie:

- Lit. [17.11] Binnenvaarthavens, nota KSV Schuttevaer

17.6.6 Extra's voor functie als overnachtings- rust- of vluchthaven

Als de voorhaven van een schutsluis tevens dienst doet als haven voor overnachting, (verplichte) rust, of als vluchthaven, moet de voorhaven daarvoor wellicht vergroot worden (zie par. 4.8). Bovendien moet dan extra aandacht gegeven worden aan de bereikbaarheid van de ligplaatsen voor medische hulp, brandbestrijding en boodschappen, omdat de opvarenden gemiddeld langer ter plaatse blijven dan voor gewoon schutten. Er moeten voldoende punten zijn waar de schipper kan aansluiten op het openbare elektriciteitsnet (om hinder door boord-generatoren te voorkomen). Dit kan een sterke uitbreiding van het net van kabels (par. 17.6.2) betekenen. Zeker bij een vluchthaven moet een autosteiger beschikbaar zijn.

Referentie:

- Lit. [17.11] Binnenvaarthavens, nota KSV Schuttevaer

17.7 Aanvullende voorzieningen

17.7.1 Inleiding

Onder de term 'klein sluismeubilair' zijn in deze paragraaf een aantal relatief kleine onderdelen van de sluis verzameld. Voor een deel zijn deze al in het voorgaande naar voren gekomen, in dat geval wordt met een verwijzing volstaan. Bolders e.d. worden hier niet tot het klein sluismeubilair gerekend; ze zijn al behandeld in paragraaf 17.3.4.

Alle hierna te noemen zaken moeten zo zijn geplaatst dat ze het normale sluisbedrijf niet belemmeren. Over het algemeen betekent dit dat ze niet mogen voorkomen in de strook van enkele meters breedte langs de kolkwand en langs de opstel- en wachtplaatsen. Die ruimte moet vrijblijven om:

- trossen op bolders te kunnen gooien (en er weer af);
- langs de kolk te kunnen lopen (schippers, sluispersoneel);
- beschadiging of beknelling (personen!) door overstekende delen van schepen te voorkomen.

Uiteraard moet voor de ladders in de kolkwand een uitzondering worden gemaakt. Hierbij wordt aangekend dat bij de vormgeving van de bovenzijde van de ladder wel degelijk met bovenstaande eis (strook vrijhouden) rekening wordt gehouden.

In par. 17.7.2 wordt een overzicht gegeven van de zaken die op sluizen voor de beroepsvaart worden aangetroffen. Ze zijn in twee groepen te verdelen:

- zaken nodig voor de veiligheid;
- overige zaken.

Par. 17.7.3 noemt enkele zaken die bij een recreatiesluis wezenlijk anders zijn dan bij een sluis voor uitsluitend beroepsvaart.

17.7.2 Voorzieningen voor de beroepsvaart

De volgende voorzieningen zijn nodig voor de veiligheid. Vaak zijn ze ook nuttig voor gewoon dagelijks gebruik en moeten daartegen bestand zijn.

Ladders en trappen

Op regelmatige afstanden van maximaal 30 m (zie ook Lit. [17.1]) moeten in de kolkwand ladders geïntegreerd worden, niet alleen om van en aan boord te kunnen gaan, maar ook om te zorgen dat drenkelingen uit het water kunnen komen. Er zijn ladders of trappen nodig om kelders, schachten, sluisriolen, rioolschuiven en eventueel roldeurkassen in het sluiscomplex te kunnen inspecteren en te onderhouden.

Bij niveauverschillen tussen het sluisplateau en een sluishoofd, of (onderdelen van) de remmingwerken kan men beter een trap of een hellend vlak toepassen (zie Bouwvoorschriften voor trappen).

De ladders in de kolkwanden en de benodigde schachten hebben een niet te verwaarlozen invloed op het voorontwerp.

Voetbruggen

Bruggen voor fietsers of grotere voertuigen worden niet tot het sluismeubilair gerekend, in tegenstelling tot de eventuele *kleine* voetbruggen die voetgangers toegang verschaffen tot aanlegplaatsen in de voorhavens. Ook een beloopbaar pad met leuning (voetbrug) over de sluisdeuren heeft zowel een veiligheidsfunctie als een gewone gebruiksfunctie. Deze bruggen hebben weinig invloed op het voorontwerp.

Hekken

Sluizen trekken vaak publiek (zie par. 2.6.3). Voor de veiligheid van het publiek is het gewenst een hek te plaatsen op een paar meter vanaf de kolkwand, enerzijds om te voorkomen dat iemand in het water valt, anderzijds om hinder bij het schutten te voorkomen (trosbehandeling, zicht van sluispersoneel).

De hekken mogen geen belemmering vormen voor hulpverlening bij brand of ongevallen. Ze hebben meestal geen invloed op het voorontwerp.

Kasten met reddingsmiddelen of brandblussers

Op het sluisplateau en bij de wacht- en opstelplaatsen moeten reddingsmiddelen beschikbaar zijn om een drenkeling hulp te kunnen bieden. Daarbij speelt een rol of het een groot-verval sluis is, of een sluis met klein verval. Kasten met reddingsmiddelen moeten op het sluisplateau staan, *op enkele meters van de rand* om te voorkomen dat ze het normale sluisbedrijf hinderen. Ze moeten wel opvallen! Ze hebben geen invloed op het voorontwerp.

Voorts zijn er op het sluisplateau (en bij de wachtplaatsen/opstelplaatsen) nog de volgende voorzieningen nodig, die niet primair voor de veiligheid dienen:

Containers voor afgifte van enkele soorten afval

Schippers moeten op de sluizen zowel huishoudelijk afval als bedrijfsafval (veelal van machinekamer-onderhoud, dus vetten, olie etc.) kunnen deponeren in geschikte containers (Milieuwetgeving). Omdat het afgeven vaak moet plaatsvinden tijdens het schutten is er geen tijd om lange afstanden met het vuilnis te lopen. Bij grote sluiscomplexen moeten dus op verschillende plaatsen containers staan. De containers moeten met vrachtwagens kunnen worden opgehaald. Deze voorziening heeft geen invloed op het voorontwerp.

Telefoon

De behoefte aan telefooncellen op een schutsluis neemt snel af doordat zeer veel schepen telefoon aan boord hebben. Aan de plaats van een eventuele cel worden geen andere eisen gesteld dan dat hij voor de gebruikers goed zichtbaar en bereikbaar moet zijn en niet in de weg mag staan voor de overige functies.

Palen voor licht, camera's

Zie par. 17.2.2 en 17.2.3. Meestal geen invloed op het voorontwerp.

Praatpalen

Zie par. 17.2.4. Meestal geen invloed op het voorontwerp.

Referenties:

- par. 2.4.12 en 2.4.13 (Programma van Eisen)
- Lit. [17.1] CVB Richtlijnen, par. 4.2.3
- Lit. [17.5] PIANC sluizen rapport, blz. 201

17.7.3 Voorzieningen voor de recreatievaart

De meeste voorzieningen die in de vorige paragrafen genoemd zijn, zijn bij een recreatiesluis ook nodig, meestal in een vereenvoudigde uitvoering omdat de sluizen kleiner zijn. De verschillen tussen sluizen voor de beroepsvaart en die voor de recreatievaart betreffen vooral de vastmaakmiddelen (bolders etc.) en de fendering.

De vastmaakmiddelen (haalkommen, meerpennen, verticale buizen etc.) zijn kleinschaliger met kleine verticale en horizontale tussenafstanden. De kolkwanden worden 'vriendelijk' uitgevoerd, dat wil zeggen of in beton (of baksteen) uitgevoerd of damwanden met veel gordingen. Ook de remmingwerken en fuiken zijn kleinschaliger.

Referentie:

- Lit. [17.1] CVB richtlijnen, par. 4.3.3
- Pictogrammen voor de recreatievaart, Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer, Februari 1998, Rotterdam

Literatuur:

Algemeen

- [17.1] 'Richtlijnen Vaarwegen, Richtlijnen voor afmetingen en vormgeving van vaarwegen voor beroepsvaart en recreatievaart', Deel I, Commissie Vaarweg-Beheerders (CVB), juni 1996, Rotterdam.
- [17.2] 'Richtlijnen Vaarwegen, Richtlijnen voor bediening van kunstwerken', Deel II, Commissie Vaarweg-Beheerders (CVB), juni 1996, Rotterdam.
- [17.3] 'Richtlijnen Scheepvaarttekens', Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer, 1999, Rotterdam.
- [17.4] Binnenvaart Politie-Reglement (BPR) en Rijnvaart Politie-Reglement (RPR), uitgave SDU.
- [17.5] 'Final Report of the International Commission for the study of locks', PIANC, supplement to bulletin n° 55, 1986
- [17.6] 'Afweging plaatsing aanvaarconstructies', Rijkswaterstaat Directie Bruggen, G.J.M. Hertogh, juni 1984
- [17.7] PIANC bulletin no 52, 1986; Artikelen over sluizen voor recreatievaart.
- [17.8] 'Ijsbestrijding Kunstwerken', Rijkswaterstaat Bouwdienst, projectgroep SVV/22, rapport kenmerk UK-N-95.018, mei 1995.
- [17.9] 'Richtlinien Schleusen- und Vorhafenbeleuchtung', Duitse normen, nr DIN 67500, maart 1973.
- [17.10] 'Variantennota Tweede Sluis Lith', Rijkswaterstaat, Bouwdienst, doc. nr.: MMLTBD-X-94001, 30-05-1994.
- [17.11] 'Ontwerpnota Sluis Schijndel, Civiel werk schutsluis en doorlaatwerk inclusief de aanvulling', doc.nr. PTSCH-N-94007', Rijkswaterstaat, Bouwdienst, november 1990.
- [17.12] 'Binnenvaarthavens; Inventarisatie van inrichtingsaspecten', KSV Schuttevaer, januari 1996.

Bolders en belastingen

- [17.13] Partenscky, H.W., 'Ausrüstungselemente von Binnenschiffs-Schleusen, Messung und konstruktive Ausbildung', Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, Heft 66, Hannover 1988
(bolders, geleidewerken, fendering, opvangconstructies, inclusief berekeningsmethoden)
- [17.14] Cabelka, J., 'Modern equipment of locks', Paper S.I-1 of PIANC congress 1977, Leningrad.
- [17.15] 'Troskrachtcriteria van schutsluizen', Verslag onderzoek Q 1443, Waterloopkundig Laboratorium, november 1994
- [17.16] 'Troskrachtcriteria van zeeschepen in sluizen', Verslag onderzoek R 673-I, Waterloopkundig Laboratorium, november 1974

Voorzieningen voor de recreatievaart

- [17.17] 'Pleziervaart en Verkeerskunde', Symposium Utrecht, KIVI en RWS Dienst Verkeerskunde, oktober 1978
- [17.18] 'Richtlijnen voor de afmetingen en vormgeving van vaarwegen en bruggen voor de recreatievaart', CVB, juni 1990

Stroom in voorhavens

- [17.19] Drewes, U., 'Schiffahrtsbeeinflussung durch Querströmungen infolge ...', Zeitschrift für Binnenschifffahrt, nr 19, Oktober 1994, (met literatuurverwijzingen)
- [17.20] 'Aflaatwerk en gemaal te Oosterhout', Verslag bureaustudie Q 1952 (o.a. betreffende stroombeelden voorhaven sluis), Waterloopkundig Laboratorium, januari 1995
- [17.21] 'Afvoerleiding voorhaven Den Oever, stroombeelden bij uitmonding', Verslag bureaustudie Q 1817, Waterloopkundig Laboratorium, Oktober 1994
- [17.22] 'Nieuw gemaal bij de sluis Dorkwerd bij Groningen, stroombeeld, hinder voor de scheepvaart', Verslag onderzoek Q 1157, Waterloopkundig Laboratorium, September 1990
- [17.23] 'Sluizen A, B en C in de Zuid-Willemsvaart, Waterloopkundige en scheepvaartkundige aspecten', Verslag vooronderzoek R 2065, Waterloopkundig Laboratorium, september 1985
- [17.24] 'Nautische aspecten gemaal Maasbracht', Verslag vooronderzoek R 1329, Waterloopkundig Laboratorium, januari 1982
- [17.25] 'Schutsluis bij Panheel, Waterloopkundige en scheepvaartkundige aspecten', Verslag vooronderzoek R 2155, deel I, Waterloopkundig Laboratorium, november 1985

- [17.26] 'Voorhavens Baalhoeksluis, Stroombeeld- en scheepvaartonderzoek', verslag modelonderzoek M 1142, Waterloopkundig Laboratorium, juni 1973
- [17.27] Dietz, J.W., 'Strömungsabweiser und/oder durchbrochene Trennmole als Mittel zur Verminderung der Querströmungen in oberen Vorhafenzufahrten am Beispiel der neuen Mainstaustufe Krotzenburg', Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, nr 43 , Karlsruhe, Dezember 1978

Wind

- [17.28] Plate, E.J., 'The aerodynamics of shelter belts', Agricultural Meteorology, 8 (1971) 203-222, Elseviers Publishing Company
- [17.29] Wieringa. J., 'Storingen in windstructuur-metingen te Cabauw ten gevolge van terreinobstakels', interne nota KNMI, november 1974
- [17.30] Korten, H. van, en Bos, C.A.M., 'Windbelasting, toelichting op de TGB 1992', Instituut TNO voor Bouwmaterialen en Bouwconstructies, 1974



Foto 18.1 Bedieningsruimte van de schutsluis naast de stormvloedkering van Krimpen aan de IJssel
(Zie ook foto 17.9)

Hoofdstuk 18 Besturing en bediening

18.1 Inleiding

Het schutproces in grote lijnen: schepen melden zich bij een sluis om te schutten. Na het invaren door het geopende sluishoofd en het afmeren in de kolk, worden de deuren van dit hoofd gesloten. Vervolgens wordt de kolk genivelleerd door het gecontroleerd heffen van de schuiven van het andere hoofd. Ten slotte worden de deuren van laatstgenoemd hoofd weer geopend en varen de schepen uit. Het sluispersoneel leidt de passage van schepen door de sluis. Voor het volgen en instrueren van de schepen zijn installaties opgesteld om de schepen te observeren en ermee te communiceren. Met bedieningscommando's van het sluispersoneel wordt de besturing van de sluis geactiveerd, waardoor de diverse sluisinstallaties (bijvoorbeeld deur- en schuifbewegingswerken) en eventueel de bruginstallatie in werking worden gezet.

Op andere tijden moet de sluis in staat zijn om hoog water te keren of water te spuien waarbij de scheepvaart wordt stilgelegd. Bovendien kunnen storingen in de installatie optreden of een calamiteit kan zich voordoen. Soms moeten meerdere sluizen van een complex op afstand vanuit een centraal punt bediend worden.

De besturing en bediening van de sluis moet erop zijn ingericht, dat al deze situaties op een adequate manier afgehandeld kunnen worden.

Dit hoofdstuk behandelt het onderwerp besturing en bediening van een schutsluis. Allereerst komt in par. 18.2 de bedrijfsvoering van de sluis aan de orde waarbij wordt ingegaan op het beheer van de sluis en de verschillende bedrijfsprocessen van een sluis (schutten, keren, spuien, etc.). Par. 18.3 gaat over de besturing en wel het ontwerp van de verschillende systemen die daarbij horen zoals de besturings-, bedienings-, meet- en registratiesystemen van de sluis. De bediening van de sluis bij de verschillende bedrijfsprocessen en de middelen die hiervoor nodig zijn, worden in par. 18.4 besproken. Tot slot volgt in par. 18.5 een korte opsomming van de elektrotechnische installaties van een schutsluis. Daarna volgt dan nog een foto-collage van bedieningsgebouwen, -lessenaars etc.

Voor het ontwerpen van het besturings- en bedieningssysteem wordt gewerkt met projectteams waarin de volgende disciplines vertegenwoordigd zijn: installatie-/elektrotechniek, werktuigbouwkunde, staalconstructie, civiele techniek, bouwkunde, hydraulica en nautiek.

Kenmerkend voor de vorm en inhoud van het hoofdstuk zijn de volgende punten:

- Alleen de grote lijnen van het onderwerp worden uiteengezet, in woorden en schema's. Details, specificaties of formules worden niet gegeven, hiervoor wordt wel naar desbetreffende literatuur verwezen. De tekst is beschrijvend en niet analyserend. Volledigheid is dus niet nagestreefd, wel worden de belangrijke zaken ten minste één keer genoemd. Vaak zijn vele oplossingen mogelijk, maar de tekst behandelt bijvoorbeeld maar een enkele oplossing.
- De opbouw is meestal zo dat van meer algemeen naar meer specifiek wordt gewerkt, al worden dus geen details genoemd.
- Het onderwerp wordt voor allen die met het ontwerp van een sluis te maken hebben zodanig gepresenteerd, dat inzicht in de materie wordt verschaft. Het is echter geen naslagwerk voor het ontwerpen van besturings- en bedieningssystemen zelf.
- Het onderwerp wordt belicht vanuit vele gezichtspunten zonder dat dit in de tekst direct aangegeven is. Op sommige plaatsen wordt getracht op de stoel van een systeemontwerper, van een installatietechnicus of van het sluispersoneel te zitten, op andere plaatsen wordt gekeken vanuit het standpunt van de beheerder, de werktuigbouwer of de hydraulicus. Besturing en bediening wordt echter niet vanuit de stuurhut van een schip bekeken.

18.2 Bedrijfsvoering

18.2.1 Eisen aan de bedrijfsvoering

In algemene zin kan gesteld worden dat de bedrijfsvoering van een sluiscomplex op basis van 4 B's geschiedt:

- **Beslissen**
Het sluispersoneel neemt een reeks van beslissingen. De beslispunten zijn bijvoorbeeld schepen toelaten, deuren sluiten, kolk nivelleren, brug openen etc. De beslispunten moeten eenduidig gedefinieerd zijn. Om de juiste beslissingen te kunnen nemen moet het sluispersoneel kunnen beschikken over voorzieningen, zoals communicatie- en visualisatiemiddelen. Tevens wordt informatie over verkeersaanbod, waterstanden, weersomstandigheden, integrale vaarwegsituatie e.d. ingewonnen.
- **Bedienen**
Het personeel brengt de beslissingen ten uitvoer door bediening van de installaties via de knoppen (op panelen of een beeldscherm). De bediening wordt centraal uitgevoerd zodat vanuit één plaats en (zo mogelijk) door één persoon alle bedieningshandelingen van beweegbare onderdelen van de sluis (zgn. sluisinstallaties) en de andere voor de bediening noodzakelijke installaties, bestuurd kunnen worden. Bij de installaties zelf moeten ook voorzieningen worden aangebracht zodat in geval van onderhoud, storingen, calamiteiten etc. deze onderdelen vanuit de nabijgelegen technische ruimten bediend kunnen worden.
- **Besturen**
Het besturingssysteem zet na bedieningscommando's de sluisinstallaties en de andere installaties van de sluis in gang.
Het besturingssysteem moet robuust (voldoende betrouwbaar, veilig en gemakkelijk te onderhouden) maar ook efficiënt (snel en doelgericht) zijn. De betrouwbaarheid betreft de kans dat de besturing ten onrechte niet werkt. Bij veiligheid gaat het erom dat onder alle omstandigheden de situatie in de sluis veilig en beheersbaar is. Hetzelfde geldt voor de bijkomende onderdelen.
- **Beheren**
Het beheer van een sluis wordt uitgevoerd met een bepaald doel, zoals het schutten van schepen, het keren of spuien van water of het bedienen van de brug. Het beheer dient zodanig te worden ingericht dat er onder alle omstandigheden en gedurende de gehele levensduur van de sluis aan alle behoeften tot beslissen, bedienen en besturen wordt voldaan.

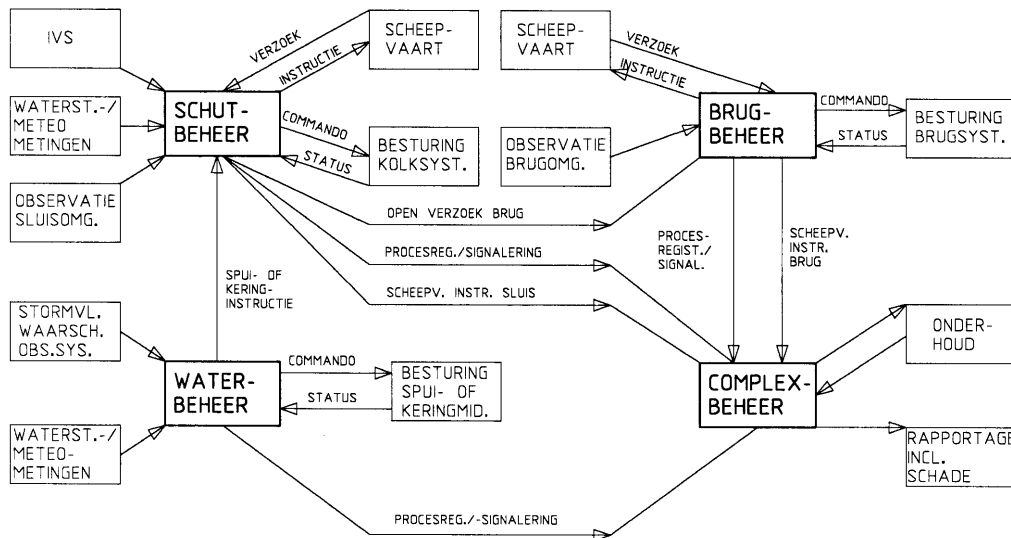
De bedrijfsvoering is de concrete uitwerking van hiervoor genoemde punten en kan gezien worden als het beheer van de sluis of als het sturen van een reeks bedrijfsprocessen. Als toelichting wordt in de volgende subparagraaf als eerste een aanpak volgens het beheer behandeld. De daarna volgende subparagrafen gaan uit van de bedrijfsprocessen van het sluisbedrijf.

18.2.2 Beheer van de sluis

Het beheer van een sluis kan worden gekoppeld aan een bepaald deel van de sluis dat een taak volbrengt of een doel nastreeft. Deze taken of doelstellingen kunnen in de tijd gezien parallel lopen en aan een of meerdere personen op de sluis of bij automatisering aan de besturing worden toevertrouwd.

We onderscheiden vier onderdelen van het beheer (zie fig. 18.1):

- **Schutbeheer**
Het schutbeheer zorgt ervoor dat schepen de sluis kunnen passeren bij waterstanden tussen de maximum-en minimum-schutpeilen in. Aan de hand van informatie van schepen die zich hebben aangemeld, waterstanden, weersomstandigheden en observaties van de sluisomgeving, worden de sluisinstallaties (deur- en schuifbewegingswerken en beseining) bestuurd en de schepen geïnstrueerd.
Vanwege het waterbeheer kan een verzoek tot beperkt schutten of stremming worden gegeven.



Figuur 18.1 Beheer van de sluis (opm. IVS is scheepsregistratiesysteem)

- **Waterbeheer**

Het waterbeheer ziet er onder meer op toe dat wanneer de waterstanden zich buiten de normale schutpeilen bevinden, de sluis als keermiddel gebruikt wordt. Met informatie van stormvloed-waarschuwingsdiensten, gemeten waterstanden, een beslismodel e.d. worden de betreffende sluisdeuren na bedieningscommando's door de besturing in kerende positie gebracht.

In tijden van waterbehoefte of -overschot kan de sluis als spuumiddel dienen. Na verzoeken van beheerders, opdrachten uit een operationeel beheerssysteem e.d. worden de daarvoor bestemde schuiven in de sluis na bedieningscommando's door de besturing geheven zodat gespuid wordt. In beide gevallen wordt de sluis gestremd, wat ingrijpt in het schutbeheer.

Het waterbeheer let verder op de kwaliteits- en kwantiteitsaspecten van het water (schutverliezen, besmetting met zoutwater etc.).

- **Brugbeheer**

Het brugbeheer zorgt er voor dat de brug geopend wordt voor schepen met een (te) hoge opbouw of lading. Na bedieningsverzoeken vanuit het schutbeheer en het scheepvaartverkeer en observaties van de brugomgeving worden de bruginstallaties (bewegingswerk, seinen, slagbomen) bestuurd, de brug geopend en de schepen geïnstrueerd. Raakvlak is hierbij de afwikkeling van het landverkeer. Dit geldt alleen indien sprake is van een brug die aan het sluisbeheer gekoppeld is.

- **Complexbeheer**

Van complexbeheer is sprake in geval van storingen, onderhoud, aanvaringen, calamiteiten e.d. Het beheer let erop dat maatregelen worden genomen voor een adequate afhandeling. Bedrijfsinformatie wordt ontvangen uit het schut-, water- en brugbeheer. Op verzoek van derden worden rapportages verzorgd over de algemene gang van zaken, schadegevallen, onderhoud etc. De overige, normale zaken die niet direct het schut-, water- en brugbeheer betreffen, worden eveneens door het complexbeheer verzorgd.

18.2.3 Overzicht bedrijfsprocessen

Voor de bedrijfsvoering van de sluis in directe zin wordt het in de vorige paragraaf genoemde beheer van de sluis vertaald in zogenaamde bedrijfsprocessen. Een bedrijfsproces beschrijft een bepaalde toestand waarin de sluis kan verkeren.

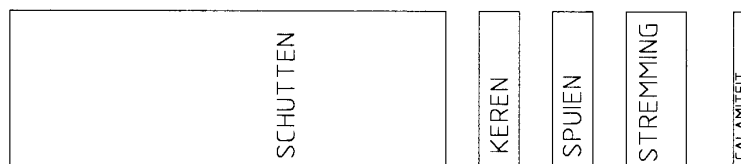
De sluis kan in een toestand verkeren die gekoppeld is aan een (overeenkomstig) bedrijfsproces. Er kan steeds maar één bedrijfsproces (of toestand) tegelijk optreden. Het geheel van bedrijfsprocessen dekt alle toestanden waarin de sluis kan verkeren. De bedrijfsprocessen worden door de bediening en besturing gerealiseerd. Een bedrijfsproces kan wel één of meerdere onderdelen van het beheer (dus bijvoorbeeld schut- en brugbeheer) tegelijk omvatten.

De volgende bedrijfsprocessen zijn (onder meer) mogelijk:

- **Schutten**
Het schutten van schepen waarbij de waterstanden tussen het maximum- en het minimum-schutpeil liggen. De brugbediening kan inbegrepen zijn (als dit proces direct gekoppeld is aan het schutproces)
- **Keren**
De waterstand van een pand is hoger dan het maximum-of lager dan het minimum-schutpeil. De deuren worden in een veilige, gesloten stand gehouden. Eventuele extra maatregelen worden genomen (bijvoorbeeld stormvloeddeuren gesloten houden of getrapt keren).
- **Spuien**
Uit het oogpunt van waterbeheer wordt water via de nivelleeropeningen van de schutsluis gespuid (of ingelaten). Daarbij is het scheepvaartverkeer gestremd.
- **Stremming**
Stremming treedt op als de sluis niet bediend wordt en de deuren in een veilige, gesloten stand gehouden worden. De oorzaken van het niet bedienen kunnen zijn dat er een storm woedt of dichte mist is, de sluis in onderhoud is, een storing in een van de installaties is opgetreden of een ongeval heeft plaatsgevonden. Bij een hoogwatergolf op de rivier worden veelal alle deuren van de sluizen naast de stuwen in de rivier geopend.
- **Calamiteit**
Een noodsituatie treedt meestal plotseling op. Via het besturingssysteem of via een bedieningscommando worden de sluis- of andere installaties naar een veilige stand gebracht. Bijvoorbeeld: dreigt een schip tijdens het nivelleren zijn trossen niet los te krijgen dan worden met de noodknop de schuiven gesloten, bij een steen voor de drempel met overbelasting van het deurbewegingswerk stopt de besturing de deurbeweging etc.

Veiligheidsmaatregelen moeten genomen worden tegen een ongewenste overgang van het ene naar het andere bedrijfsproces door het inbouwen van vergrendelingen.

Daarnaast zijn bij sommige sluizen nog andere bedrijfsprocessen mogelijk zoals het schutten van ijs, het getrapt keren bij stormsituaties, de brug open houden voor onderhoud, het doorgang verlenen aan schepen bij een sluis die meestal open staat (tenzij de sluis dicht moet vanuit waterbeheer), het functioneren van het zout/zoetscheidingssysteem als bijzonder onderdeel van schutten (nivelleren en uitwisselen) etc.



Figuur 18.2 Percentage in tijd van de verschillende bedrijfsprocessen

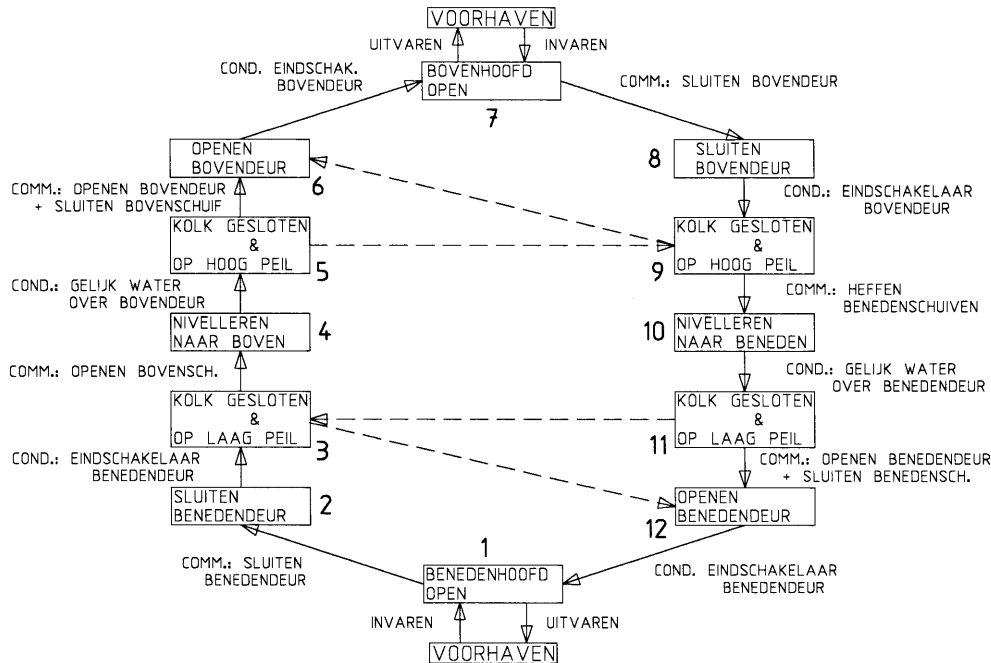
Het percentage van de tijd dat de bedrijfsprocessen keren, spuien, stremming en calamiteit optreden mag slechts gering zijn in vergelijking met de tijd voor het bedrijfsproces schutten, wanneer wordt afgezien van stremming buiten de gebruikelijke bedieningstijden. Er zijn sluizen die meestal open staan en alleen in bijzondere gevallen schutten.

18.2.4 Bedrijfsproces schutten

In dit voorbeeld is de bediening en besturing van de sluis in de eerste plaats afgestemd op het normale schutproces. Een volledige schutcyclus bestaat uit een serie toestanden die de sluis achtereenvolgens doorloopt. Deze toestanden zijn voor de sluisinstallaties (deuren en schuiven) afwisselend toestanden in rust en in beweging. De overgang van de ene naar de andere toestand wordt bewerkstelligd door het geven van een bedieningscommando, door het passeren van een eindschakelaar of door het bereiken van gelijkwater over de deur.

(Opm. Bij nivelleersystemen die niet met schuiven werken maar bijvoorbeeld door het langzaam trekken van de (hef)deur of door het opendraaien van vlinderkleppen, moet het woord 'schuiven' vervangen worden door 'het betreffende nivelleermiddel').

We gebruiken het volgende toestandsdiagram voor het bedrijfsproces schutten:



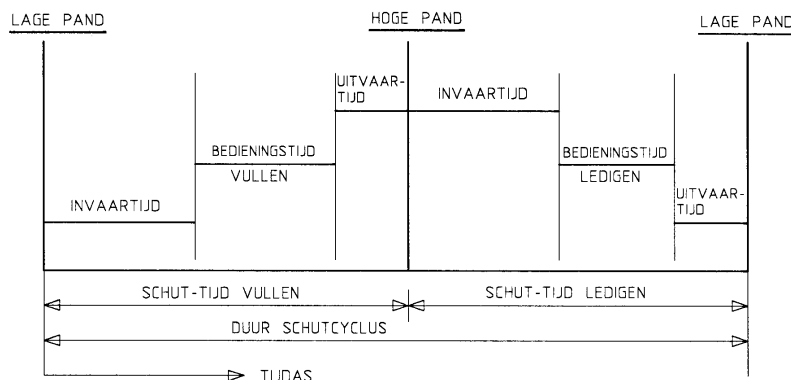
Figuur 18.3 Toestandsdiagram van het bedrijfsproces schutten (opm. COMM. is commando, COND. is conditie)

De volgende stappen worden door de sluis doorlopen:

- 1 Benedendeuren geopend, schepen ontmeren en varen uit de sluis kolk naar het benedenpand, schepen varen de sluis kolk in vanuit het benedenpand en meren af.
- 2 Sluiten benedendeuren.
- 3 Alle deuren dicht, kolk op laag peil.
- 4 Heffen bovenschuiven, vullen kolk, schepen regelen hun trossen bij.
- 5 Alle deuren dicht, kolk op hoog peil.
- 6 Openen bovendeuren, zakken bovenschuiven.
- 7 Bovendeuren geopend, schepen ontmeren en varen uit naar het bovenpand, schepen varen de sluis kolk in vanuit het bovenpand en meren af.
- 8 Sluiten bovendeuren.
- 9 Alle deuren dicht, kolk op hoog peil.
- 10 Heffen benedenschuiven, ledigen kolk, schepen regelen hun trossen bij.
- 11 Alle deuren dicht, kolk op laag peil.
- 12 Openen benedendeuren, zakken benedenschuiven.

De sluisbediening is er op gericht deze acties achtereenvolgens uit te voeren. In plaats van de gehele cyclus te doorlopen kan om redenen van scheepsaanbod hiervan worden afgeweken. Mogelijkheden zijn 11⇒3, 5⇒9, 9⇒6 en 3⇒12.

Een volledige schutcyclus omvat dus zes toestanden van beweging voor de sluisinstallaties (2, 4, 6, 8, 10 en 12) en zes toestanden van rust voor de sluisinstallaties (1, 3, 5, 7, 9 en 11). De duur van de toestanden van beweging zijn elk meestal constant maar die van rust kunnen sterk variëren (1 en 7 hangen van het scheepsaanbod af, 3, 5, 9 en 11 kunnen nul zijn).



Figuur 18.4 Schutcyclus

De duur van een volledige schutcyclus is minimaal twee maal sluiten en openen deuren (2, 6, 8 en 12), twee maal nivelleren kolk (4 en 10 waarin twee maal heffen en zakken schuiven) en twee maal in- en uitvaren van de schepen (1 en 7). De gemiddelde schuttijd is de halve tijd voor de schutcyclus, de gemiddelde bedieningstijd is de tijd van eenmaal nivelleren (gemiddelde van vul- en ledigingstijd) plus eenmaal sluiten en openen deuren.

Voor de brugbediening worden aan de toestanden 1 en 7 aparte lussen gehangen. Voor de seinen wordt ook een dergelijk toestandsdiagram afgeleid. Voor andere bedrijfsprocessen kan bovengenoemd toestandsdiagram uitgebreid worden door aparte lussen of een stop aan te brengen.

Vanuit het bedrijfsproces schutten worden eisen gesteld aan vlotheid sluis, veiligheid schutbedrijf en niet-beschikbaarheid (zie Programma van Eisen):

- **Vlotheid sluis**
De tijd voor openen en sluiten van de deuren hangt af van de deursnelheid. De nivelleertijd hangt af van de schuifsnelheid, varieert met het initiële verval over de sluis en is te berekenen uit het hydraulisch ontwerp van de sluis. De tijd benodigd voor het in- en uitvaren van de sluis wordt voornamelijk bepaald door de geometrie van de geleidewerken, de gemiddelde scheepsbreedte ten opzichte van de sluisbreedte, de gemiddelde scheeps lengte ten opzichte van de sluislengte en hoeveel schepen zich gemiddeld per schutting aandienen. Met deze zaken kan de schutcyclustijd worden bepaald en dus de vlotheid van de sluis.
- **Veiligheid schutbedrijf**
Voldoende manoeuvreerruimte in de voorhaven en de sluis, juiste geleidewerken, windbeschutting en voldoende bolders en haalkommen, zullen het in- en uitvaren en het af- en ontmeren veilig doen verlopen. Limiteren van de troskrachten van de afgemeerde schepen als gevolg van de hydraulische verschijnselen en de verticale snelheid van het wateroppervlak (niet nodig bij drijvende bolders), zullen ook het nivelleren veilig laten plaatsvinden. Een belangrijk element is verder dat het sluispersoneel voldoende tijd en faciliteiten ter beschikking moet hebben om de scheepvaart goed te begeleiden.
- **Niet-beschikbaarheid**
De tijd dat de sluis gestremd is door storingen, calamiteiten, bedieningsfouten, onderhoud, te hoge of te lage waterstanden of te hoge windsnelheden, moet beperkt blijven. De niet-beschikbaarheid van de sluis door genoemde factoren mag normaal gesproken meestal hooguit enkele procenten van de bedrijfstijden bedragen (par. 2.4.10 en CVB), een en ander afhankelijk van de economische gevolgen en/of gewenste beschikbaarheid in relatie tot de bedieningstijd (par. 2.4.4) van het sluiscomplex.

18.2.5 Bedrijfsproces keren

Het bedrijfsproces keren (dus zonder schutten) treedt in werking indien de waterstand zich boven het maximum- of onder het minimum-schutpeil bevindt. Een waarschuwingfase kan hieraan voorafgaan. Tijdens het bedrijfsproces keren worden alle deuren in de betreffende keerrichting gesloten gehouden. Niet altijd vindt kolknivellering plaats. De kolkwaterstand wordt bijvoorbeeld op een peil gehouden tussen de waterstanden van de wederzijdse voorhavens in ("getrapt keren").

Het bedrijfsproces keren onderscheidt een aantal fasen:

- waarschuwen op basis van een voorspelling van de waterstand;
- bepalen van moment van stremming;
- sluiten van de deuren en schuiven door de sluis naar toestand 5 te brengen (zie par. 18.2.4);
- keren, alle deuren dicht)*, kolk op peil bijv. tussen wederzijdse voorhavens in (toestand 5);
- vrijgeven voor schutbedrijf door toestand 5 te verlaten.

)* Bij dubbele stellen puntdeuren òf eb- òf vloeddeuren sluiten.

Voor de waterkering wordt geëist dat de sluis betrouwbaar is. De faalkans van de sluis wordt bepaald door de volgende factoren:

- Sterkte en de stabiliteit van het sluishoofd en de (gesloten) deuren
De kans dat de sterkte en stabiliteit van het sluishoofd of de (gesloten) deuren in gevaar komt treedt op bij waterstanden die hoger zijn dan waar sluishoofd en deuren op ontworpen zijn. Daarnaast kan een gevaarlijke situatie ontstaan bij wel voorziene waterstanden, in geval van ontwerp-, materiaal- of uitvoeringsfouten. Bij negatief keren van puntdeuren is het van belang dat de vasthoudkracht in de bewegingswerken niet overschreden wordt.
- Het niet kunnen sluiten van de deuren
De kans dat de deuren niet gesloten kunnen worden, hangt hoofdzakelijk samen met de kans op een ernstige aanvaring van de deuren (1), de kans op een storing in de bewegingswerken van de deuren (2) en de kans dat een obstakel op de drempel ligt dat de deur verhindert te sluiten (3). Bij te laat sluiten van deuren (menselijk falen) van normaliter openstaande sluizen, kan in de kolk een stroming ontstaan die het sluiten van de deuren verhindert (4).

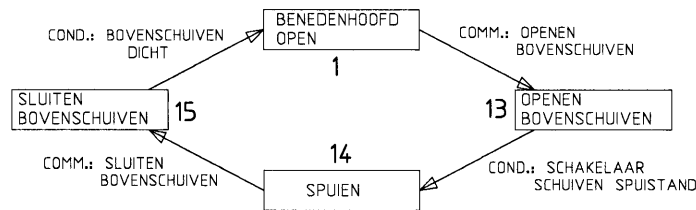
Voor de hoogwaterkering (waterstand hoger dan maximaal schutpeil) is een veel kleinere faalkans toelaatbaar dan de laagwaterkering (waterstand lager dan minimum-schutpeil).

Bij belangrijke sluizen wordt na een risico-analyse een zogenaamde ontwerpfilosofie ontwikkeld. Deze ontwerpfilosofie levert (bijvoorbeeld) voor het buiten- of bovenhoofd een faalkans op die niet meer mag zijn dan de toelaatbare faalkans. Hierbij wordt gebruik gemaakt van ongewenste topgebeurtenissen (OTG), foutenboomanalyses, overschrijdingsfrequenties van de belastingen, faalkansen van het gesloten hoofd en faalkansen betreffende het niet kunnen sluiten van de deuren. Zie ook par. 2.3.2 en 4.5.1, de TAW-Leidraad Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies en de Voorontwerpnota Zuider en Kleine Sluis IJmuiden.

18.2.6 Bedrijfsproces spuien

De overgang naar het bedrijfsproces spuien wordt gemaakt wanneer bijvoorbeeld een spuiverzoek van een beheerder ontvangen is, een afgesproken waterstand in het pand over- of onderschreden is, of wanneer een bericht binnenkomt van een OBS (Operationeel Beheer Systeem). In de regel worden voor het spuien de benedendeuren geheel geopend en de bovenschuiven geheel of gedeeltelijk geopend. Bij de overgang van het ene bedrijfsproces naar het andere moet een beveiliging ontgrendeld worden; dit is een expliciete handeling.

Voor het spuien wordt een aparte lus aan het toestandsdiagram van fig. 18.3 gehangen bij toestand 1 (benedendeuren (meestal) geopend).



Figuur 18.5 Toestandsdiagram spuien

Het bedrijfsproces spuien heeft de volgende fasen:

- Binnenkomst spuiverzoek of bereiken afgesproken waterstanden.
- Bepalen van moment van stremming en beëindigen van de schutcyclus in toestand 1 (zie fig. 18.3).
- Ontgrendeling beveiliging.
- 1 Benedendeuren geopend.
- 13 (Gedeeltelijk) openen bovenschuiven.
- 14 Spuien, bovenschuiven zijn gedeeltelijk geopend.
- 15 Sluiten bovenschuiven.
- 1 Benedendeuren geopend.
- Vrijgeven voor schutbedrijf door toestand 1 te verlaten.

De eisen die aan het spuien worden gesteld zijn dat de bodemverdediging in tact blijft en dat mogelijke hinder voor scheepvaart in de voorhaven beperkt blijft. Door gebruik te maken van de nivelleeropeningen van de bovendeur en de benedendeur geheel open te zetten kan de gehele kolk benut worden om de hoge stroomsnelheden in de stralen af te breken. Andere mogelijkheden zijn aparte spuiokers of spuien door boven- en benedendeuren in verband met gewenste watertrap in kolk.

18.2.7 Bedrijfsprocessen stremming en calamiteit

Een stremming kan optreden als gevolg van ongunstige weersomstandigheden, storing of onderhoud van de installaties of omdat het tijdstip buiten de bedieningstijden ligt (geplande stremming). Bij het bedrijfsproces stremming wordt de sluis in een veilige toestand gebracht zoals naar toestand 3, 5, 9 of 11 (zie par. 18.2.4) mits een storing dit niet verhindert.

Bij het bedrijfsproces calamiteit is het mogelijk dat de deuren tijdens hun beweging plotseling stoppen omdat gebruik is gemaakt van de noodstop of de kracht in het bewegingswerk te groot is. De oorzaak kan bijvoorbeeld zijn een steen op de drempel of een aanvaring. Om deze toestand op te heffen na het verwijderen van de steen of het schip, worden in het toestandsdiagram van fig. 18.3 extra lussen aangebracht om de deuren weer in beweging te krijgen en in hun eindstand te brengen. Bij gebruik van de noodstop, bij een (dreigend) ongeval tijdens het nivelleren waarbij de schuiven direct gesloten worden (commando sluiten schuiven), wordt dit op soortgelijke wijze afgehandeld.

Hoe met een calamiteit wordt omgegaan en wat daarvoor nodig is (bijvoorbeeld noodstop), hangt af van wat de beheerder verlangt. Een standaardoplossing is daarom niet te geven. De ene beheerder legt de nadruk op de eigen verantwoordelijkheid van de schipper, terwijl de ander meer RWS-toezicht nodig acht.

18.3 Besturing

18.3.1 Besturing met de installaties

De besturing van een sluis bestaat meestal uit vier afzonderlijke systemen die samen de besturingsinstallatie vormen:

- a **Besturingssysteem** (het hart van de besturingsinstallatie, dat de installaties op een voorgeschreven wijze in werking zet).
- b **Bedieningssysteem** (geeft commando's door aan het besturingssysteem).
- c **Meetsysteem** (meet o.m. de waterstanden).
- d **Registratiesysteem** (maakt o.m. status- en storingsmeldingen zichtbaar en slaat data op).

Op deze systemen zijn variaties mogelijk.

In sommige gevallen wordt het besturingssysteem gesplitst in een regelsysteem (voor bewegende onderdelen) en een utiliteits- of exploitatiesysteem (voor de statische installaties).

Het meetsysteem kan bij gecompliceerde situaties worden uitgebreid met een informatiesysteem (voor uitwerking van de meetgegevens) en eventueel ook een beslissingsondersteunend systeem (voor regeling van een heel gebied voor spuien of keren, de zogenaamde integrale regeling).

Het registratiesysteem wordt ook wel het storings-/verslagleggingssysteem genoemd.

Het besturingssysteem is verbonden met de volgende installaties (voornaamste):

- Sluisinstallaties (bewegingswerken deuren en schuiven);
- Bruginstallaties (eventueel);
- Meetinstallaties;
- Communicatie-, visualisatie- en seininstallaties;
- Energievoorzieningen (incl. noodstroom bij stroomuitval);
- Gebouwinstallaties.

Alle installaties worden elektrisch bestuurd en gevoed (behalve voeding noodstroomvoorziening met dieselaggregaat, verwarming soms met gas).

18.3.2 Eisen aan besturing

De besturing moet robuust (betrouwbaar en veilig), efficiënt (snel en doelgericht) en onderhoudsarm uitgevoerd zijn:

- De besturing moet betrouwbaar zijn zodat de kans op niet-functioneren minimaal is.
- Bij veiligheid gaat het erom dat de besturing ervoor zorgt dat onder alle omstandigheden de situatie in de sluis en met zijn onderdelen veilig en beheersbaar is. Eventuele verkeerde instellingen, foute commando's of overschrijding van toelaatbare waarden worden door de besturing gemeld en (eventueel) zelf gecorrigeerd. (Opm. Zo is altijd tenminste één stel deuren van de sluis gesloten. In een getijdegebied wordt het omkeren van het verval over de sluis bij enkelkerende puntdeuren door de besturing al geruime tijd vooraf gemeld, het zgn. vierkant sluiten, zodat met dubbele stellen deuren gewerkt wordt.
- De besturing moet alle gegeven commando's vlot en in de juiste volgorde afhandelen.
- De besturing moet efficiënt zijn waarbij alleen de voor het commando noodzakelijke handelingen of controles worden uitgevoerd.
- Kritieke onderdelen van de besturing moeten snel gerepareerd of vervangen kunnen worden.

Verder moet de besturing flexibel zijn. Bij uitbreiding of wijziging van de functionaliteit van de sluis (bijvoorbeeld nieuwe spuiopeningen of nieuw zoutbestrijdingssysteem) en bij vernieuwing van de sluisinstallaties (bijvoorbeeld nieuwe bewegingswerken, beseining, besturings- en bedieningssysteem, etc.) moet dit bij de gekozen opzet van de besturing ook mogelijk zijn. Vaak wordt het als modulair systeem uitgevoerd om meer flexibiliteit te hebben. Vaak zal dit niet de goedkoopste oplossing zijn.

18.3.3 Regelparameters hydraulisch proces

Aan de hand van het Programma van Eisen (hoofdstuk 2) wordt het ontwerp van de sluis ontwikkeld. Het programma van eisen omvat onder meer de randvoorwaarden (waterstanden en lokale situatie), de functionele eisen (wat moet de sluis kunnen) en de gebruikseisen (hoe moet met de sluis omgegaan worden) en de eventuele ontwerpbeperkingen. De in het Programma van Eisen gestelde sluis- en scheepsafmetingen, de hydraulische en nautische randvoorwaarden en de gevraagde schutcyclustijd bepalen het ontwerp en de besturing van de bewegende elementen van de sluis: de deuren en schuiven met de hieraan gekoppelde bewegingswerken.

Toelichting op enkele punten:

- **Deurtype**
Welk deurtype wordt gekozen hangt vooral af van de kolkbreedte (smal naar breed: enkele draaideur, puntdeuren en roldeur). De hefdeur wordt hier buiten beschouwing gelaten omdat deze weinig voor nieuwe sluizen wordt toegepast. Dit heeft te maken met de sterkte en stijfheid van het deurtype, met de krachtsoverdracht naar het hoofd en met de deurbeweging. De door de deurbeweging opgewekte golven met hinder voor de gemeerd liggende schepen, neemt relatief gezien af in de reeks enkele draaideur, puntdeur en roldeur.
Verder speelt in de keuze van het deurtype mee of de sluis een- of tweezijdig kerend is, welke ruimte beschikbaar is voor de deuren en de financieel-economische afweging (open deur).
- **Dimensionering deur**
De dimensionering van de deuren wordt bepaald door het maximaal te keren verval over de deur, de sluisbreedte, het deurtype en de desbetreffende deurbeweging.
- **Kracht in bewegingswerktuig deur en deursnelheid**
De kracht in het bewegingswerktuig wordt door het water opgewekt en hoort bij de deursnelheid en het deurtype en of de deur negatief moet keren of in stromend water moet sluiten. De deursnelheid volgt verder uit het feit hoeveel hinder deze snelheid door de opgewekte golven oplevert voor in de kolk afgemeerde schepen. Bij het dubbelkerend zijn van puntdeuren speelt bovendien de grootte van het negatieve verval een rol in de kracht in het bewegingswerktuig.
- **Nivelleersysteem**
Welk nivelleersysteem toegepast kan worden hangt vooral af van de gevraagde nivelleertijd en het verval over de sluis.
- **Afmetingen nivelleeropeningen en hefsnelheid schuiven**
De afmetingen van de nivelleeropeningen en de hefsnelheid van de schuiven worden bepaald door het verval over de sluis, de afmetingen van de sluis, het maatgevende schip en de krachten op dit schip.

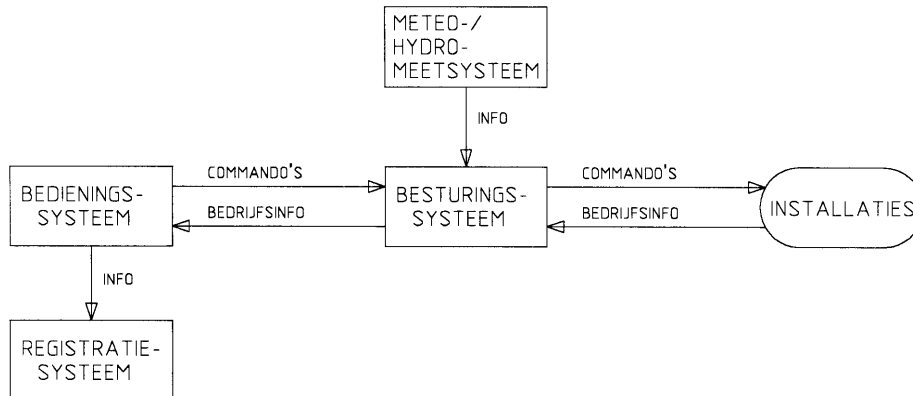
Samengevat ziet de volgorde er aldus uit. Uit de sluisbreedte volgt het deurtype. De kerende functie van de sluis (bedrijfsproces Keren) bepaalt hoe zwaar de deuren uitgevoerd moeten worden. Uit hoofde van de functie van het schutten van de sluis (bedrijfsproces Schutten) volgen de deursnelheid, de afmetingen van de nivelleeropeningen en de schuifsnelheid.

De regelparameters van de besturing van het hydraulische proces zijn de deursnelheid en de schuifsnelheid, volgend uit het hydraulisch ontwerp van de sluis en behorend bij het bedrijfsproces Schutten. Voor sluizen met beperkte, vaste vervallen hebben deze regelparameters een enkele, vaste waarde. Bij een grote variatie in vervallen over de sluis, bij een groot verval over de sluis of bij een bijzonder vulsysteem kunnen de regelparameters diverse waarden aannemen. Deze kunnen vooraf zijn vastgelegd (bijvoorbeeld als functie van waterstanden en in tabelvorm) of worden momentaan berekend.

Voor zout/zoetscheidingssystemen zijn de sluisinstallaties uitgebreider wanneer tevens gebruik gemaakt wordt van wand- en rioolschuiven. Deze behoeven meerdere, instelbare regelparameters die op hun beurt door middel van tabellen of momentane berekeningen (dus tijdens het proces) ingevoerd worden; zie hoofdstuk 21 "Zout/zoetscheidingssystemen".

18.3.4 Schema besturing

De besturing heeft het schema van fig. 18.6:



Figuur 18.6 Schema besturing

Vanaf het meetsysteem gaat meetinformatie van (onder meer) waterstanden naar het besturingssysteem. Vanuit de installaties komt bedrijfsinformatie (meetwaarden en status-, storing- en alarmmeldingen van de installaties) naar het besturingssysteem. Vanuit het bedieningssysteem worden bedieningscommando's gegeven naar het besturingssysteem. Op grond van de meet- en bedrijfsinformatie verwerkt het besturingssysteem de bedieningscommando's tot besturingscommando's die naar de installaties gezonden worden. De meet- en bedrijfsinformatie gaat ook terug naar het bedieningssysteem waar dit zichtbaar gemaakt wordt (en bij storingen soms hoorbaar gemaakt wordt). In het registratiesysteem wordt informatie uit het meet-, bedienings- en besturingssysteem alsmede de bedrijfsinformatie van de installaties opgeslagen. In het besturingssysteem kan een rekenprogramma opgenomen zijn voor de hydraulische procesbesturing.

Voor de sluisinstallaties (deur- en schuifbewegingswerken) geldt het volgende. Door een commando van het bedieningssysteem wordt het besturingssysteem geactiveerd. Afhankelijk van de gemeten waterstanden en de toestand van alle installaties (incl. de sluisinstallaties) wordt de gevraagde sluisinstallatie in gang gezet. Tijdens de beweging wordt voortdurend de staat van de installaties teruggekoppeld naar het besturingssysteem en wordt ten slotte de in beweging zijnde sluisinstallatie door het besturingssysteem gestopt.

De voorwaarden die de sluisinstallatie tot starten of stoppen brengen, zijn in het besturingssysteem opgenomen (bijvoorbeeld met start deur met start openen bij gelijkwater of stop openen door passeren van eindschakelaar of overbelasting). Hoe de sluisinstallaties bewegen is afhankelijk van de regelparameters (deur- of schuifsnellheid) hiervan die eveneens in het besturingssysteem zijn opgenomen. Deze regelparameters kunnen een vaste waarde hebben, opgenomen zijn als vaste tabel, afhankelijk zijn van de gemeten waterstanden of momentaan door een rekenprogramma bepaald worden.

Ook voor de overige installaties geldt in principe bovenstaand schema. Het activeren van de beweegbare brug staat echter los van de toestand van de sluisinstallaties en de gemeten waterstanden. De overige installaties (beseining, meetinstallatie, communicatie- en visualisatiemiddelen, energievoorziening e.d.) kunnen alleen worden aan-, uit- of stand-by gezet. Voor een aantal geldt dit slechts als aan bepaalde voorwaarden voldaan is (bijvoorbeeld seinbeeld afhankelijk van deurposities). De noodstroomvoorziening wordt automatisch ingeschakeld bij uitvallen van het openbaar net.

Als voorbeelden van beveiligingen kunnen genoemd worden:

- Sluisdeuren van bovenhoofd en benedenhoofd kunnen niet gelijktijdig geopend worden; hetzelfde geldt voor deurschuiven van bovenhoofd en benedenhoofd.
- Sluisdeuren van bovenhoofd en deurschuiven van benedenhoofd kunnen niet gelijktijdig geopend worden; evenzo sluisdeuren van benedenhoofd en deurschuiven van bovenhoofd, tenzij spuien is toegestaan.

- Sluisdeuren kunnen alleen geopend worden met een verval van (bijvoorbeeld) maximaal 0,10 m.
- Scheepvaartseinen kunnen alleen op groen staan bij geheel geopende deuren.
- Bij spanningsuitval of noodstops worden de installaties naar een veilige stand gestuurd. Bij stroomhervatting moet een nieuwe startcommando worden gegeven.
- Bij overschrijding van een maximum-kracht in een bewegingswerk van de deur of de schuif stopt deze direct.
- Bij stroomuitval van het net wordt direct overgeschakeld op noodstroom, wordt de generator gestart en worden de sluisinstallaties naar een veilige stand gestuurd.

Veilige toestand situaties zijn bijvoorbeeld na bedienen van de noodstop het direct stoppen van de deur-beweging, het sluiten van alle schuiven en het op rood springen van alle scheepvaartseinen.

18.3.5 Niveaus besturing

De installaties van de sluizen kunnen op verschillende niveaus bestuurd worden.

Tegenwoordig worden sluizen in principe steeds centraal bestuurd en bediend. Afhankelijk van het gegeven commando en de regelparameters, worden een of meerdere sluis- en andere installaties bestuurd met behulp van het (centraal) besturingssysteem. De commando's kunnen gegeven worden vanuit de centrale bedieningsruimte maar ook door het onderhoudspersoneel vanuit een technische ruimte van de sluis. Door dit centrale besturingssysteem vindt het schutproces in de sluis op een veilige manier plaats en zijn alle installaties beveiligd tegen storingen. Als niettemin een onveilige situatie in de sluis ontstaat (deur openen bij ongelijk waterniveau, een te snelle stijging van de kolkwaterstand) of er treedt een storing op die de goede werking tegengaat (steen voor drempel bij sluiten deuren), dan brengt het besturingssysteem de installaties terug in een veilige uitgangspositie. Uiteraard kan het centrale besturingssysteem geen fouten voorkomen door een verkeerd afmeersysteem van een schip of bijvoorbeeld een voor de schepen te vroeg gesloten deur etc. Ook is het mogelijk dat verschillende sluiscomplexen vanuit één punt centraal bediend worden zoals bijvoorbeeld in het kader van de modernisering van de Maasroute.

Vaak zijn besturing en bediening op een lager niveau mogelijk, dat wil zeggen op lokaal niveau. Bij deze bediening kan alleen het lokale deel van de installatie bestuurd worden. Meestal is wel de gehele installaties beveiligd tegen foute commando's.

Lokale sturing kan voortkomen uit het feit dat sluizen vroeger vaak niet met een centrale bediening werden uitgerust maar met bediening vanaf de hoofden.

Tegenwoordig wordt vanwege de eis van een zo robuust mogelijk systeem het centrale besturingssysteem dikwijls opgebouwd uit een aantal subsystemen (lokale besturingssystemen) en een hoofdsysteem. De onderhoudsdienst kan dan een deel van de installatie bedienen via het lokale besturingssysteem vanaf de plaats waar dit systeem is opgesteld (technische ruimte).

Op het laagste niveau is er sprake van sturing met een direct karakter. De verschillende componenten van de installaties worden zoveel mogelijk rechtstreeks bediend zonder mogelijk ingrijpen van het centraal of lokaal besturingssysteem d.m.v. schakelaars, drukknoppen, handwielen etc. Deze bediening wordt alleen in geval van storing of nood vanuit de technische ruimte van de installatie gedaan door de onderhoudsdienst. Het is in principe mogelijk foute handelingen met sluisinstallaties te verrichten. (NB. Bij negatief kerende puntdeuren kan een zeer onveilige situatie ontstaan wanneer de rem of een andere blokkering gelicht wordt waardoor de deuren door het verval opengaan; het besturingssysteem moet dit voorkomen).

18.3.6 Hardware besturingsinstallatie

Het besturingssysteem bestuurt, regelt en controleert de sluisinstallaties in hun samenhang en wordt in gang gezet door commando's van het bedieningssysteem. Het besturingssysteem verzorgt de communicatie met de installaties en met het bedieningssysteem en draagt informatie over naar het registratiesysteem (storings- en verslaglegging).

Het meetsysteem van de sluis is bedoeld voor gegevens van het water (waterstanden, dichtheden etc.)

en het weer (wind, temperatuur etc.). Uitbreiding met een informatiesysteem of een beslisondersteunend systeem is (zoals reeds vermeld) mogelijk.

Besturings- en meetsysteem van de sluis zijn verenigd in een PLC. Een PLC (Programmable Logic Controller) is een besturingscomputer geschikt voor het verrichten van besturingen op basis van logische regels. Bij een sluis is de PLC het intelligente hart van de besturing en is uitgerust met voor de sluis geschreven software. Dikwijls zijn bij een sluis meerdere PLC's aanwezig die elk een deel van de installaties besturen waarmee een grote bedrijfszekerheid verkregen wordt.

Bij een wat grotere afstand tussen de PLC en de installaties worden RIO-units (Remote Input/Output Units) gebruikt. Een RIO-unit is een doorgeefkast met aan de ene kant de in- en uitgangssignalen van de installaties en aan de andere kant de in- en uitgangssignalen van de PLC.

De PLC's en RIO's zijn beide geschikt voor verwerking van digitale in- en uitgangssignalen, analoge in- en uitgangssignalen en pulsingangssignalen.

Het bedieningssysteem geeft de bedieningscommando's door aan het besturingssysteem. Informatie uit het meet-, bedienings- en besturingssystemen en de bedrijfsinformatie van de installaties worden verwerkt door het registratiesysteem.

Voor het bedienings- en registratiesysteem wordt tegenwoordig een SCADA (Supervisory Control and Data-Acquisition) software pakket toegepast, inclusief een bedieningspaneel met alles er op en er aan. Deze SCADA dient als user-interface van de PLC. Met de bijbehorende software kan een bedieningspaneel op een beeldscherm geprogrammeerd worden zodat met een muis of een keyboard de bedieningscommando's gegeven kunnen worden. Verder kunnen meetgegevens (bijvoorbeeld waterstanden, wind etc.) gepresenteerd, bewerkt en opgeslagen worden. Via speciale menu's kan de toestand van de installaties (bijvoorbeeld elektrische spanning en stroomsterkte, oliedruk, standen van de installaties, storingen) gepresenteerd, bewerkt en opgeslagen worden voor de onderhoudsdienst. In par. 18.4 wordt hierop verder ingegaan.

De onderdelen van de besturingsinstallatie (PLC's, RIO's en de SCADA) zijn onderling verbonden via een datatransmissienet (bijvoorbeeld glasvezelkabel). De PLC's controleren voortdurend of de glasvezelverbinding nog fysiek aanwezig is, zo niet dan wordt de installatie naar een veilige stand gestuurd.

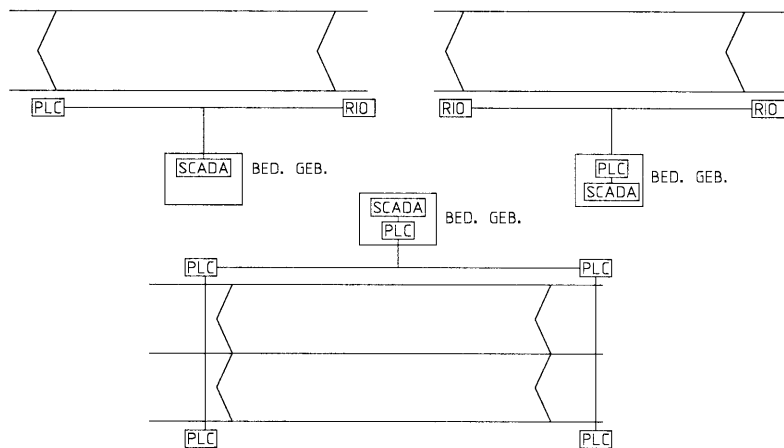
In het verleden werden bij de bouw van een sluis voor het besturingssysteem in plaats van PLC's en RIO's relaisbesturingen geïnstalleerd. Een relaisbesturing kan opgevat worden als een grote set elektrisch gestuurde schakelaars die alleen omgezet kunnen worden wanneer andere schakelaars een voorgeschreven stand hebben. Relaisbesturing komt op dit moment nog steeds veel voor. Voor het bedieningssysteem werd in plaats van een beeldscherm een bedieningstabel of -paneel toegepast. Een bedieningstabel is een geschematiseerde plattegrond van de sluis met knoppen voor de bediening van de deuren, schuiven, seinen etc. Ook deze tabellen komen nog vaak voor. De besturingssystemen hebben een economische levensduur vanwege de onderhoudsproblematiek en worden vaak vervangen door een geheel nieuwe installatie.

18.3.7 Opstelling besturingsinstallatie

De installaties van een sluis worden altijd in combinatie met elkaar bestuurd en geregeld, maar zijn op verschillende locaties opgesteld.

Een sluiscomplex bevat een aantal technische ruimtes. In de bewegingswerkkelders van de deuren zijn behalve ruimtes voor het bewegingswerk en de hydraulische unit ook ruimtes ingericht voor de elektrisch bediende verdelers en schakelaars van de zich in de buurt bevindende installaties. Vaak staat een RIO of een PLC van de besturing opgesteld. In het centrale bedieningsgebouw zijn technische ruimtes ingericht voor verdelers en schakelaars van de overige elektrische installaties en voor de SCADA van de bediening en eventueel een PLC van de besturing. In de centrale bedieningsruimte is het beeldscherm geplaatst van de bediening en verder zijn er microfoons, monitoren en knoppen van de communicatie- en visualisatiemiddelen. Aparte ruimtes voor trafo's en dieselaggregaten (noodstroomvoorziening) bevinden zich bijvoorbeeld in het bedieningsgebouw of in een apart gebouw.

Hoeveel PLC's en RIO's worden toegepast en waar deze geplaatst worden, hangt af van de grootte en de complexiteit van de sluis (sluizen) en hoe betrouwbaar het systeem moet functioneren. Hierin zijn talrijke variaties mogelijk waarbij de ontwikkeling in de verwerkingscapaciteit van computers een rol speelt.



Figuur 18.7 Opstelling besturingsinstallatie

Een opstelling is bijvoorbeeld dat in een sluishoofd een PLC staat, in het andere hoofd een RIO en in het bedieningsgebouw de SCADA. Een andere opstelling is dat in beide hoofden RIO's staan en in het bedieningsgebouw een PLC met een SCADA. Ook komt het voor dat in beide hoofden 2 autonoom werkende PLC's staan en een PLC en een SCADA in het bedieningsgebouw (Zuidersluis en Kleine Sluis IJmuiden, dus 5 PLC's voor 2 sluizen). Voordeel hiervan is dat mocht één PLC uitvallen de andere nog steeds werken terwijl de uitgevallen PLC door een nood-PLC vervangen kan worden. Bij uitbreiding van de functionaliteit van een sluis kan een PLC bijgeplaatst worden bij de bestaande relaisbesturing (Bergsediepsuis, uitbreiding met zoutbestrijdingssysteem).

18.3.8 Software besturingsinstallatie

Uit de integrale functionele analyse van het kunstwerk wordt het functionele ontwerp van de software afgeleid. In dit functionele ontwerp zijn ten minste opgenomen:

- Bedrijfsvoering met de verschillende bedrijfsprocessen en de afzonderlijke processtappen van elk bedrijfsproces.
- Functionele specificatie van:
 - besturingssysteem (besturingsniveaus, beveiligingen, storingen, foutafhandelingen, noodstops e.d.);
 - bedieningssysteem (opzet bedieningsscherm, opgave bedieningscommando's);
 - meetsysteem (opzet, verwerking en presentatie van meetsignalen);
 - registratiesysteem (opgave van te melden en weg te schrijven data en storingen).
- Grootte van hydraulische regelparameters van de besturing of rekenprogramma van hydraulisch systeem voor afleiding regelparameters.
- Opsomming van te besturen installaties met technische specificaties.
- Data-Flow Diagrams van drie besturingslevels inclusief identificatie van deelfuncties (voor modulariteit) en van data-stromen binnen het systeem:
 - (1) interacties tussen enerzijds centrale besturingsinstallatie en anderzijds de afzonderlijke installaties;
 - (2) interacties tussen besturings-, meet-, bedienings- en registratiesysteem;
 - (3) interacties tussen enerzijds besturingssysteem en anderzijds overige systemen en installaties; evenzo voor meet-, bedienings- en registratiesysteem.
- Beveiligingen van de installaties.
- Storingafhandelingen.
- Veilige toestand definities.

De systeemconfiguratie moet hierbij op hoofdlijnen bekend zijn: hardware-opbouw van de centrale besturingsinstallatie bestaande uit besturings-, meet-, bedienings- en registratiesysteem en de data-transmissie.

Aan de hand van het functioneel ontwerp wordt vervolgens het technisch ontwerp gemaakt waarin zijn opgenomen programmastructuur, stroomschema's, subprogramma's, subroutines, interne procedures, formules, in- en outputsignalen etc.

Vervolgens worden de programma's geprogrammeerd met de voor de PLC (programmeren) en SCADA (configureren) geëigende standaardsoftware-pakketten. De verschillende programma-onderdelen worden onderwijl regelmatig getest en zonodig aangepast.

Ten slotte worden de programma's (software) geïmplementeerd in de systemen. Eerst wordt elk installiedeel afzonderlijk getest en ten slotte de gehele installatie. Voor deze inregelfase is bij een uitgebreide installatie van een sluis zeker een termijn van dagen en soms van enkele weken nodig, al mogen bijstellingen en aanpassingen dan niet meer voorkomen.

Voorschriften inzake het opstellen van software:

- voorschriften systeemontwikkeling;
- handboek SDM (System Development Methodolgy;
- methodiek functionele analyse (bijv. Yourdon);
- sequents Functional Chart, IEC norm 1131;
- voorschriften voor opzetten van theoretische logica-schema's, NPR 5164.

18.4 Bediening

18.4.1 Soorten bediening

Onderscheid is te maken tussen lokale en centrale bediening:

- **Lokale bediening**
Bij lokale bediening worden de installaties vanaf de hoofden door het sluispersoneel bediend. De deuren en de schuiven worden soms nog met de hand bewogen (oude sluizen) of door een bewegingswerk aangedreven dat vanuit aparte bedieningsruimtes bij de hoofden wordt bediend.
- **Centrale bediening**
Bij centrale bediening worden de installaties vanuit één plaats bediend waarbij de deuren en schuiven (uiteraard) met een bewegingswerk zijn aangedreven. Centrale bediening kan worden opgesplitst in:
 - *Ter plaatse bediende sluis*
Met direct zicht op de kolk, de hoofden en voorhavens wordt de sluis vanuit één plaats bediend.
 - *Op afstand bediende sluis*
Vanuit een elders gelegen bedieningsgebouw worden met behulp van camera's en radar de kolk, hoofden en voorhavens geobserveerd, de schepen gedirigeerd en de installaties van de kolk bediend.
 - *Automatische sluis*
Bij een automatisch bediende sluis verlopen alle stappen in het proces geheel automatisch. Het proces start door automatische detectie van het schip of het handmatig door de schipper zelf starten van de procedure.
 - *Zelfbediende sluis*
De schippers zetten zelf en onder eigen verantwoording de sluisinstallaties ter plaatse in werking.

Lokale bediening was vroeger gebruikelijk met direct contact tussen schipper en sluispersoneel. Het vereist bij drukke sluizen veel sluismedewerkers.

Tegenwoordig wordt bij nieuwbouw of renovatie van schutsluizen uitgegaan van centrale bediening. Voor de grotere sluizen geschiedt deze bediening ter plaatse vanuit de (centrale) bedieningsruimte van het bedieningsgebouw. Dit bedieningsgebouw is bestemd voor één of meerdere ter plaatse bediende sluizen en soms ook voor één of meerdere op afstand bediende sluizen. Verder is in de centrale bedieningsruimte soms de bediening ondergebracht van nabijgelegen stuwen, spuisluizen, keringen, gemalen, bruggen e.d. Automatisch bediende sluizen of zelfbediening van sluizen is tot op heden alleen voor kleine schutsluizen met gering scheepvaartverkeer weggelegd. RWS past deze sluizen niet toe.

Doel van centrale bediening is om met zo weinig mogelijk bedienend personeel een zo goed mogelijke afwikkeling van het scheepvaartverkeer te verkrijgen. Alle benodigde informatie komt op één plaats binnen, wordt daar verwerkt en omgezet in bedieningscommando's en aanwijzingen voor de schepen. Onderlinge coördinatieproblemen worden hiermee grotendeels voorkomen. Als nadelen kunnen aangemerkt worden dat het directe contact tussen schippers en sluispersoneel verdwenen is en ook ontbreekt het direct zicht op het schutproces. De beheerder en de schippers ervaren dit vaak als achteruitgang. Dit hoeft echter niet per sé de betrokkenheid van het sluispersoneel met het sluisbedrijf te verminderen.

Bij grote sluiscomplexen met bijvoorbeeld 3 sluizen zorgt een centrale verkeersgeleider voor de verkeersafwikkeling in de voorhavens en een of meerdere assistent-verkeersgeleiders voor de bediening van de sluizen zelf. Bij een of twee sluizen kan volstaan worden met een of twee verkeersgeleiders die zowel voor de verkeersafwikkeling in de voorhavens als voor de sluisbediening zelf zorgen.

Behalve centrale bediening van de installaties vanuit de (centrale) bedieningsruimte kunnen - na melding aan de centrale bediening - de installaties ook vanuit de technische ruimtes (bijvoorbeeld bewegings-

werkkelders) bediend worden. Dit is speciaal voor het onderhoudspersoneel bedoeld voor het opheffen van storingen of het verrichten van onderhoud.

18.4.2 Eisen aan de bediening

De bediening moet een adequate bedrijfsvoering mogelijk maken. Vereist is daarom dat de bedrijfsprocessen waarin een sluis kan verkeren, snel en veilig afgehandeld kunnen worden met een beperkt aantal personeelsleden. De bedrijfsprocessen zijn (meestal) schutten, keren, spuien, stremming en calamiteit, zie par. 18.2.3.

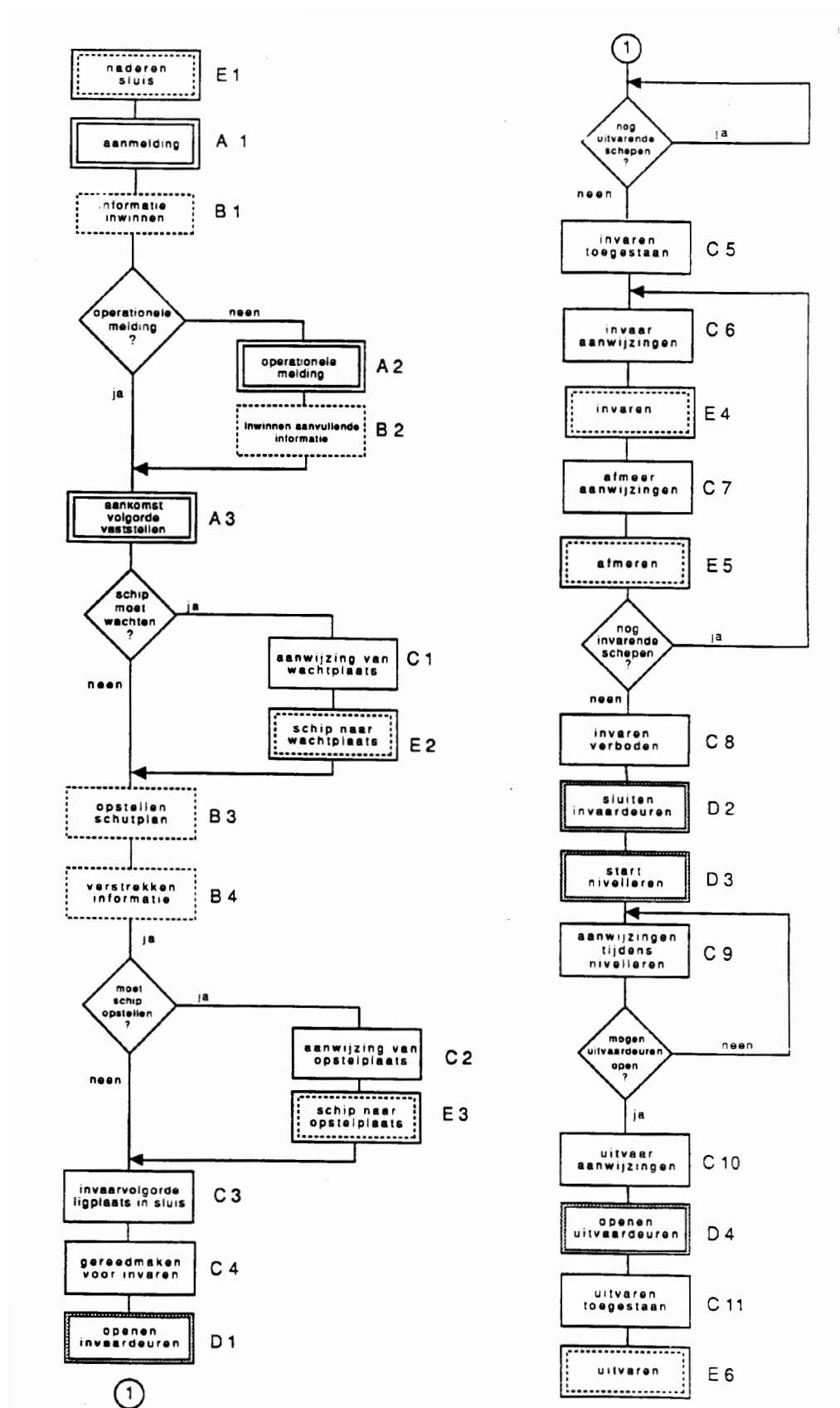
Om aan deze eisen inzake de bediening te voldoen, zijn in algemene zin de volgende aspecten van belang:

- **Centrale bediening**
De bediening wordt uitgevoerd vanuit de centrale bedieningsruimte. Voor het opheffen van storingen of het plegen van onderhoud kan de bediening van onderdelen lokaal vanuit de technische ruimte nabij de betreffende onderdelen plaatsvinden.
- **Personele bezetting**
Bij het ontwerpen van het bedieningssysteem moet vooraf duidelijk zijn wat de taken en verantwoordelijkheden van de verschillende personeelsleden zijn en hoe groot de personele bezetting moet zijn.
- **Informatie-voorzieningen**
Er moeten voldoende communicatiemiddelen zijn voor een goede informatievoorziening betreffende de zich anmeldende schepen, de momentane en te verwachten waterstanden en de weersomstandigheden. Tevens zijn instrumenten nodig om deze informatie direct te verwerken.
- **Verkeersbegeleiding-voorzieningen**
Door de centrale bediening is de communicatie niet direct, maar op afstand. Er zijn voldoende (maar niet overdreven) faciliteiten om het scheepvaart- en het landverkeer te observeren en te instrueren. Vanuit de bedieningsruimte is er direct zicht op de sluis (sluizen), brug en voorhavens tenzij de sluis op afstand wordt bestuurd. Een installatie bestaande uit tv-camera's en monitors, een radar-installatie en verlichting van het sluiscomplex zijn aanwezig.
- **Bedieningspanelen e.d.**
De bedienings- en informatiepanelen, -tableaus, -lessenaars etc. moeten voor het sluispersoneel duidelijk en logisch opgebouwd zijn, zonder overbodige informatie. Bij storingen moet voor het onderhoudspersoneel uit de bedieningspanelen snel duidelijk zijn welke storing zich waar voordoet. Voor noodsituaties moet een noodstopknop aanwezig zijn die de installaties naar een veilige waarde stuurt. (Opm. Een veilige stand hoeft niet voor alle situaties veilig te zijn).
- **Instructies**
Er zijn duidelijke instructies aanwezig hoe te handelen in normale omstandigheden (schutten, keren, spuien) en in bijzondere omstandigheden (storingen, stremmingen, calamiteiten).
- **Automatisering**
Door de aard van het schutbedrijf is het in het algemeen niet mogelijk een geautomatiseerd bedieningssysteem in te voeren. Wel kan het bedieningssysteem zodanig zijn ingericht dat het aantal bedieningscommando's beperkt is en geënt op de beslipunten van de verschillende bedrijfsprocessen. De regelparameters van de besturing (bijvoorbeeld schuifsnelheid) zijn niet zichtbaar voor de bediening.

Deze en verdere eisen verschillen nogal eens per beheerder. Bijvoorbeeld: beeldschermbediening is niet voor alle beheerders acceptabel. De Bouwdienst streeft zonder meer naar standaardisatie van bedieningssystemen van schutsluizen.

18.4.3 Bedieningsactiviteiten tijdens schutten

Volgens de richtlijnen voor de bediening van sluizen (Commissie Vaarwegbeheerders, werkgroep WAAK, Richtlijnen CVB, 1995) is - gezien vanuit de stoel van het sluispersoneel - het bedieningsproces te onderscheiden in vier groepen activiteiten (zie Fig. 18.8).



Figuur 18.8 Schema sluispassage proces (naar Lit. CVB, Richtlijnen Bediening Kunstwerken)

A Aanmelding van schepen

Een schip geeft het sluispersoneel een vooraanmelding dat het van plan is de sluis te passeren (A1). Als het schip nabij de sluis is, volgt een operationele melding waarbij het sluispersoneel het schip inpast in het schutbedrijf (A2). Het sluispersoneel stelt de aankomstvolgorde van de schepen vast (A3). A1 is facultatief.

B Uitwisseling van gegevens tussen schepen en sluis

Het sluispersoneel wint verdere scheepsgegevens in voor het schutten (B1: naam, afmetingen, lading en B2: bijzonderheden zoals gevaarlijke lading), tenzij dit al doorgegeven is bij A2. Het sluispersoneel stelt een schutplan op (B3: tijdstip, kolkindeling, invaarvolgorde). Aan de schepen wordt informatie verstrekt over tijdstip van schutten en de kolkkeuze (B4).

C Aanwijzingen voor de schepen

Het sluispersoneel geeft aanwijzingen met betrekking tot wachtplaatsen (C1), opstelplaatsen (C2), invaarvolgorde en ligplaats in sluis (C3), gereedmaken voor invaren (C4), toestemmen tot invaren (C5), het invaren (C6), het afmeren (C7), het verbieden tot invaren (C8), het nivelleren (C9) en het uitvaren (C10) en (C11). C1, C2, C3, C4, C8 en C11 zijn facultatief.

D Bediening van sluisinstallaties

Het sluispersoneel opent via bedieningscommando's de invaardeuren (D1), sluit de invaardeuren (D2), start met nivelleren door het trekken van de schuiven (D3) tot het verval over de deuren genivelleerd is en opent de uitvaardeuren (D4).

In de beleving van het sluispersoneel voeren de schepen de volgende activiteiten uit:

E Scheepvaartbewegingen

Het schip nadert de sluis (E1), vaart naar de wachtplaats (E2), vaart naar de opstelplaats (E3), vaart de sluis zelf in (E4), meert af in de sluis (E5) en vaart de sluis uit (E6). E2 en E3 zijn facultatief.

De activiteiten A, B en C verlopen voornamelijk achter elkaar en de activiteiten D en E lopen samen met activiteit C. In fig. 18.8 is het bijbehorende stroomschema opgenomen dat is overgenomen uit Lit. CVB-Richtlijnen bediening kunstwerken.

Opgemerkt wordt dat een aantal handelingen niet hoeven te gebeuren als de intensiteit laag is; de gegeven opsomming betreft het maximale draaiboek.

18.4.4 Installaties voor de bediening

Het sluispersoneel heeft bij centrale bediening of bediening op afstand voor de activiteiten A t/m D een aantal installaties nodig.

A Vooraanmelding van schepen:

- communicatieapparatuur (marifoon, telefoon/fax, praatpalen op het sluiscomplex);
- aansluiting op het IVS-systeem (database van vloot);
- visualisatie van voorhavens (CCTV-installatie {Closed Circuit TV}, radar-installatie).

B Uitwisseling van gegevens tussen schip en sluis:

- communicatieapparatuur (marifoon, telefoon/fax, praatpalen op het sluiscomplex);
- registratie- en afhandelingsysteem (bijv. CESAR);
- meetsysteem van hydro- en meteo-gegevens.

C Aanwijzingen voor de schepen:

- visualisatiemiddelen voor schepen in het sluiscomplex (verlichting sluiscomplex, CCTV-installatie, radar-installatie);
- communicatieapparatuur (marifoon, telefoon/fax, praatpalen op het sluiscomplex, omroepinstallatie);
- scheepvaart-seinen, eventueel displays;

- akoestische (en soms optische) signalering bij start beweging sluisinstallaties.

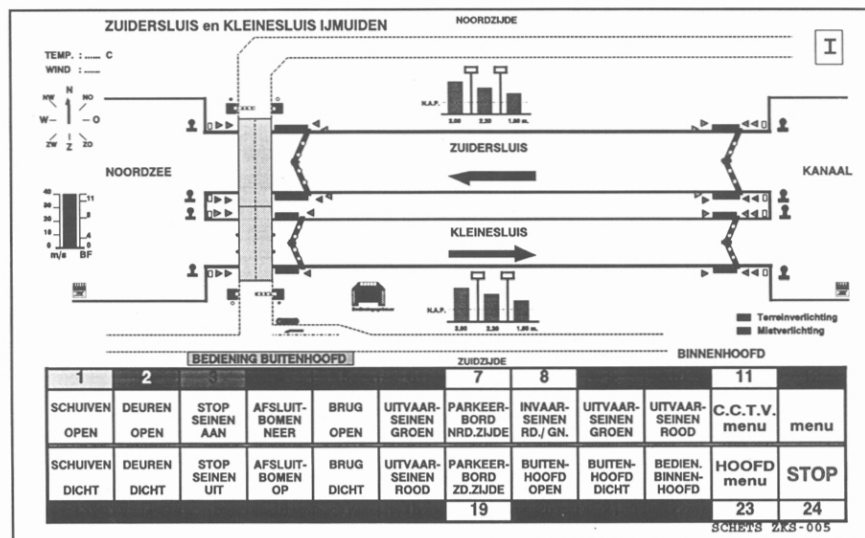
D **Bediening sluisinstallaties:**

- bedieningspanelen voor het besturen van de sluisinstallaties;
- visualisatiemiddelen voor de deuren (verlichting sluiscomplex, CCTV-installatie).

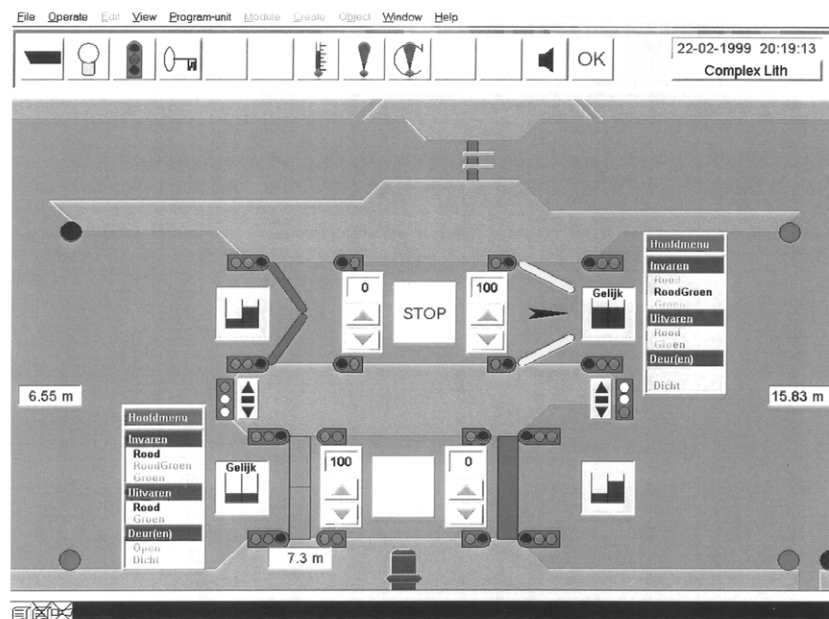
Voor belangrijke sluizen zijn al deze installaties nodig, bij minder belangrijke sluizen zijn niet alle installaties nodig en soms in minder uitgebreide vorm.

18.4.5 Opstelling bedieningssysteem

De installaties voor het bedienen van de sluis worden bediend vanaf een vaste werkplek in de centrale bedieningsruimte. Hiervoor is (of zijn) één (of meerdere) lessenaars geplaatst met beeldschermen, panelen en monitoren volgens een ergonomisch verantwoorde opstelling.



Figuur 18.9 Voorbeeld beeldscherm Zuider en Kleine Sluis te IJmuiden



Figuur 18.10 Voorbeeld beeldscherm sluiscomplex te Lith

Voor het bedienen van deuren, schuiven en seinen en voor de informatie van waterstanden, weersomstandigheden en de toestand van de installaties (storingsmeldingen e.d.) is een beeldscherm opgesteld (inclusief keyboard, mouse etc.) (fig. 18.9 en 18.10). Vroeger werd een paneel opgesteld; waarvan er vele nog altijd in gebruik zijn. Op het beeldscherm of paneel is zichtbaar welk commando (of commando's) geactiveerd is (zijn), welke (eind-)standen de deuren en schuiven bezitten, welke seinbeelden ingesteld staan, wat de waterstanden, windsnelheid en -richting en luchttemperatuur zijn, of mogelijke storingen in installaties optreden etc.

Voor het werken met het informatieverwerkend systeem en het kolkindelingsprogramma (bijv. IVS en CESAR) is een apart beeldscherm met keyboard etc. opgesteld.

Verder zijn panelen, beeldschermen, displays en monitoren geplaatst voor de bediening van de communicatiemiddelen (marifoon, praatpalen, omroepinstallatie, telefoon), visualisatiemiddelen (CCTV en radar) en de overige installaties van het sluiscomplex.

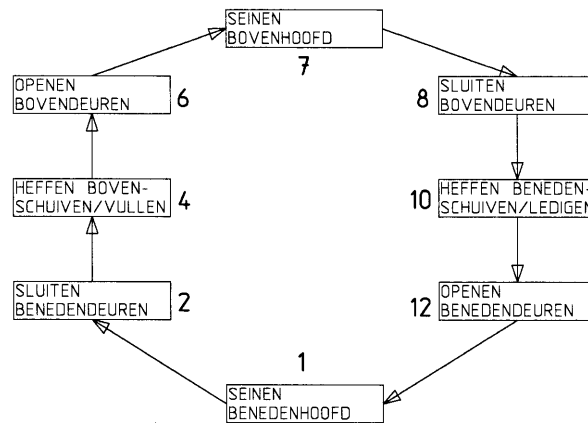


Figuur 18.11 Werkplek voor bediening Naviduct Krabbersgatsluizen te Enkhuizen.

De werkplek achter de lessenaar(s) geeft gewoonlijk direct zicht op het sluisgebeuren, tenzij de sluis op afstand wordt bediend. Dit betekent dat er zicht is op de schutkolk met de stopstrepen en de deuren, de voorhavens met remming- en geleidewerken en (eventueel) de beweegbare brug. Een hogere positie levert in de regel een beter overzicht op. Dode hoeken worden zichtbaar gemaakt met TV-camera's. Hinderlijke reflecties door laagstaande zon e.d. moeten zoveel mogelijk vermeden worden. Meestal wordt het bedieningsgebouw nabij het midden van de kolk gebouwd, behalve bij korte sluisen of sluisen met een groot verval. In die gevallen wordt het bedieningsgebouw bij het bovenhoofd gesitueerd. Tussen bedieningsgebouw en sluis moet voldoende vrije ruimte aanwezig zijn ter voorkoming van schade door uitstekende delen van schepen.

18.4.6 Bedieningscommando's voor deuren, schuiven en scheepvaartseinen

Fig. 18.12 geeft in schema bedieningscommando's van de beweging van deuren en schuiven en de omzetting van scheepvaartseinen voor een (gehele) schutcyclus, afgeleid uit het toestandsdiagram van par. 18.2.4 (overige bedieningshandelingen buiten beschouwing gelaten).



Figuur 18.12 Schema bedieningscommando's

- 1 Bedienen uitvaar-, invaar- en afmeerseinen bij openstaande benedendeuren, ten behoeve van uitvaren, invaren en afmeren in de kolk.
- 2 Sluiten benedendeuren, na het invaren vanuit het benedenpand.
- 4 Heffen bovenschuiven, na het afmeren van de schepen, vult de kolk.
- 6 Openen bovendeuren en zakken bovenschuiven, na gelijkwater over bovendeuren.
- 7 Bedienen uitvaar-, invaar- en afmeerseinen bij openstaande bovendeuren, ten behoeve van uitvaren, invaren en afmeren in de kolk.
- 8 Sluiten bovendeuren, na het invaren vanuit het bovenpand.
- 10 Heffen benedenschuiven, na het afmeren van de schepen, ledigt de kolk.
- 12 Openen benedendeuren en zakken benedenschuiven, na gelijkwater over benedendeuren.

Deze bedieningscommando's zijn in feite aparte beslispunten in het bedrijfsproces schutten en worden dan ook als aparte (beeldscherm-)toetsen of knoppen uitgevoerd. Bij sommige sluizen is een aparte stappenknop opgenomen. Door deze stappenknop in te drukken wordt een volgend bedieningscommando uit de reeks uitgevoerd. Bij alle sluizen is een noodstopknop opgenomen om een (dreigende) calamiteit te voorkomen. Indrukken van deze knop zal de bewegingswerken van de deuren onmiddellijk doen stoppen of de schuiven direct laten dalen.

Zoals in par. 18.2.4 is genoemd kan in beperkte mate afgeweken worden van het successievelijk aflopen van de serie bedieningscommando's. Vanwege scheepsaanbod of waterbeheer kan het nodig zijn dat na ledigen van de kolk deze weer gevuld wordt (10⇒4) zonder het openen en sluiten van de benedendeuren. Of vanwege het beperken van de zout-zoetuitwisseling worden de deuren van het bovenhoofd een aantal keren gesloten en geopend (6⇒8, 6⇒8, 6⇒8) zonder dat de kolk gevuld of geleidigd wordt. Voor elke toestand van de sluis zijn een aantal commando's echter softwarematig door de besturing geblokkeerd. Bij openstaande benedendeuren (1) is het onmogelijk dat de bovenschuiven geheven worden (4) of de bovendeuren geopend worden (6). Of bij een verval over een deur kan deze onmogelijk geopend worden.

De aard van het schutbedrijf maakt geautomatiseerde bediening onmogelijk. De bediening van de sluisinstallaties vindt plaats via een door het sluispersoneel gegeven reeks commando's uit het bedieningsstelsel. Een commando activeert een bepaald deel van de installatie dat hierdoor op een voorgeschreven wijze in beweging wordt gebracht en na enige tijd stopt.

Enige automatisering in de bediening is te verkrijgen door de bedieningscommando's 4 en 6 samen te voegen (heffen bovenschuiven en na gelijkwater openen bovendeuren en zakken bovenschuiven). Dit kan ook bij de commando's 10 en 12. In plaats van het verenigen in een enkele knop kunnen beide knoppen ook normaal uitgevoerd worden maar zodanig dat door beide knoppen of de laatste knop in te drukken beide commando's direct achter elkaar uitgevoerd worden (zgn. voorprogrammering).

Verdere automatisering is mogelijk wanneer de bedieningscommando's 2, 4 en 6 (sluiten benedendeuren, heffen bovenschuiven en na gelijkwater openen bovendeuren en zakken bovenschuiven of juist andersom) en ook 8, 10 en 12 samengevoegd worden. Dit kan alleen als de deuren pas gesloten wor-

den wanneer de schepen in de kolk afgemeerd liggen. Eventueel worden de betreffende uitvaarseinen direct op groen gezet.

18.4.7 Bediening tijdens keren

Overschakeling van het bedrijfsproces schutten naar het bedrijfsproces keren komt voort uit overschrijding van maximum-schutpeilen of onderschrijding van minimum-schutpeilen. Deze overschakeling kan geïnitieerd zijn door eigen waarnemingen op de sluis of door waarschuwingen van regionale directies, waterschappen, de Stormvloedwaarschuwingdienst, RIKZ, RIZA etc.

Eerst treedt een waarschuwingsfase in, bijvoorbeeld wanneer het peil nog 0,25 m verwijderd is van het schutpeil. Na het bereiken van het schutpeil wordt het schutten gestaakt waarna overgegaan wordt op het bedrijfsproces keren. Wanneer het schutpeil weer gepasseerd wordt kan weer teruggekeerd worden naar een ander bedrijfsproces zoals schutten. Het overgaan naar de toestand keren vindt bij de grote sluisen (tot nu toe) handmatig plaats.

Voor de bedieningscommando's voor deuren, schuiven en scheepvaart-seinen is de procedure simpel. In de regel zijn geen aparte toetsen of knoppen gereserveerd voor het keren. De zich nog in de kolk bevindende schepen varen de sluis uit. De scheepvaartseinen worden op rood gezet en alle deuren en schuiven van de sluis worden gesloten en gesloten gehouden. De waterstand in de kolk wordt op een afgesproken peil gehouden, bijvoorbeeld tussen de boven- en benedenwaterstand in. Eventuele stormvloed- of hoogwaterdeuren worden eveneens gesloten, soms worden schotbalken voor de deuren neergelaten als de kerende deuren te zwak zijn. Eventueel kunnen in het bedieningssysteem in geval van gesloten deuren en een waterstand buiten de schutpeilen, via software bedieningscommando's voor het openen van de deuren geblokkeerd worden.

18.4.8 Bediening tijdens spuien

Overschakeling van het bedrijfsproces schutten naar het bedrijfsproces spuien gebeurt als er behoefte is aan water of overtollig water in bepaalde gebieden moeten worden afgevoerd. Er komt dan bijvoorbeeld een verzoek binnen van een waterschap of er komt informatie uit een Operationeel Beheer Systeem (OBS). Indien dit binnen de bedieningstijden van de sluis valt weegt de beherende instantie de hinder van de stremming tegen het spuien van het water af. Na een positief oordeel hierover wordt het schutten gestaakt en wordt overgeschakeld naar het bedrijfsproces spuien. (N.B. Overigens wordt bij sommige sluisen beperkt spuien toegestaan tijdens het bedrijfsproces schutten.)

De bedieningscommando's voor deuren, schuiven en scheepvaartseinen zijn ook nu eenvoudig. De kolk wordt eerst geleidigd door het trekken van benedenschuiven. De benedendeuren worden geopend, de schepen varen uit en de scheepvaartseinen worden op rood gezet (bij stremming: dubbelrood en eventueel spuisein in verband met stroming). De schuiven van de bovendeuuren worden voor een deel getrokken. Voor dit laatste is wel een aparte bedieningsknop vereist.

18.4.9 Bediening tijdens stremming en calamiteit

Tijdens het bedienen is het mogelijk dat door een storing in de installaties, een aanvaring, een ongeval, een weersverslechtering etc. plotseling overgeschakeld moet worden op het bedrijfsproces stremming of calamiteit. Dit kan door de noodstopknop in te drukken of doordat het bedrijfsproces normaal gestopt wordt.

In geval van een storingsmelding of een aanvaring wordt de onderhoudsdienst gewaarschuwd. Na presentmelding bij de centrale bediening tracht de onderhoudsdienst de storing te verhelpen. De centrale bediening wordt dan uitgeschakeld en alleen lokaal vanuit de bedieningsruimtes kunnen de betreffende installaties worden bediend met aparte passwords. Bedienen mag dus alleen vanuit één plaats mogelijk zijn.

Na een noodstop zonder schade aan de installaties kan in de regel het sluispersoneel zelf de installaties weer opstarten en het bedrijfsproces schutten vervolgen.

18.5 Elektrotechnische installatie

Deze paragraaf geeft slechts een korte opsomming van het voornaamste deel van de elektrotechnische installatie met de bijbehorende componenten. De (voor-)ontwerpnota's van diverse sluizen (bijv. Zuider en Kleine Sluis te IJmuiden) geven verdere informatie over eisen, opstelling en specificaties van de elektrotechnische installatie. In hoofdstuk 7 (Deuren, bewegingswerken en schuiven) is ingegaan op de sluisinstallaties voor wat betreft de werktuigkundige aspecten. In hoofdstuk 17 (Inrichting van sluis en voorhavens) wordt ingegaan op de eisen van een aantal installaties (voor communicatie, visualisatie, verlichting en beseining).

18.5.1 Sluisinstallaties

- **Deurbewegingswerken**
 - Elektro-hydraulische aandrijving (punt- of draaideur) bestaande uit hydraulische cilinder, proportioneel gestuurde kleppen, oliepompunit en elektromotor.
 - Elektro-mechanische aandrijving (punt- of draaideur) bestaande uit panamawiel of heugelstang, rondsel, tandwielkast en elektromotor.
 - Elektro-mechanische aandrijving (rol- of hefdeur) bestaande uit kabels, kabeltrommels, kabelschijven, rondsels, tandwielkast en elektromotor (NB. Ook elektro-hydraulisch aandrijving komt voor).
 - Wegmeetsysteem voor gelijkloop deuren, begin- en eindschakelaars, oliedrukmeting, V-en A-meters.
- **Schuifbewegingswerken**
 - Elektro-hydraulische aandrijving bestaande uit hydraulische cilinder, proportioneel gestuurde kleppen, oliepomp-unit en elektromotor.
 - Elektro-mechanische aandrijving bestaande uit rechte heugelstang met rondsel of hefschroefspindel met wormwiel, tandwielkast en elektromotor.
 - Begin- en eindschakelaars, oliedrukmeting, V-en A-meters.
- **Diversen (optioneel)**
 - Elektro-hydraulisch aangedreven afdrukinrichting.
 - Elektro-hydraulisch aangedreven deurvergrendelingen of -stempelingen.
 - Elektro-hydraulisch aangedreven beweegbare drempel.
 - Electrische dompelpompen voor drooghouden technische ruimten.
 - Elektro-mechanisch aangedreven bediening aanvaarbalk.
 - Pneumatische luchtbellenschermen.

18.5.2 Bruginstallaties

- **Brugbewegingswerk**
 - Elektro-mechanisch aangedreven bewegingswerk.
 - Wegmeetsysteem, eindschakelaars.
 - Vergrendelingssysteem.

18.5.3 Bouwkundige voorzieningen voor elektrische installatie

- **Centrale bedieningsruimte**
 - Bestemd voor bedieningslessenaars, -panelen en tableaux, monitors, beeldschermen etc. Het geheel moet een ergonomisch verantwoorde bediening (volgens ARBO-richtlijnen) mogelijk maken.
- **Technische ruimten**
 - Technische ruimten zijn aanwezig in het centrale bedieningsgebouw, de bewegingswerkkelders, brugkelder en vaak nog in aparte gebouwtjes.
 - Aparte ruimten zijn beschikbaar voor energievoorzieningen (netvoeding, trafo's, aggregaten, accu's), hoofdverdelers, laagspanningsverdelers, hydrauliek, schakelkasten incl. besturings- en bedieningssystemen.

- **Kabelkokers**
 - Aparte kabelkokers in wanden en -vloer van de hoofden en op het sluisterrein.
 - Eventueel zinkers buiten sluis.

18.5.4 Energievoorzieningen

- **Netvoeding**
 - Externe levering van 10 kV~ of 230/400 V~, vermogen bijv. 400 kVA.
- **Noodstroomvoorziening**
 - Dieselaggregaat met 230/400 V~, vermogen bijv. 125 kVA.
- **No break stroomvoorziening**
 - Accu's, voor 230 V, tijdens spanningscalamiteit van net- naar noodvoeding etc.
 - Bestemd voor oa. besturings-, bedienings- en signaleringsapparatuur.
- **Trafo's**
 - Bijvoorbeeld voor 10 kV $\Rightarrow$ 230/400 V of voor 230/400 V $\Rightarrow$ 3 kV $\Rightarrow$ 230/400 V.
- **Hoofdverdelers**
 - Voor verdeling naar laagspanningsverdeler.
- **Laagspanningsverdelers / motor control center (MCC)**
 - Voor verdeling naar 400 V~ installaties en 230 V~ apparatuur.
 - Volgens ladesysteem, vermogensschakelaars, eventueel aanloopvoorzieningen, bedrijfs- en storingsmeldingen.
- **Kabels en leidingen**
- **Aarding, bliksem, overspanningsbeveiliging**

18.5.5 Communicatieapparatuur

- **Omroepinstallatie**

Doel: Informatie van sluispersoneel aan schepen.
Plaats: Luidsprekers bij remming- en geleidewerken, hoofden, kolk.
Bediening: Vanaf centrale bedieningsruimte inschakelbaar voor enkele, een groep of alle luidsprekers.
- **Praatpalen**

Doel: Communicatie tussen sluispersoneel en schepen zonder marifoon.
Plaats: Praatpalen bij remming- en geleidewerken en op sluisplateau.
Bediening: Vanaf centrale bedieningsruimte en vanaf praatpaal zelf.
- **Werkspreekverbinding**

Doel: Communicatie tussen onderhouds- en bedienend personeel.
Plaats: Aansluitpunten in centrale bedieningsruimte, technische ruimtes, sluisterrein.
Bediening: Vanaf elk aansluitpunt.
- **Marifooninstallatie**

Doel: Communicatie via ether tussen sluispersoneel en schepen voor aanmelding en scheepsgegevens.
Plaats: Geplaatst in centraal bedieningsgebouw.
Bediening: Vanuit centrale bedieningsruimte en vanuit schip.
- **Telefoonlijnen**

Doel: Communicatie met buitenwereld via telefoon, fax, internet.
Plaats: Aansluitingen in centrale bedieningsruimte en technische ruimtes.
Bediening: Vanaf elk aansluitpunt.
- **IVS en CESAR (Scheepvaartregistratie en Centrale Scheepvaart Afhandelings- en Registratie-systeem)**

Doel: Kolkindeling en scheepsregistratie.
Bediening: Vanuit centrale bedieningsruimte.

18.5.6 Visualisatieapparatuur

- **CCTV** (Closed Circuit TV)
Doel: Observatie voorhavens, kolk, hoofden en deuren.
Plaats: Camera's bij geleidewerken, hoofden, kolk, beweegbare bruggen; monitors in centrale bedieningsruimte.
Bediening: Vanuit centrale bedieningsruimte.
- **Radar**
Doel: Observatie voorhavens bij slecht zicht (bereik bijv. 1 tot 2 km).
Plaats: Radarinstallatie op centraal bedieningsgebouw; monitor in centrale bedieningsruimte.
Bediening: Vanuit centrale bedieningsruimte.

18.5.7 Seinapparatuur

- **Scheepvaartseinen**
Doel: Verkeersregeling scheepvaart.
Plaats: Bij begin geleidewerken, hoofden, brug.
Soort: Invaarseinen, uitvaarseinen, sluiskeuzeseinen, kolkwandkeuzeseinen, seinen voor doorvaarthoogte, drempeldiepte, spuien, etc., matrixborden.
Bediening: Vanuit centrale bedieningsruimte.
- **Landverkeersseinen** (eventueel)
Doel: Verkeersregeling landverkeer.
Plaats: Stoplichten en afsluitbomen bij brug.
Bediening: Vanuit centrale bedieningsruimte.

18.5.8 Hydro- en meteomeetapparatuur

- **Waterstandsmetingen**
Doel: Meten van waterstanden en waterstandsverschillen (voor gelijkwater); watertemperatuur (optioneel), zoutgehalte (optioneel).
Plaats: Borrelbuizen (pneumatisch) en drukdozen in voorhavens, alsmede in boven- en benedenhoofd kolk;
luchtpomp in technische ruimten.
Bediening: Automatisch en vanuit centrale bedieningsruimte en technische ruimtes
- **Luchtmetingen**
Doel: Meten van luchttemperatuur, windsnelheid en -richting.
Plaats: Centraal bedieningsgebouw, voorhavens.
Bediening: Automatisch en vanuit centrale bedieningsruimte.

18.5.9 Verlichtingsinstallatie

- **Terreinverlichting**
Doel: Ondersteunen CCTV-installatie, maar ook voor de scheepvaart.
Plaats: Remming- en geleidewerken, sluishoofden en -kolk.
Bediening: Automatisch en vanuit centrale bedieningsruimte en technische ruimtes.
- **Aanstralen objecten**
Doel: Aanstralen objecten, hoofden, bruggen, etc. met het oog op visuele geleiding in het donker
- **Binnenverlichting en -verwarming gebouwen**
- **Kastverlichting en -verwarming**

18.5.10 Besturings- en bedieningssysteem

- **PLC**
Als besturingssysteem en meetverwerkend systeem (zie par. 18.3.6).

- **SCADA**
Als bedienings- en informatieverwerkend systeem (zie par. 18.3.6).

18.5.11 Normen en richtlijnen

- VOBB 1995 (NEN 6786).
- Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallatie, NEN 1010.
- Veiligheidsbepalingen inzake werkzaamheden aan laagspanningsinstallatie, NEN 1890.
- Functionele eisen binnenverlichting, NEN 1980.
- Schleusen- und Vorhafen Beleuchtung, DIN 67500.
- Binnenvaarpolitiereglement BPR, 1983.
- Eisen lichtmasten 1993.
- Leidraad energiezuinig ontwerpen (LEO).
- Leidraad duurzaam bouwen (DUBO).

Zie verder par. 2.9.

18.6 Voorbeelden opstelling bedieningsinstallatie

Krammersluizen:



Foto 18.2 Bedieningsgebouw van Krammersluizen



Foto 18.3 Opstelling bedieningssysteem, Krammersluizen



Foto 18.4 Opstelling bedieningssysteem, Krammersluizen



Foto 18.5 Opstelling bedieningssysteem, Krammersluizen

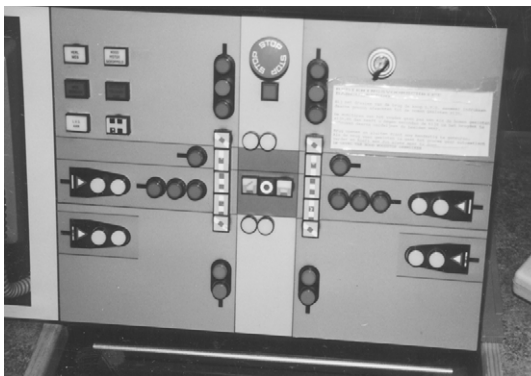


Foto 18.6 Knoppenpaneel voor bediening basculebrug, Krammersluizen



Foto 18.7 Beeld van CCTV-monitor, Krammersluizen

Middensluis Terneuzen:



Foto 18.8 Bedieningsgebouw van Middensluis Terneuzen



Foto 18.9 Bedieningslessenaar, Middensluis Terneuzen

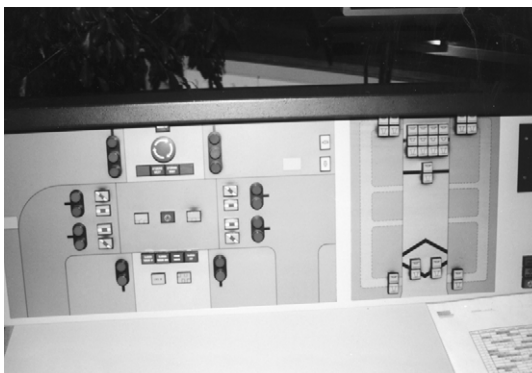


Foto 18.10 Knoppenpaneel voor bediening sluisinstallaties, Middensluis Terneuzen



Foto 18.11 CCTV-monitor, Middensluis Terneuzen

Prins Willem-Alexandersluis te Amsterdam:



Foto 18.12 Bedieningsgebouw van Prins Willem-Alexandersluis



Foto 18.13 Bedieningslessenaar, Prins Willem-Alexandersluis (Monitors van o.a. CCTV, bediening sluis, IVS, radar en Knoppenpanelen van praatpaal/luidspreker/marifoon)



Foto 18.14 Bedieningslessenaar, Prins Willem-Alexandersluis

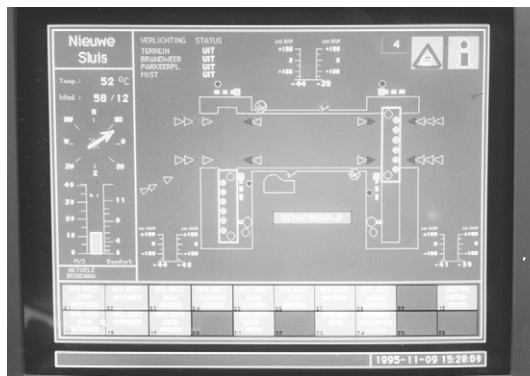


Foto 18.15 Beeldscherm voor bediening sluisinstallaties, Prins Willem-Alexandersluis

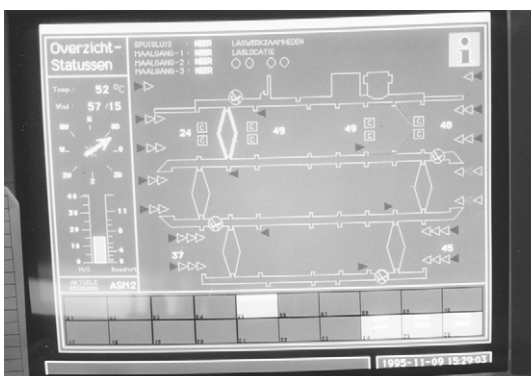


Foto 18.16 Beeldscherm voor bediening sluisinstallaties, oude Oranjesluizen



Foto 18.17 Radar-beeld, Oranjesluizencomplex

Sluis Grave:



Foto 18.18 Bedieningsgebouw van Sluis Grave

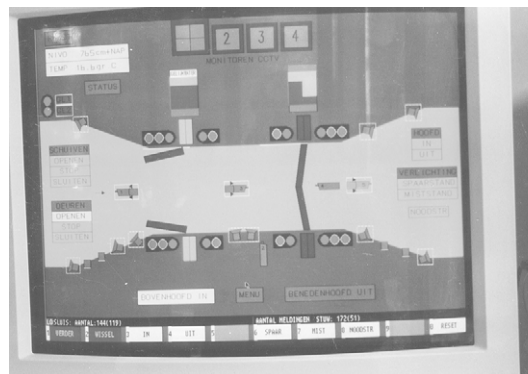


Foto 18.19 Beeldscherm voor bediening sluisinstallaties, Sluis Grave



Foto 18.20 CCTV-monitor, Sluis Grave



Foto 19.1 Verwisselen roldeur van de Noordersluis te IJmuiden

Hoofdstuk 19 **Onderhoud in het ontwerp**

19.1 Inleiding

19.1.1 Doel van het hoofdstuk

Dit hoofdstuk behandelt de plaats van het toekomstig “beheer en onderhoud” in het ontwerpproces van een nieuw te bouwen of te renoveren schutsluis. Het doel daarvan is om:

- de ontwerper te helpen bij het maken van onderhoudsbewuste keuzes in alle levensfasen van het project;
- de ontwerper richtlijnen te geven voor het opstellen van een onderbouwd beheer- en onderhoudsplan voor een nieuw kunstwerk, met daarin zijn visie op het onderhoud dat het kunstwerk behoeft, de hiervoor benodigde onderhoudsacties en de daaraan verbonden kosten;
- de onderhoudsaspecten in het ontwerpproces goed zichtbaar en beïnvloedbaar te maken voor de beheerder.

Deze aanpak sluit aan op de visie van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat om het onderhoud meer expliciet in de optimalisatie van het ontwerp te betrekken (Lit. [19.1], Lit. [19.4] en Lit. [19.5]). Met een onderhoudsbewust ontwerp wordt de beheerder beter op zijn wensen bediend. Daarnaast wordt met het beheer- en onderhoudsplan het fundament gelegd voor het door de beheerder op te stellen beheersplan en de daarin op te nemen beschrijving van specifieke onderhoudsactiviteiten.

Een begrippenlijst is aan het eind van dit hoofdstuk toegevoegd. In par. 22.4.2 wordt verder ingegaan op onderhoudsaspecten.

19.1.2 Onderhoudsbewust ontwerpen

Onder een ‘onderhoudsbewust ontwerp’ wordt verstaan een economisch geoptimaliseerd ontwerp waarin de beheers- en onderhoudskosten als integraal onderdeel zijn meegenomen in de kostenafweging.

In de inleiding van hoofdstuk 3 is al uitvoeriger op het begrip “economisch optimaal” ingegaan. Strikt genomen zou voor elk project een aparte optimalisatie moeten worden uitgevoerd, waarbij naast de directe kosten ook de indirecte kosten ten gevolge van niet-beschikbaarheid van de sluis (dus de stremmingskosten voor de scheepvaart) moeten worden meegenomen. Hierbij dienen van de toekomstige kosten de netto contante waarden te worden bepaald, dat wil zeggen de kosten worden teruggerekend naar het heden.

Hieruit volgt onder meer de optimale niet-beschikbaarheid voor de beschouwde sluis of het sluiscomplex. De niet-beschikbaarheidseisen vormen een randvoorwaarde voor het onderhoud. Met de niet-beschikbaarheid van een schutsluis wordt bedoeld het percentage van de bediende tijd dat de sluis gemiddeld niet beschikbaar is voor haar functie(s).

Bij renovatieprojecten zal door de grotere ontwerpbeperkingen het economisch optimum veelal bij een hogere niet-beschikbaarheidseis worden gevonden dan bij nieuwbouwprojecten, omdat ontwerpaanpassingen van een al bestaande constructie relatief duur zijn ten opzichte van ontwerpaanpassingen van een constructie in de ontwerpfase.

In de meeste gevallen zal echter reeds in het Programma van Eisen (PvE) een niet-beschikbaarheidseis zijn vastgelegd (zie par. 2.4.10). De economische optimalisatie, gebaseerd op directe en indirecte kosten over de gehele levensduur, kan leiden tot duurdere ontwerpoplossingen, vooral als de niet-beschikbaar-

heidseisen zwaar zijn.

Bij het bepalen van exploitatie- en sloopkosten in het ontwerpproces speelt “engineering judgement” een belangrijke rol. De oorzaak daarvan is dat de voorspelbaarheid van met name de benodigde onderhoudsinspanning over de eerste 10 à 20 jaar weliswaar redelijk exact is, maar op langere termijn afneemt (de ontwerp levensduur van een sluis is veelal 100 jaar). Dit heeft tot gevolg dat deze kosten minder nauwkeurig kunnen worden geraamd dan de investeringskosten. De betrouwbaarheid van een economische optimalisatie op basis van een integrale kostenafweging wordt hierdoor beperkt. Daar staat tegenover dat door het netto-rente-effect de invloed van kosten na 20 à 30 jaar op de ontwerpbeslissing steeds minder wordt.

Ramingen van de benodigde totale onderhoudsinspanning gedurende de geplande levensduur geven echter wel een goede indruk van zowel de omvang van de niet-beschikbaarheid van de sluis ten gevolge van onderhoud als de kosten van onderhoud. Deze indruk is voor de ontwerper van belang om ontwerpvarianten te kunnen toetsen aan de beschikbaarheidseis(en) in het Programma van Eisen, en om kosteneffectief ontwerpvarianten, van kunstwerkniveau tot op detailniveau, tegen elkaar te kunnen afwegen. Daarnaast is het ook voor de beheerder van belang de benodigde onderhoudsinspanning te kennen in verband met zijn onderhoudsplanung en de daarmee samenhangende aanvragen van budgetten en afkondigingen van stremmingen.

De accenten die bij het onderhoud worden gelegd, zijn per discipline verschillend. Gezien de overeenkomsten in ontwerp- en onderhoudsstrategie tussen Civiel en Staal enerzijds en Werktuigbouw en Installatie anderzijds zal op veel plaatsen in dit hoofdstuk een splitsing worden gemaakt in onderhoud van C+S componenten en W+I componenten.

Foto 19.2 Vervangen rails van de roldeur van de Noordersluis te IJmuiden



19.2 Onderhoudsaspecten in het Programma van Eisen

Met het PvE (Programma van Eisen) liggen de vereiste prestaties (streefbeelden) van het kunstwerk vast. Het PvE bevat onder meer de randvoorwaarden en eisen ten aanzien van onderhoudsaspecten van het kunstwerk. In deze paragraaf wordt, in aanvulling op het in hoofdstuk 2 gegeven PvE, een overzicht gegeven van mogelijke onderhoudsaspecten in het PvE.

Belangrijk is dat de ontwerper bij het PvE die onderhoudsaspecten belicht, die hem later in het voorontwerp en ontwerp de randvoorwaarden geven om voor de opdrachtgever goede onderhoudsbewuste ontwerpbeslissingen te kunnen nemen.

Opgemerkt wordt dat het opstellen van het PvE deel uitmaakt van het cyclische ontwerpproces. Lopende het ontwerpproces kunnen zaken worden gewijzigd of toegevoegd. Bijvoorbeeld doordat eisen op onderdeel- of systeemniveau veelal pas bij nadere detaillering worden geformuleerd (voor kritische onderdelen zal het PvE veeleisender en gedetailleerder zijn dan voor niet-kritische onderdelen). Een andere mogelijkheid is dat lopende het ontwerpproces, “van buitenaf” nieuwe beperkingen worden opgelegd.

19.2.1 Randvoorwaarden

Randvoorwaarden betreffen de niet door het project beïnvloedbare factoren, en kunnen worden onderverdeeld in natuurlijke randvoorwaarden, omgevingsrandvoorwaarden en wetten, normen en regelingen.

Natuurlijke randvoorwaarden

- **Hydrologie:**
De (variaties in) waterstanden en de waterkwaliteit hebben consequenties voor de duurzaamheid van constructie-onderdelen en bepalen daardoor mede het benodigde onderhoudsritme en materiaalkeuze. Met name wordt gedacht aan de corrosie van staal, maar ook bijvoorbeeld aan de aantasting van betonconstructies door chloride-indringing. Het optreden van bepaalde hoge waterstanden kan op zijn beurt leiden tot directe (water)schade.
- **Wind:**
Wind met binnendringen van regenwater en vuil kan leiden tot versnelde aantasting (door erosie) van bijvoorbeeld de beschermingslaag van stalen onderdelen.
- **Morfologie:**
Voor schutsluizen in en aan rivieren, aan estuaria en aan zee wordt het benodigd (onderhouds) baggerwerk bepaald door morfologische omstandigheden.

Omgevingsrandvoorwaarden

- **Infrastructuur:**
Belangrijk is rekening te houden met de bereikbaarheid voor materieel en onderdelen voor de grote onderhoudsacties, zoals wisselen van de deuren en groot onderhoud aan hoofden of kolk. Vooraf moet worden vastgesteld op welke wijze met een drijvende bok of mobiele kraan deze acties kunnen worden uitgevoerd en wat dit bijvoorbeeld betekent voor de ontwerpbelastingen langs de kolkwanden.

Wetten/normen/regelingen/vergunningen

- **Wet op de Waterkering:**
Het vereiste waterkerend vermogen is vastgelegd in de Wet op de Waterkering en is gekoppeld aan de normfrequentie van de betreffende dijkkring waarin het kunstwerk is opgenomen. De hieruit voortvloeiende betrouwbaarheidseisen aan constructie-onderdelen kunnen worden vertaald naar onderhoudseisen. Voorts worden eisen gesteld aan de periode waarin onderhoudswerkzaamheden aan een hoogwaterkering mogen worden uitgevoerd. (De hoogwaterkerende deuren van een sluis in een primaire waterkering mogen alleen binnen het zomerseizoen van 15 april tot 15 oktober worden verwisseld voor onderhoud).

- Arbo-wet:
De Arbo-wet stelt voorwaarden aan de wijze waarop het onderhoud moet worden uitgevoerd. Rekening moet worden gehouden met de beperkingen die personele beschermingsmaatregelen opleggen aan de onderhoudbaarheid van onderdelen (bereikbaarheid, hanteerbaarheid etc.).
- Milieu-eisen inzake bouw- en verbruiksmaterialen:
Enkele eisen of aanwijzingen op dit gebied zijn al genoemd in par. 2.6.2. Aanvullend hierop wordt het volgende genoemd:
 - er is een wettelijk verbod op het verwerken van PAK-houdende verven (met name carbolineum, teer-epoxy- en koolteerprodukten), en er is een verbod op asbesthoudende pakkingen, remvoeringen etc. (par. 2.6.2);
 - voor bepaalde vormen van onderhoud kunnen vergunningen afgegeven moeten worden op grond van het Inrichtingen- en Vergunningenbesluit (IVB). De daarbij te hanteren milieukwaliteitseisen worden in de Wet Milieubeheer genoemd. De afvalstoffen-regelgeving maakt deel uit van deze wet.

19.2.2 Functionele eisen

Met de functionele eisen wordt gedefinieerd wat het kunstwerk na oplevering moet presteren. Functionele eisen zijn direct af te leiden uit de door het kunstwerk te vervullen functies en worden meestal op constructieniveau geformuleerd. De eisen op hoofdonderdeelniveau worden in het algemeen afgeleid van de eisen op constructieniveau, door toedeling van de beschikbare faalkansruimte naar de diverse onderdelen. Per onderdeel is dan de betrouwbaarheidseis bekend. Hieruit kunnen vervolgens eisen worden gedestilleerd inzake duurzaamheid, inspecteerbaarheid en onderhoudbaarheid.

Het formuleren van de functionele eisen is afhankelijk van de functies die de sluis moet vervullen: keren, schutten, spuien of oeververbinding. Voor 'keren' wordt de betrouwbaarheidseis geformuleerd in termen van geaccepteerde faalkans. Voor 'schutten' wordt de betrouwbaarheidseis geformuleerd in termen van geaccepteerde niet-beschikbaarheid. Voor 'spuien' en 'oeververbinding' zijn geen uniforme betrouwbaarheidseisen ontwikkeld.

Oorzaken van mogelijk niet voldoen aan de eisen door het kunstwerk, worden opgesplitst in drie categorieën (X, Y, Z):

- X:
niet-planbare niet-beschikbaarheid, door natuuumstandigheden zoals onder- en overschrijding van toelaatbare waterstanden, wind, slecht zicht en ijs.
- Y:
niet-planbare niet-beschikbaarheid door falen van onderdelen van de sluis:
 - constructief falen;
 - storingen van bewegingssystemen en falen van de bediening;
 - externe oorzaken, zoals blokkade en aanvaringen.
- Z:
planbare niet-beschikbaarheid door geplande inspecties en preventief onderhoud of andere geplande stremmingen.

In tabel 19.1 is aangegeven waaraan de functionele eisen voor de functies 'keren' en 'schutten' kunnen worden ontleend. Formele eisen worden ontleend aan de TAW-leidraden (onderdeel van de Wet op de Waterkering), de NEN-bladen (onderdeel van het Bouwbesluit) en de CVB-richtlijnen ([Lit.[19.2]]). Deze laatste hebben overigens formeel geen dwingend karakter.

Faalaspecten	Functie van het kunstwerk	
	keren (primaire waterkering) [faalkans]	schutten [beschikbaarheidseisen]
X: hydraulische randvoorwaarden ongunstig (waterstanden)	TAW faalkanseisen	CVB-eisen Lit.[19.2]
Y: constructief ($R < S$)	TAW en NEN faalkanseisen	NEN faalkansen te vertalen in niet-beschikbaarheid
Y: beweging/bediening	TAW faalkanseisen	voorlopige eisen BOUWDIENST Lit. [19.3]
Y: blokkade/aanvaring	TAW faalkanseisen	voorlopige eisen BOUWDIENST Lit. [19.3]
Z: geplande stremmingen	TAW: onderhoud mag géén invloed hebben op de veiligheid	voorlopige eisen BOUWDIENST Lit. [19.3]

Tabel 19.1 Overzicht functionele eisen 'keren' en 'schutten', ontleend aan Lit. [19.3]

In het volgende worden per functie de verschillende functionele eisen kort toegelicht.

- **Keren (primaire waterkering):**
Voor kunstwerken in primaire waterkeringen zijn eisen ten aanzien van het waterkerend vermogen en aanwijzingen om daaraan te voldoen, vastgelegd in respectievelijk de Wet op de Waterkering en de Leidraad Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies (zie ook par. 2.3.2). Eisen aan sterkte en stabiliteit van de sluisconstructie (sterkte van de deuren, de stabiliteit van de overgangsconstructies, de sluishoofden en de kolkwanden) en eisen aan de betrouwbaarheid van de sluiting van de keermiddelen, bepalen mede het vereiste onderhoud.
- **Schutten:**
Omtrent de functionele eisen van de scheepvaart vormen eventuele eisen aan de niet-beschikbaarheid, samen met de bedieningstijden van de sluis, een belangrijke randvoorwaarde voor het onderhoud (een niet-continue bediening van een sluis biedt mogelijkheden tot het uitvoeren van planbaar onderhoud tijdens de niet-bediende uren). Eventuele eisen aan de niet-beschikbaarheid, op vaarwegniveau dan wel op kunstwerkniveau, hangen vooral af van het economisch belang, de aanwezigheid van één of meer parallel gelegen sluizen en de alternatieve scheepvaartroutes.

Strengere eisen aan de niet-beschikbaarheid kunnen leiden tot aanzienlijke investeringen in bijvoorbeeld reserve-maatregelen om de niet-beschikbaarheid ten gevolge van onderhoud te beperken. Een extreem voorbeeld hiervan zijn de dubbele deurkassen met roldeuren in de hoofden van onder meer de zeesluis in Terneuzen. Een ander uiterste in dit licht is het volledig ontbreken van reserve-deuren bij de tweede sluis Lith. Gegeven de nog operationeel zijnde oude sluis, wordt uit oogpunt van kostenbesparingen een periodieke niet-beschikbaarheid van ca. 30 dagen voor groot onderhoud aan de deuren acceptabel geacht. Uiteraard kan in de toekomst bij toename van het scheepvaartverkeer, deze visie worden gewijzigd. Een stel reservedeuren kan altijd worden bijgemaakt en vergt geen constructieve aanpassingen aan de sluis.

De CVB-richtlijn geeft een maximale niet-beschikbaarheid van $X = 2\%$ ten gevolge van over- of overschrijding van respectievelijk het maximum- en minimum-schutpeil. In par. 2.4.10 zijn ter indicatie niet-beschikbaarheidspercentages genoemd voor de Zuidersluis in IJmuiden, leidend tot een eis aan de niet-beschikbaarheid door correctief en preventief onderhoud van respectievelijk $Y = 1,25\%$ en $Z = 2,0\%$ van de bediende tijd. Hierbij moet worden opgemerkt dat deze sluis in een complex ligt naast nog twee andere grote sluizen (Middensluis en Noordersluis). In sommige gevallen worden derhalve veel strengere eisen gesteld. In de ontwerpnota van de Nieuwe Oranjesluis wordt bijvoorbeeld een eis voor X, Y en Z gezamenlijk genoemd van maximaal 4 dagen per jaar, wat voor deze sluis overeenkomt met slechts 1,10% niet-beschikbaarheid.

In par. 19.4 worden mogelijke maatregelen aangegeven om inspecties, correctief en preventief onderhoud te beperken en zodoende de niet-beschikbaarheid zo kort mogelijk te houden.

- **Spuien / waterbeheer:**
In sommige gevallen kunnen strenge eisen aan waterverliezen leiden tot een ontwerpkeuze die is afgestemd op het onderhoud. Bij het ontwerp van de tweede sluis Lith bijvoorbeeld is als eis gesteld dat de totale lekopening over de beide deurstellen kleiner moet zijn dan 0,20 m² om het opbrengstverlies van de naastgelegen waterkrachtcentrale te beperken. Deze relatief strenge eis heeft uiteraard gevolgen voor de materiaalkeuze en de frequenties van uit te voeren inspecties en onderhoud.

Voor eisen met betrekking tot kwalitatief waterbeheer (milieuvervuiling) wordt verwezen naar par. 19.2.1 “randvoorwaarden” onder “wetten, normen, regelingen en vergunningen”. Deze eisen zijn bij wet geregeld.

- **Oeververbinding:**
In geval van de combinatie sluis - verkeersbrug moet rekening worden gehouden met bepaalde onderhoudssituaties. Onderhoud aan de brug kan mogelijk hinder veroorzaken voor de scheepvaart, terwijl andersom onderhoud aan de sluis hinder voor het wegverkeer kan veroorzaken. Kwantitatieve eisen met betrekking tot de niet-beschikbaarheid van de sluis of brug door deze oorzaken, kunnen in het Programma van Eisen worden vastgelegd.

19.2.3 Gebruikseisen

De gebruikseisen definiëren op welke wijze een kunstwerk na oplevering zijn functies moet vervullen. Bij het formuleren van deze eisen zullen in sommige gevallen impliciet al optimalisatie-overwegingen meespelen. Soms worden gebruikseisen al op hoofdonderdeelniveau geconcretiseerd.

De gebruikseisen levensduur en schutbedrijf kunnen een rol spelen.

- **Levensduur:**
Op constructieniveau staat de levensduur-eis voor de geplande periode dat de constructie zijn functies moet kunnen vervullen. Voor de nieuwbouw van sluisconstructies geldt veelal een levensduur-eis van 100 jaar. Deze levensduur-eis kan op hoofdonderdelen worden overgenomen voor de niet of moeilijk vervangbare onderdelen. De levensduur-eis is bepalend voor de materiaalkeuze en het onderhoud.
Bij het vaststellen van de optimale levensduur op constructieniveau spelen financiële overwegingen een rol (minimalisatie van de som van stichtingskosten en gekapitaliseerde onderhouds- of vervangingskosten). Verder de overwegingen met betrekking tot flexibiliteit (in verband met mogelijke wensen tot aanpassing aan in de tijd veranderende eisen, door bijvoorbeeld schaalvergroting in de scheepvaart of toename van het scheepvaartaanbod). Als derde zal het begrip duurzaam bouwen een toenemende rol gaan spelen.
Voor indicatieve getallen voor levensduren wordt verwezen naar par. 2.4.15.
- **Schutbedrijf:**
 - **Bedieningstijden:**
Zoals eerder aangegeven, schept het niet continu bediend worden van sluizen mogelijkheden om de niet-beschikbaarheid ten gevolge van in te plannen onderhoud te beperken. Wel zijn de directe kosten van onderhoudswerkzaamheden buiten de bediende uren van de sluis vaak hoger omdat dit veelal avond- of nachtelijke uren zijn.
Samen met de scheepvaartintensiteit bepalen de bedieningstijden het gebruik van de sluis (aantal schuttingen per dag). Dit bepaalt op zijn beurt de benodigde onderhoudsinspanning in verband met veroudering, of bijvoorbeeld de benodigde extra maatregelen bij zeer weinig gebruikte bewegingssystemen.
 - **Bedrijfsvoering:**
Bedrijfsvoering is de wijze waarop de sluis bediend en beheerd wordt. De bedrijfsvoering moet

onder meer gericht zijn op het beperken van de niet-beschikbaarheid. Met dat oogmerk is onderscheid te maken tussen bedrijfsvoering t.a.v. preventief onderhoud (plannen van inspectie-, onderhoud of vervanging in rustige perioden, of in niet-bediende uren) en correctief onderhoud (redundantie, reserve-onderdelen).

Een duidelijk voorbeeld van bedrijfsvoering, gericht op beperking van de niet-beschikbaarheid, is het in reserve hebben en houden van vitale sluisonderdelen die mogelijk na aanvaringen niet meer kunnen functioneren, en waarvan nalevering zeer lang kan duren. Hierbij kan vooral worden gedacht aan de sluisdeuren en onderdelen van de bewegingswerken (hydraulische cilinder, heugelstang etc.)

Het is verstandig er rekening mee te houden dat de operationele eisen gedurende de levensduur kunnen veranderen. Bijvoorbeeld een schutsluis zal veelal worden ontworpen op de in de toekomst benodigde capaciteit en het bijbehorend schutbedrijf. Dit betekent dat in de eerste periode na oplevering meestal met minder schuttingen per dag gerekend kan worden. Dit kan consequenties hebben voor het in deze periode benodigde onderhoud; minder gebruik kan zowel leiden tot een lagere als een hogere betrouwbaarheid.

De hier genoemde gebruikseisen zijn eisen die de beheerder stelt. Er zijn ook nog gebruikseisen die de scheepvaart stelt. De beheerder zal deze eisen wellicht kennen en waar niet, deze inventariseren. Bij het ontwerp is er de kans om met de (verwachte) gebruikerseisen rekening te houden.

19.2.4 Omgevingseisen in het gebruiksstadium

- Esthetica:
Aan het “boven water” gedeelte van het kunstwerkcomplex kunnen eisen worden gesteld ten aanzien de verschijningsvorm en de daaraan gerelateerde onderhoudbaarheid.

19.2.5 Ontwerp- en uitvoeringsbeperkingen

Ten slotte is het van belang vast te stellen of er bepaalde beperkingen aan het project worden gesteld. Deze beperkingen worden meestal door de beheerder opgelegd en hebben veelal betrekking op het niveau van (hoofd)onderdelen of systemen.

Doorgaans is er op regionaal- of vaarwegniveau een bepaalde benadering of visie op beheer en onderhoud van kunstwerken, die leidt tot een voorkeur voor bepaalde materialen, onderdelen of systemen. Deze voorkeur kan voortvloeien uit:

- de uitwisselbaarheid van reserve-onderdelen met andere complexen (bijvoorbeeld sluisdeuren en droogzetschotten);
- de aanwezigheid van hulpconstructies (bijvoorbeeld taatskuip en drijvende bok voor het vervoer van sluisdeuren);
- hulpapparatuur of (meet)gereedschap;
- de inspectie- en onderhoudsritmen van overige kunstwerken;
- toepassen van centrale bediening en automatisering van (delen van) het bedieningsproces;
- etc.

Uit oogpunt van kostenbesparingen op zowel stichtingkosten alsmede inspectie- en onderhoudskosten kan het zeer lonend zijn hiermee rekening te houden en dus de wensen en mogelijkheden van de toekomstige beheerder goed te kennen.

19.3 Onderhoudsaspecten in het (voor)ontwerp

19.3.1 Algemeen

In de voorontwerpfase worden varianten ontwikkeld en wordt een keuze bepaald. Bij het ontwikkelen van varianten dient een inschatting te worden gemaakt over betrouwbaarheid van systemen en hoofdonderdelen, alsmede over de noodzaak voor het inbouwen van redundantie (het al dan niet dubbel uitvoeren van onderhouds- of storingsgevoelige componenten zoals keermiddelen, bewegingswerken etc.). De keuze tussen de varianten wordt onder meer bepaald op basis van kosten en milieu-effecten. Hierin dienen de kosten en de milieu-effecten van het onderhoud expliciet te zijn meegenomen.

In de ontwerpfase moet de gekozen variant, rekening houdend met onderhoudsaspecten (inspecteerbaarheid, onderhoudbaarheid), gedetailleerder worden uitgewerkt (d.w.z. op deelconstructie- en componentniveau). Dit is inclusief uitvoeringsmogelijkheden en het ontwerp van hulpmiddelen. Optimalisatie van het ontwerp vindt onder meer plaats op basis van kosten en milieu-effecten.

In de voorontwerpfase en de ontwerpfase worden min of meer dezelfde stappen doorlopen (zie tabel 19.2). Het verschil tussen het voorontwerp en het ontwerp is uitsluitend gelegen in de mate van detail, waarmee ontwerp- en onderhoudskeuzes en daarmee gepaard gaande kosten en milieu-effecten worden uitgewerkt.

- In de voorontwerpfase kan vaak worden volstaan met een globale uitwerking, maar deze moet voldoende nauwkeurig zijn om een keuze uit de diverse ontwerpvarianten te kunnen maken.
- In de ontwerpfase is een nauwkeuriger uitwerking vereist. Doel hiervan is te komen tot optimalisatie van het kunstwerk en het verkleinen van de onzekerheidsmarge van de kostenraming.

Stap	Voorontwerp	Ontwerp
Decompositie kunstwerk	Naar hoofdonderdelen	Naar onderdelen
Systeemanalyse (faalkansen en gevolgen van falen)	Kwalitatief; LKO en LKE)* op hoofdonderdelen (en evt. op onderdelen)	Kwantitatief; faalmode analyse
Toetsen aan de taakstellende betrouwbaarheidseis	Toekenning betrouwbaarheid en onderhoudbaarheid	Voorspelling betrouwbaarheid en onderhoudbaarheid, betrouwbaarheidsproeven
Harmonisatie en standaardisatie	Hoofdonderdelen	Onderdelen
Beoordeling: levensduurkosten, milieu-effecten etc.	Kentallen/richtlijnen	Kostenberekening, Levenscyclus analyse etc.

)* LKO is Lijst met Kritieke Onderdelen, LKE is Lijst met Kritieke Eigenschappen

Tabel 19.2 Stappen in het (voor)ontwerp

Eerst volgen de 10 ontwerphandreikingen, gevolgd door een toelichting op de in de tabel genoemde stappen.

19.3.2 De 10 ontwerphandreikingen

Om een goed onderhoudsgedrag van het ontwerp te bevorderen, staan de ontwerper de "10 algemene ontwerphandreikingen" ter beschikking.

- 1 Vereenvoudiging van de constructie
Gebruik zo weinig mogelijk componenten.
Verminder het aantal bewegende delen.
Vermijd nodeloze verschillen tussen componenten.
Groepeer componenten in een logische structuur.
Vereenvoudig het storingzoeken en verkort de reparatietijden.

- 2 *Pas gestandaardiseerde componenten toe*
De eigenschappen zoals belastbaarheid en onderhoudsbehoefte zijn hiervan beter bekend.
- 3 *Verbeter de toegankelijkheid en de uitneembaarheid*
Hoe vaker een component onderhoud vraagt, des te beter moet de bereikbaarheid zijn.
Zorg dat zo min mogelijk goede componenten moeten worden verwijderd om het defecte te vervangen.
Componenten moeten gemakkelijk losgemaakt en afgesteld kunnen worden, zonder dat dit ten koste gaat van de bedrijfszekerheid.
- 4 *Beheers het klimaat in ruimten*
Voorkom dat vochtigheid, temperatuur, trillingen, vuil etc. de levensduur van componenten kunnen beïnvloeden.
- 5 *Maak de constructie zoveel mogelijk modulair*
De voordelen, betrouwbaarder verbindingen binnen de modules en minder sleutelfouten, wegen op tegen de nadelen, zoals extra aansluitingen tussen de modules.
- 6 *Bevorder ongevoeligheid voor menselijke fouten*
Zorg dat sleutelfouten bij onderhoudsacties (vrijwel) onmogelijk zijn.
Ga na hoe het aantal preventieve acties, zoals smeren, aftappen, vullen en bijstellen, kan worden verminderd, en hoe montagefouten voorkomen kunnen worden.
- 7 *Bevorder ongevoeligheid voor schade*
Houd rekening met overbelastingsmogelijkheden door op de juiste plaats beveiligingen in te bouwen.
Een defecte component mag niet leiden tot gevolgschade aan andere componenten.
- 8 *Bevorder vaststellen van conditie*
De toestand van kritieke onderdelen moet op eenvoudige wijze kunnen worden vastgesteld, bij voorkeur in bedrijf.
- 9 *Pas 'eigen hulp' toe*
Smeren, nastellen, schoonmaken en andere preventieve acties moeten zoveel mogelijk automatisch worden uitgevoerd, mits daarvoor geen of slechts eenvoudige en betrouwbare extra componenten nodig zijn.
- 10 *Lever een beheer- en onderhoudsplan mee*
Het beheer- en onderhoudsplan is een essentieel onderdeel van het ontwerp.
Het dient onder meer aan te geven hoe storingen kunnen worden opgespoord.
Het plan bevordert een doelmatige uitvoering van onderhoudsacties.
Het plan dwingt de ontwerper zijn eigen ontwerp te controleren.

In de voorontwerpfase kan globaal, met het oog op onderhoudsbewust ontwerpen, al gebruik gemaakt worden van de 10 algemene ontwerphandreikingen.

19.3.3 Decompositie van het kunstwerk

Een kunstwerk is veelal een technisch systeem, opgebouwd uit verschillende onderdelen en met meerdere functies. Om te bepalen op welke wijze dit kunstwerk onderhouden dient te worden, moet het kunstwerk allereerst worden opgedeeld in onderhoudbare onderdelen (= decompositie). Daarna wordt per functie bekeken of het betreffende onderdeel al dan niet cruciaal is in de functieervulling. Deze decompositie zal veelal allereerst naar ontwerpdiscipline (C, S, W, I) worden uitgevoerd, waarna een verdere uitsplitsing plaatsvindt naar kunstwerkdelen, hoofdonderdelen en onderdelen. Een versimpeld voorbeeld van de opzet van de decompositie is weergegeven in fig. 19.1.

hoofdonderdelen/onderdelen		aantal	storing		inspectie		onderhoud		vervangen		TOTAAL	
			kans/jr	nb.	fl.	keer/jr	nb.	fl.	keer/jr	nb.	nb.	fl.
Civil												
hoofden	vloer/wand											
	hoekbescherming											
	etc.											
kolk	vloer/wand											
	schort											
	etc.											
voorhavens	grondk. constr.											
	schort											
	bodembescherming											
	etc.											
Staal												
keermiddelen	deurstel											
	draaipunten onder											
	etc.											
onderh. voorz.	droogzetschot											
	taatskuip											
	etc.											
Werktuigbouw												
bewegingsw. deurstel	tandwielkast											
	rondseleenheid											
	heugelstang											
bewegingsw. schuiven	etc.											
	spindelhefelement											
	koppelstang											
	etc.											
Electro-Installaties												
energielevering	verdeler											
	etc.											
	SCADA											
bediening/besturing	PLC											
	etc.											
	electromotor											
aandrijving	eindschakelaars											
	etc.											

Figuur 19.1 Decompositie/spreadsheet voor de bundeling van onderhoudsgegevens (in vereenvoudigde vorm)

In zijn algemeenheid geldt, dat in het voorontwerp vaak kan worden volstaan met een decompositie naar hoofdonderdelen, en dat de decompositie in het ontwerp een niveau gedetailleerder zal worden uitgevoerd. Een strakke scheiding valt evenwel niet aan te geven.

Een hulpmiddel voor het (voor)ontwerp is het kwantificeren van de niet-beschikbaarheid en onderhoudskosten per (hoofd)onderdeel in een spreadsheet (zie fig. 19.1). Uit de bijdragen van de vier onderscheiden oorzaken: storingen (Y), geplande inspecties, gepland onderhoud en geplande vervanging (Z), zijn op jaarbasis de totale gemiddelde niet-beschikbaarheid en onderhoudskosten door interne oorzaken te berekenen. Zie de laatste 2 kolommen. Hierbij moeten nog de geschatte bijdragen door natuuroomstandigheden en externe oorzaken (blokkade, aanvaringen etc.) worden opgeteld voor het totaaloverzicht.

Een dergelijk spreadsheet is onder meer toegepast voor het beheers- en onderhoudsplan voor de Tweede Sluis Lith (Lit. [19.5c]).

Voor het verkrijgen van de gegevens om het spreadsheet te vullen wordt verwezen naar onder meer de afdelingen Projecten en Diensten (PD), het ProjectBureau Onderhoud Kunstwerken (PBOK) en de binnen de Bouwdienst voor dit doel ontwikkelde onderhoudsmodellen.

19.3.4 Systeem- en faalkansanalyse

Voor het evaluaeren van de ongewenste topgebeurtenissen “verlies waterkerend vermogen” en “niet-beschikbaarheid voor schutten respectievelijk spuien en oeververbinding” worden aan de hoofdonderdelen en -systemen kansen toegekend (de zogenaamde taakstellende betrouwbaarheidseisen), waaruit de kans voor de topgebeurtenis volgt.

Zie fig. 19.2 voor een voorbeeld van de evaluatie van de ongewenste topgebeurtenis “verlies waterkerend vermogen”. Gegeven de inschattingen van faalkansen van de basisgebeurtenissen (de *in vet* aangegeven gebeurtenissen in het onderste kader van elke tak), is de kans op de ongewenste topgebeurtenis “keren faalt” te berekenen.

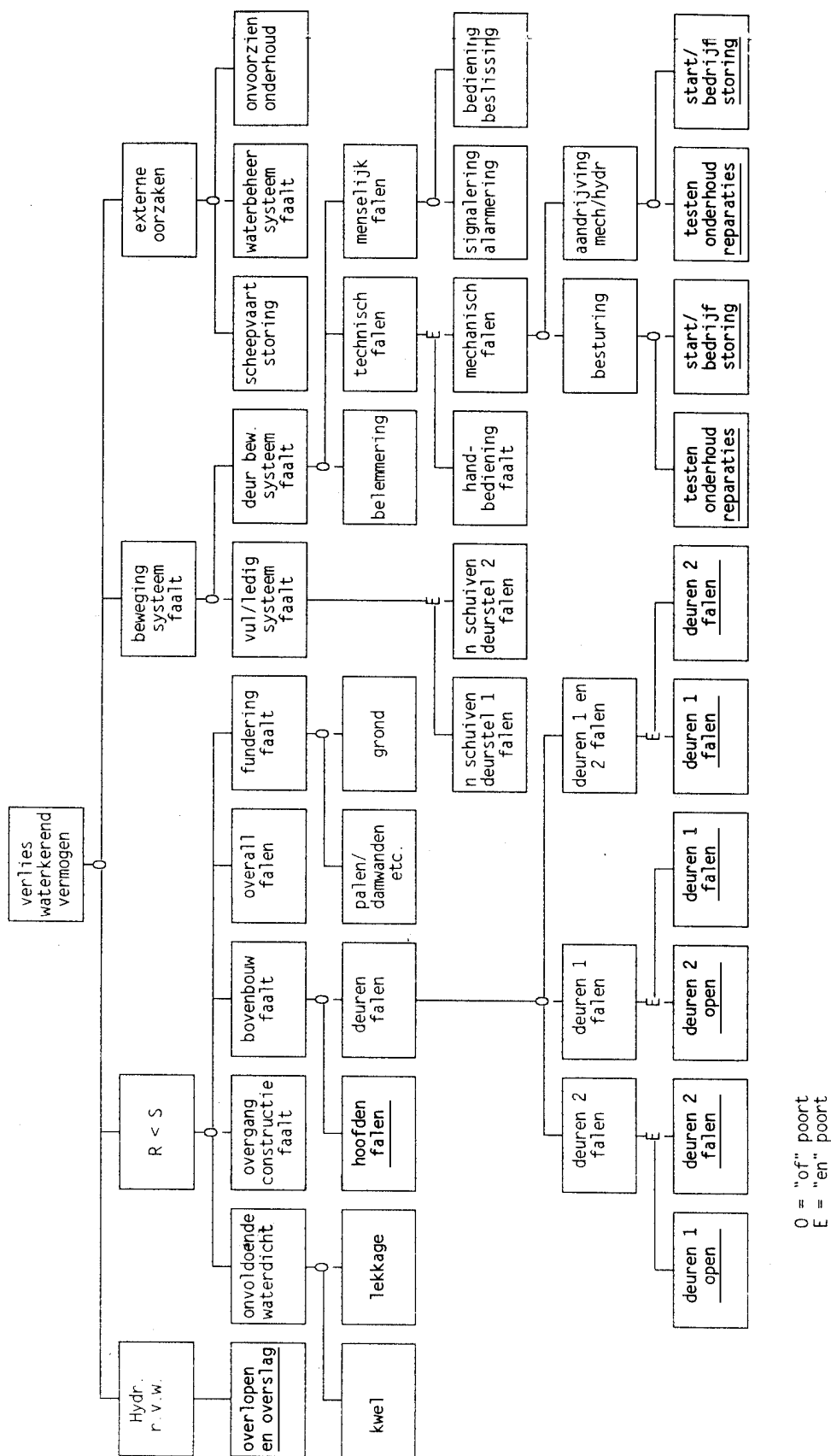
Iteratief worden ontwerpkeuzes aangepast totdat wordt voldaan aan de toelaatbare faalkansen per functie. In de voorontwerpfase zal deze analyse vooral kwalitatief zijn (indeling in “kleine” en “grote” faalkansen).

Gepland en niet-gepland onderhoud (storingen), en hun invloed op faalkansen voor onderdelen, moeten in de faalkansanalyse worden meegenomen ter bepaling van de niet-beschikbaarheid voor de vier functies. De faalkansanalyse geeft aan waar prioriteiten voor de ontwerpaanpassingen, redundantie, verdere ontwikkeling, eventueel aanvullend onderzoek en extra maatregelen tijdens de realisatie noodzakelijk zijn en welke onderhoudsstrategie het meest voor de hand ligt. Het aandeel van een component aan de faalkans van het systeem (“verlies waterkerend vermogen” of “niet-beschikbaarheid”) van het systeem kan in de ontwerpfase worden beïnvloed door veranderingen in de faalkans van de component, de downtime in geval van falen en de plaats van de component in het systeem.

In de meeste gevallen zal het ontwerp van C+S onderdelen in hoofdzaak worden toegespitst op de constructieve eisen. Door bijvoorbeeld C+S componenten onderhoudsarm te ontwerpen en toestandsafhankelijk te onderhouden, zullen deze slechts een zeer kleine faalkans hebben. Deze componenten spelen vaak een grote rol voor het waterkerend vermogen.

Daarentegen wordt het ontwerp van de W+I onderdelen vooral gestuurd door de niet-beschikbaarheidseisen voor schutten, spuien en/of oeververbinding en de kosten van onderhoud. Een belangrijk aspect van het ontwerpen van met name W+I componenten is de onderhoudbaarheid. De niet-beschikbaarheid van de componenten die gepland onderhoud, reparatie of vervanging behoeven, is afhankelijk van het vereiste onderhoudsinterval en het gemak waarmee het onderhoud kan worden uitgevoerd. De onderhoudbaarheid wordt vergroot door vereenvoudiging van het storingzoeken en het verkorten van de reparatietijden.

Andere belangrijke oorzaken van niet-beschikbaarheid zijn: calamiteiten (zoals aanvaringen) en fouten in het “beslissen, bedienen, besturen en beheren”.



Figuur 19.2 Voorbeeld evaluatie van topgebeurtenis "Verlies Waterkerend Vermogen"

19.3.5 Betrouwbaarheidstoekenning

De 'niet-beschikbaarheidsruimte' wordt door het ontwerpteam verdeeld naar hoofdoorzaken en -onderdelen. In tabel 19.3 is een voorbeeld gegeven van deze toedeling voor de functie 'schutten'.

Oorzaak van niet-beschikbaarheid functie schutten			Opdeling
X	Hydraulische randvoorwaarden (X = 2,0 %)	Onvoldoende vaardiepte	0,45 X
		Onvoldoende doorvaarthoogte	0,45 X
		Stroming of golven te sterk	0,10 X
Y	Niet-geplande stremmingen (Y = 2,5 %)	Storingen C+S	0,05 Y
		overgangsconstructie	(0,0125 Y)
		bovenbouw	(0,0125 Y)
		overall	(0,0125 Y)
		fundering	(0,0125 Y)
		Storingen W+I	0,80 Y
		brugbewegingssysteem	(0,010 Y)
		vul- en ledigingssysteem	(0,010 Y)
		deurbewegingssysteem	(0,060 Y)
Z	Geplande stremmingen (Z = 0,5 %)	Overige niet-geplande stremmingen	0,15 Y
		Inspectie/onderhoud C+S	0,45 Z
		Inspectie/onderhoud W+I	0,45 Z
		Overige geplande stremmingen	0,10 Z

Tabel 19.3 Voorbeeld van de toedeling van de niet-beschikbaarheidsruimte (Lit. [19.3])

De niet-beschikbaarheidsbijdragen van de drie onderscheiden oorzaakscategorieën X, Y en Z zijn in het (voor)ontwerp als volgt te kwantificeren.

- **X**
De niet-beschikbaarheidsbijdrage door een te lage of te hoge waterstand volgt rechtstreeks uit de drempeldiepte en constructiehoogte van de sluis waarmee het minimum-en maximum-schutpeil worden vastgelegd, alsmede de jaarlijks gemiddelde onder- en overschrijdingsduur van deze peilen waarbij (maatgevende) schepen de sluis niet meer kunnen passeren. Wind, slecht zicht of ijs kunnen een bijdrage leveren aan de jaarlijks gemiddelde niet-beschikbaarheid door natuuromstandigheden. Ook hiervoor moeten inschattingen worden gemaakt om de totale niet-beschikbaarheid door stremmingsoorzaak X te bepalen.
- **Y**
De niet-beschikbaarheidsbijdrage is te berekenen uit geschatte faalkansen van relatief storingsgevoelige systemen (werktuigbouwkundige en elektrotechnische installaties worden vaak correctief onderhouden) en de bijbehorende inschattingen van de niet-beschikbaarheid ten gevolge van storing zoeken en reparatie. De niet-beschikbaarheidsbijdrage van extern veroorzaakte storingen (aanvaringen en blokkering van deuren of schuiven door vuil) moet hierbij worden opgeteld.
- **Z**
De niet-beschikbaarheidsbijdrage van planbaar onderhoud volgt uit de benodigde onderhoudsfrequentie van onderdelen van de variant (bijvoorbeeld stalen deurstel eens per 10 jaar) en de bijbehorende inschatting van de niet-beschikbaarheid in geval van planbaar onderhoud. Aan de niet-beschikbaarheid door planbaar onderhoud wordt een grote bijdrage geleverd door de civieltechnische en stalen onderdelen, die over het algemeen preventief worden onderhouden.

Kritieke onderdelen/eigenschappen

De grootste aanspraak op de 'niet-beschikbaarheidsruimte' zal worden gedaan door de zogenaamde

'kritieke onderdelen of kritieke eigenschappen'. Bij het opstellen van de lijst van kritieke onderdelen (LKO) en de lijst van kritieke eigenschappen (LKE) moet de ontwerper die onderdelen en eigenschappen opnemen die onderhoudstechnisch mogelijk kritiek kunnen zijn ten aanzien van onderhoudskosten.

Beschikbare kennis/ervaring beheerder

De ontwerper dient bij de toekenning van de taakstellende betrouwbaarheidseisen en het daarmee samenhangende niveau van onderhoudbaarheid rekening te houden met het op de lokatie beschikbare kennis- en ervaringsniveau. Grondregel is dat de ontwerper de betrouwbaarheid moet kennen waarmee de beheerder het onderhoud kan uitvoeren. Als dit tot ontwerpproblemen leidt, moet de beheerder intensief bij een beslissing hierover worden betrokken. Dergelijke ontwerpbeslissingen worden gedocumenteerd.

C+S componenten

Voor de niet- of moeilijk vervangbare C+S componenten ligt het criterium voor onderhoudsbewust ontwerpen bij minimalisering van de som van stichtings- en onderhoudskosten, gegeven een gewenste levensduur. Bijvoorbeeld voor staal is corrosie het belangrijkste verouderingsproces. De vereiste levensduur kan worden gerealiseerd door het toepassen van (combinaties van): overdikte materiaal, conserveringen of kathodische bescherming.

W+I componenten

Voor W+I componenten ligt het criterium voor onderhoudsbewust ontwerpen bij betrouwbaarheid. Deze componenten hebben een kortere (economische) levensduur en zijn onderhoudsgevoelig. Gegeven een geëiste betrouwbaarheid, wordt een onderhoudsbewust ontwerp bepaald door minimaliseren van de som van stichtings- en onderhoudskosten.

Een belangrijk hulpmiddel bij het ontwerp van W+I componenten is de Reliability Engineering en Reliability Centered Maintenance (RE + RCM) methode (Lit. [19.1]).

Omdat bij W+I componenten in beginsel storingen niet voor 100% kunnen worden voorkomen, is het van belang om de downtime bij falen zoveel mogelijk te beperken. De geplande en niet-geplande downtime bij W+I onderdelen wordt voornamelijk bepaald door de toepassing van interfaces (losneembaarheid/plug-in), de toegankelijkheid voor onderhoud, de uitwisselbaarheid, standaardisatie, inspectie- en onderhoudsritmen en door de werkingsgraad of inschakelduur.

19.3.6 Harmonisatie en standaardisatie van onderhoudsactiviteiten

Uit de optimalisatie van stichtingskosten en onderhoudskosten (op basis van levensduurkosten) volgen voor de afzonderlijke onderdelen van het kunstwerk eigen onderhoudsactiviteiten en onderhoudsritmes. Voor het totale kunstwerk zullen deze activiteiten en ritmen op elkaar moeten worden afgestemd. Dit kan worden bereikt door harmonisatie en standaardisatie van de onderhoudsactiviteiten.

Harmonisatie

Bij de harmonisatie van het onderhoud worden de onderhoudsritmes zodanig op elkaar afgestemd dat de activiteiten met elkaar in de maat lopen. Hieraan moet de voorwaarde worden verbonden, dat de beschikbaarheid en de betrouwbaarheid van de constructie niet worden aangetast. Vooral op kritieke onderdelen mag bij harmonisatie niet het onderhoudsritme worden verlengd, tenzij de effecten marginaal zijn.

Bij de harmonisatie moet ook worden nagegaan in hoeverre "kostenolifanten" in het onderhoud na verloop van jaren kunnen voorkomen, bijvoorbeeld voor het groot onderhoud van deuren. Spreiding van deze kosten kan worden gerealiseerd door te schuiven met begindata van onderhoudsregels, bijvoorbeeld door het groot onderhoud van de deuren in het boven- en benedenhoofd in de tijd te spreiden.

Om schattingen te kunnen maken van kosten en niet-beschikbaarheid ten gevolge van inspectie en onderhoud dienen in overleg met de beheerder aannamen te worden gedaan over de te clusteren activiteiten, de aan te houden inspectie- en onderhoudsritmes, de te verwachten kosten en de niet-beschikbaarheid van de sluis.

Standaardisatie

Onder standaardisatie van onderhoud wordt verstaan het type onderhoud over verschillende onderde-

len gelijksoortig maken. Dit geldt zowel binnen het beschouwde kunstwerk, als tussen kunstwerken onderling binnen één directie.

Als voorbeeld kan genoemd worden het gebruik van een beperkte set smeermiddelen, om onderhoud eenvoudiger en goedkoper te maken en de kans op het toepassen van het verkeerde smeermiddel te verkleinen. Andersom geldt dat het kritisch zijn van een smeermiddel voor een bepaalde component, bekend moet zijn bij de beheerder en de onderhoudsdienst.

Een andere vorm van standaardisatie, die eveneens een gunstig effect heeft op de betrouwbaarheid en de kosten van onderhoud, is het zoveel mogelijk toepassen van gestandaardiseerde onderdelen, bij voorkeur van vaste leveranciers, met als voordeel dat de betrouwbaarheid bekend is en dat deze niet met behulp van dure en tijdrovende betrouwbaarheidstesten moet worden vastgesteld.

Eén en ander vraagt dat de ontwerper vertrouwd is met de mogelijke onderhoudsstrategieën en de wensen en de mogelijkheden van de beheerder op dit gebied kent. De mogelijkheden voor harmonisatie en standaardisatie worden vergroot indien bij het ontwerp van deelsystemen al rekening is gehouden met de volgende aandachtspunten:

- de strategie moet eenduidig zijn, dus geen onderdelen bevatten die een verschillende benadering vragen;
- de levensduurkosten moeten optimaliseerbaar zijn, d.w.z. de invloed van verschillen in onderhoudsbenadering moet kwantificeerbaar zijn;
- de gevoeligheid voor een afwijkende strategie mag niet te groot zijn, in verband met harmonisatie zal op deelsysteemniveau van het optimale worden afgeweken;
- een grote gevoeligheid voor deelsystemen met een hoog risico moet worden vermeden.

19.3.7 Beoordeling

De (netto contante waarde van de) levensduurkosten van het kunstwerk hangt af van de volgende kostenposten:

- de stichtingskosten;
- de exploitatiekosten
 - kosten van inspectie en onderhoud, inclusief vervangingskosten van onderdelen met kortere levensduur, bijvoorbeeld hydraulische slangen;
 - overige exploitatiekosten, bijvoorbeeld energie- en bedieningskosten;
- de sloopkosten;
- de risicokosten in verband met gevolgschade bij functieverlies. Dit betreft vooral de stremmingskosten voor de scheepvaart. In de niet-beschikbaarheidseis is de geaccepteerde stremming vastgelegd.

In de voorontwerpfase kan worden volstaan met een kostenberekening op basis van kosten-kentallen, waarbij de onderhoudskosten bijvoorbeeld als percentage van de stichtingskosten zijn gegeven. Merk op dat dergelijke kentallen uitsluitend bedoeld zijn voor de onderlinge vergelijking van verschillende systemen of hoofdonderdelen. Voor sub-optimalisatie (bijvoorbeeld binnen een gekozen systeem) zijn de kentallen niet geschikt. In de ontwerpfase moet een gedetailleerde berekening worden gemaakt.

Voorbeeld

Een afweging die in de voorontwerpfase nogal eens wordt gemaakt betreft de keuze van de drempelhoogte in het bovenhoofd in combinatie met de deurhoogte, en de hiermee mogelijke besparing op reserve-deurstellen.

Als voordelen van een zo hoog mogelijke drempel in het bovenhoofd (variant A) zijn te noemen dat de deurhoogte minimaal is, dat het benodigde vermogen van de bewegingswerken wordt verkleind, en dat de constructie minder gevoelig is voor aanslibbing. Wel zijn twee reserve-deurstellen nodig. Variant B is identiek, met dien verstande dat wordt afgezien van reserve-deurstellen. Dit manifesteert zich in een hogere niet-beschikbaarheid van de sluis.

Tegenover de voordelen van een hoge drempel staan de nadelen van ongelijkvormigheid. In geval van gelijke drempelhoogte (variant C) hoeven eventuele reservedeuren niet dubbel te worden gemaakt, zijn er vanwege uitwisselbaarheid minder reserve-onderdelen van de bewegingswerken nodig. Verder geldt voor alle bewegingswerken dezelfde onderhoudsbenadering.

In tabel 19.4 worden op basis van fictieve getallen de vergelijkingskosten over de levensduur van beide varianten bepaald. Alleen de subtotalen per kostensoort zijn vermeld; uiteraard zullen deze in de praktijk nog naar hoofdonderdelen worden gespecificeerd.

Uit de tabel blijkt dat variant C (de variant met gelijke drempelhoogte in boven- en benedenhoofd) de voorkeur verdient boven de varianten A en B. Het verschil met variant A wordt vooral veroorzaakt door zowel lagere stichtingskosten als onderhoudskosten. Variant B blijkt de hoogste kosten te geven, ten gevolge van de aanmerkelijk hogere indirecte kosten.

Kostensoort	A: ongelijke hoofden, 2 reserve deurstellen	B: ongelijke hoofden, geen reserve deurstellen	C: gelijke hoofden, 1 reserve deurstel	Opmerkingen
Directe kosten				
– Stichtingskosten	36,4	35,0	35,7	
– Exploitatiekosten				
- onderhoudskosten (CW)	17,0	15,0	16,0	) ¹
- operationele kosten (CW)	17,6	17,6	18,0	) ²
– Sloopkosten (CW)	0	0	0	) ³
Indirecte kosten				
– Stremmingskosten (CW)	25,3	30,6	25,3	) ⁴
Totale kosten	96,3	98,2	95,0	
CW: contante waarde bij levensduur 100 jaar en reële rentevoet van 2% opmerkingen) ¹ kosten van herstel na storingsen, functioneringsinspecties, technische inspecties, vast onderhoud, variabel onderhoud, vervanging en evt. renovatie; het verschil wordt voornamelijk bepaald door het aantal reserve deurstellen en bewegingswerken) ² ca. 50% salariskosten en ca. 50% overige kosten (waaronder energiekosten)) ³ contante waarde sloopkosten na 100 jaar verwaarloosbaar) ⁴ uitgaande van een niet-beschikbaarheid van 4%, 5% en 4% voor A, B en C, een scheepvaartintensiteit van 5.000 à 10.000 schepen/jaar, en één dag omvaartijd in geval van geplande stremmingen.				

Tabel 19.4 Vergelijkingskosten ontwerpvarianten (in Mfl)

In de ontwerpfasen wordt de gekozen variant verder uitgewerkt en geoptimaliseerd, niet alleen met het oog op de uitvoering maar ook met het oog op de gebruiksfase. Hiertoe moeten naast de stichtingskosten de exploitatiekosten eveneens nauwkeuriger worden ingeschat. Bovendien kan de in de gebruiksfase te verwachten niet-beschikbaarheid nauwkeuriger worden ingeschat.

Naast optimalisatie van het ontwerp zijn genoemde inschattingen van belang voor het op te stellen beheer- en onderhoudsplan waarmee onderhoudsinformatie van het ontwerpteam aan de beheerder wordt overgedragen (zie par. 19.5).

Duurzaam bouwen

Elke ontwerpvariant moet worden getoetst aan de beleidsdoelstellingen met betrekking tot “duurzaam bouwen”. Dit betekent dat bijvoorbeeld de toegepaste materialen worden bekeken op prijs en benodigde hoeveelheid grondstof, de hoeveelheid energie die een produkt eist, de verwerkings- en transportkosten en de mogelijkheden van herverwerking na de sloop.

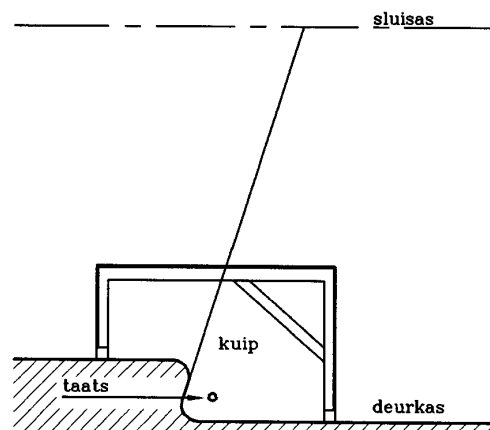
Uitgangspunt is dat voor mogelijk “milieu-kritieke onderdelen en materialen” een levenscyclus-analyse wordt uitgevoerd waarbij alle potentiële effecten, van wieg tot graf, in kaart worden gebracht. Aan elke variant kan dan een “milieu-score” worden toegekend. In voorkomende gevallen kan worden volstaan met reeds eerder ontwikkelde richtlijnen over het gebruik van mogelijk milieubelastende materialen.

Naast bovenstaande aspecten zullen varianten ook worden getoetst op hinder voor de omgeving en planologische inpassing, ontwerp- en bouwtijd, doorlooptijd en de risico-marges voor de opdrachtgever.

19.4 Maatregelen ter beperking van de niet-beschikbaarheid in de gebruiksfase

Om aan niet-beschikbaarheidseisen te voldoen, kan gedacht worden aan onder meer de volgende maatregelen:

- Het opnemen van redundantie ('dubbel uitvoeren') in het ontwerp voor kritieke onderdelen. Hiermee wordt het onderhoud van deze kritieke onderdelen minder kritisch. Enkele voorbeelden:
 - de sluis voorzien van een noodstroomvoorziening, of mogelijkheden tot handmatige bediening;
 - het maken van een tussensluishoofd (mits de deelsluis voldoende mogelijkheden biedt om door te schutten);
 - elk sluishoofd voorzien van een dubbele kering (zie bijvoorbeeld de dubbele roldeuren in de hoofden van de zeesluis in Terneuzen).
- Voor kritieke onderdelen zoveel mogelijk uitgaan van gepland onderhoud in plaats van niet-gepland onderhoud. Immers, gepland onderhoud leidt meestal tot een lagere niet-beschikbaarheid, omdat dit kan worden uitgevoerd in tijden waarin de sluis niet wordt bediend, en omdat deze vorm van onderhoud veelal ruim van tevoren kan worden aangekondigd, zodat de scheepvaart er rekening mee kan houden. Dit betekent dat systemen met een meetbaar of bekend verouderingsgedrag de voorkeur verdienen. De beheerder moet weten bij welke conditie of levensduur de kans op niet-geplande storingen toeneemt, en wat daarvan de consequenties kunnen zijn voor de niet-beschikbaarheid van de sluis.
- Het in het ontwerp treffen van voorzieningen en het leveren van hulpmiddelen om groot onderhoud zo efficiënt mogelijk te kunnen uitvoeren, bijvoorbeeld:
 - het kunnen droogzetten van de kolk of de hoofden met behulp van bijvoorbeeld droogzet-schotten;
 - het leveren van reserve-deuren en het uitwerken van een draaiboek voor deurenwisseling;
 - het beschikbaar hebben van een taatskuip (fig. 19.3).



Figuur 19.3 Schema van een taatskuip

- Het zo snel mogelijk kunnen herstellen van niet-geplande storingen, door het in reserve hebben van relatief kwetsbare onderdelen waarvoor een lange levertijd geldt (bijvoorbeeld hydraulische cilinders, heugelstangen) en een snelle signalering (een afdoende alarmering/signaleringssysteem).

Merk op dat de meest effectieve maatregelen al in de ontwerpfase moeten worden getroffen. In een later stadium kan de beheerder slechts enkele maatregelen treffen (bijvoorbeeld het in reserve houden van onderdelen of het alsnog laten maken van reserve-deuren).

19.5 Het beheer- en onderhoudsplan

19.5.1 Algemeen

Het beheer- en onderhoudsplan (B&O-plan) is een document dat alle informatie bevat die nodig is om de sluis te beheren en in stand te houden. Het B&O-plan bestaat uit technische gegevens van de sluis en planningsgegevens met betrekking tot het inspecteren en onderhouden van de sluis. Deze planningsgegevens worden verwerkt tot een zgn. instandhoudingsplan als onderdeel van het B&O-plan, waarin de kostenaspecten van het variabel onderhoud in beeld worden gebracht. Zie Handreiking Beheer- en onderhoudsplannen (Lit. [19.4]).

Het B&O-plan wordt door het ontwerpteam opgesteld en bij oplevering van de sluis aan de beheerder overgedragen. Hiermee wordt de onderhoudsinformatie van het ontwerpteam doorgegeven aan de beheerder, zodat naast een beschrijving van de sluis ook de visie op het onderhoud zoals dit tijdens het ontwerp is ontwikkeld, bij de beheerder bekend is. Het B&O-plan vormt uiteindelijk weer een onderdeel van het door de beheerder zelf op te stellen beheersplan van de sluis.

Het B&O-plan wordt vanaf het Programma van Eisen tot en met de uitvoering van de sluis stap voor stap opgebouwd, en is gebaseerd op:

- het Programma van Eisen, waarin ook de wensen en eisen van de beheerder zijn opgenomen;
- de kennis van de ontwerper;
- de resultaten van de uitvoering (afwijkingen, geconstateerde gebreken, het gebruik van hulpconstructies etc.);
- informatie van aannemers en leveranciers;
- de algemene ervaring van de beheerder met soortgelijke constructies.

Het B&O-plan bevat informatie in termen van wenselijk of noodzakelijk geachte onderhoudsacties, en is gebaseerd op functionele specificaties (eisen waaraan componenten op het punt van faalkans, beschikbaarheid en betrouwbaarheid moeten voldoen), productspecificaties, meetgegevens uit afnametesten en nulinspecties (vormen referentiewaarde voor latere onderhoudsmetingen). Verder bevat het plan aanwijzingen m.b.t. de planning van onderhoud en de verwachte budgetstroom (per systeem/onderdeel, gesplitst naar gemiddeld jaarlijks onderhoud en kostenolifanten).

19.5.2 Inhoud van het beheer- en onderhoudsplan

Het B&O-plan heeft de volgende indeling:

- 1 Inleiding;
- 2 Objectidentificatie;
- 3 Onderhouds- en inspectieplanning.

De volgende bijlagen horen bij het B&O-plan:

- I Randvoorwaarden en uitgangspunten t.a.v. het ontwerp;
- II Statische gegevens;
- III Systeemanalyse;
- IV Dynamische gegevens;
- V Gegevensverwerking;
- VI Toelichting inspecties en onderhoud;
- VII Overdrachtgegevens.

Hierna worden de onderdelen van het B&O-plan toegelicht.

1 Inleiding

De inleiding beschrijft de doelstelling en de doelgroep van het B&O-plan. Verder de structuur en de gebruiksaanwijzing van het plan.

2 Objectidentificatie

In de objectidentificatie wordt aangegeven op welke sluis het B&O-plan betrekking heeft. Naast de naam van het object worden karakteristieke gegevens opgenomen zoals naam, topcode, type, opbouw, ligging, bouwjaar, beheerder en een overzichtstekening.

3 Onderhouds- en inspectieplanning

In de onderhouds- en inspectieplanning staat beschreven wanneer inspecties en/of onderhoud van de sluis noodzakelijk zijn. Inspectie- en onderhoudsritmen kunnen in de gegevensverwerking nader worden afgestemd. Deze onderhouds- en inspectieplanning is het eindresultaat van de verwerking van de in de bijlage opgenomen gegevens en kan alleen worden gewijzigd door die gegevens te wijzigen. Puntsgewijs levert dit:

- inspectieplanning (per onderdeel) met het inspectie-interval, de inspectiekosten en de verwachte niet-beschikbaarheid per functie;
- onderhoudsplanung (per onderdeel) met het onderhoudsinterval, de onderhoudskosten en de verwachte niet-beschikbaarheid per functie;
- totaaloverzicht geplande inspecties en onderhoudsmaatregelen.

Voorname onderhouds- en inspectieplanningen zijn gebaseerd op de volgende bijlagen:

I Randvoorwaarden en uitgangspunten (objectniveau)

Dit punt wordt afgeleid uit het Programma van Eisen. Genoemd worden de functionele en operationele eisen van de sluis, de randvoorwaarden en de voor het onderhoud van belang zijnde uitgangspunten. Randvoorwaarden zijn onveranderlijke gegevenheden terwijl uitgangspunten aanduiden die regelmatig worden getoetst en bijgesteld.

II Statische gegevens (onderdeelniveau)

Dit beschrijft de onderdelen waaruit de sluis is opgebouwd. Het schaalniveau varieert daarbij van zeer grof (betonnen sluisonderdelen) tot zeer fijn (onderdelen bewegingswerken). Onderdelen waarvoor dat zinvol is, worden voorzien van een specifieke beschrijving. Indien tekeningen en onderhoudshandleidingen beschikbaar zijn kan volstaan worden met verwijzingen. Per onderdeel volgt een beschrijving, specificaties, toleranties, tekeningen, garanties, handleidingen, uitgevoerde inspecties en uitgevoerd onderhoud/revisie. Tevens worden per onderdeel de specifieke inspectie- en onderhoudsvoorzieningen genoemd.

III Systeemanalyse (onderdeelniveau)

In de systeemanalyse wordt de sluis opgedeeld in onderdelen die een bepaalde functie vervullen (decompositie). Elk van deze onderdelen wordt geanalyseerd naar bedreigingen van de functievervulling en de bijbehorende gevolgen van falen. Hieruit worden faalkansscenario's vastgesteld (zoals foutenbomen) en kritieke onderdelen.

IV Dynamische gegevens (onderdeelniveau)

De dynamische gegevens worden gevormd door de variabelen die niet exact bekend zijn of in de tijd veranderen. Per onderdeel worden aannames en kentallen vastgelegd met betrekking tot levensduur, faalkansen en met inspecties en onderhoud samenhangende tijdsintervallen, kosten en niet-beschikbaarheid. Na oplevering dient de beheerder op basis van inspectierapporten regelmatig te toetsen of de aannames en kentallen nog juist zijn.

V Gegevensverwerking (onderdeelniveau)

In de bijlage gegevensverwerking worden de statistische gegevens, de systeemanalyse en de dynamische gegevens verwerkt. Zo worden faalkansen en kostenkentallen verwerkt tot risico's, kan worden bepaald welke onderdelen kritiek zijn en kan het onderhoud geoptimaliseerd worden. De primaire functie is de afstemming van de gegenereerde planning op de realiteit. Tevens worden inspectieresultaten verwerkt, extra inspecties worden eventueel toegevoegd en het tijdsinterval van onderhoud of vervanging wordt bijvoorbeeld gewijzigd.

VI Toelichting inspectie en onderhoud

In deze bijlage worden voor de instandhouding van de sluis de geplande inspecties, de geplande onderhoudsactiviteiten en de inspectie- en onderhoudsvoorzieningen beschreven. Hier zijn aparte inspectie- en onderhoudsinstructies voor ontwikkeld. Per onderdeel wordt aangegeven welke strategieën gekozen zijn (toestandsafhankelijk onderhoud TAO, gebruiksaafhankelijk onderhoud GAO, storingsafhankelijk onderhoud SAO).

VII Overdrachtsgegevens

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van de gegevens die bij de overdracht van de sluis aan de beheerder ter beschikking worden gesteld. Het betreft de ontwerp-/uitvoeringsgegevens (algemene gegevens, tekeningenlijst, garanties), inspectie- en onderhoudsrapporten, revisies, nul- en afname-inspecties etc.

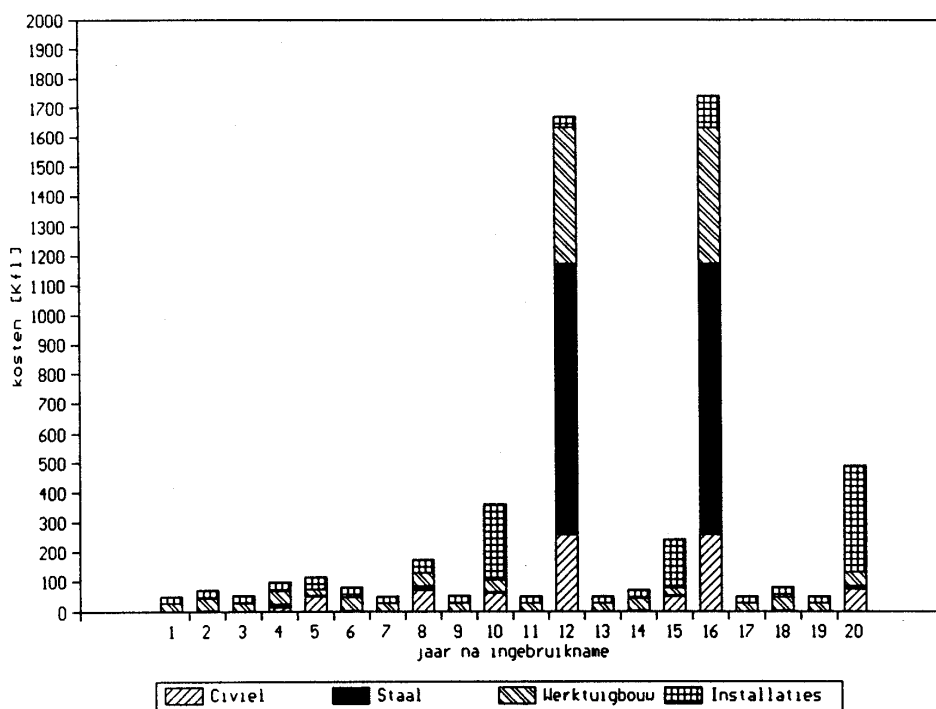
In het Beheer- en Onderhoudsplan komen de volgende specifieke zaken nog aan de orde:

Beschrijving van de geleverde componenten

- specificatie
- garantie- en onderhoudsbepalingen
- beschikbare (onderhouds)handleidingen

Kosten en downtime door inspecties en onderhoud

- uitgangspunten voor afstemming van inspectie- en onderhoudsritmen;
- overzicht van verwachte kosten en downtimes door inspecties en onderhoud van (clusters van) onderdelen (zie fig. 19.1 voor het voorbeeld van een nog niet gekwantificeerde overzichtsstaat), en het daaraan gekoppeld meerjarenoverzicht van totale planbare inspectie- en onderhoudskosten (zie voorbeeld fig. 19.4);
- lijst van kritieke onderdelen inzake onderhoudskosten en niet-beschikbaarheid (downtime).



Figuur 19.4 Voorbeeld meerjarenoverzicht inspectie- en onderhoudskosten

- Piek na 12 jaar door groot onderhoud deurstel benedenhoofd
- Piek na 16 jaar door groot onderhoud deurstel bovenhoofd

Inspectie- en onderhoudsregels

- resultaten nulinspectie en afnametesten (geboortetoestand kunstwerk, bepaald tijdens de uitvoering)
- inspectieregels (wat, hoe vaak, hoe)
 - functioneringsinspecties (met interventie- en afkeurgrenzen)
 - technische inspecties (met interventie- en afkeurgrenzen)
 - storingswacht (storingsrapportageplan)
- onderhoudsregels (wat, hoe vaak, hoe)
 - vast onderhoud
 - variabel onderhoud
- onderhoudsadvies kritieke onderdelen, met verwacht verouderingsgedrag en levensduur, en met motivering ontwerpkeuzes m.b.t. uitvoering, smeermiddel, conservering etc.
- lijst van onderhoudsvrije onderdelen
- lijst van reserve-onderdelen
- hulpconstructies

Draaiboek voor het verrichten van groot onderhoud

- bereikbaarheid en berijdbaarheid van diverse constructies door voertuigen
 - in- en uitbouwprocedures onderdelen (deuren, bewegingswerken)
 - benodigde hulpconstructies (hijsbalk, hijssoog etc.)
 - plaatsing van kranen
- In dit verband is het belangrijk dat de ervaring uit de bouwfase wordt vastgelegd (bijvoorbeeld hoe zijn de sluisdeuren geplaatst, welke hulpconstructies zijn gebruikt).

Voorbeelden van beheer- en onderhoudsplannen zijn:

- Zeesluis Muiden, Lit. [19.6a],
- Sluis Helmond, Lit. [19.6b],
- 2e Sluis Lith, Lit. [19.6c],
- Sluis Schijndel, Lit. [19.6d].

Begrippenlijst:

Contante Waarde

Naar het huidige kostenniveau teruggerekende toekomstige kosten.

Decompositie

Uiteengegrafeld geheel van onderdelen die tezamen het systeem (schutsluis) vormen.

Downtime

Duur van het niet-beschikbaar zijn van het systeem door één van de niet-beschikbaarheidsoorzaken X, Y of Z (of een combinatie daarvan).

GAO

Gebruiksafhankelijk onderhoud, na een veelal van tevoren vastgesteld aantal gebruikseenheden (omwentelingen, schutcycli, branduren etc.)

Kritieke onderdelen

Onderdelen met een relatief grote bijdrage aan de gemiddelde downtime en/of onderhoudskosten.

Niet-beschikbaarheid

Het onvermogen van een systeem om zijn functie op een vastgesteld tijdstip of gedurende een vastgestelde periode uit te voeren.

Niet-beschikbaarheidspercentage

Maat voor de niet-beschikbaarheid: $\frac{\text{downtime}}{\text{uptime} + \text{downtime}} \times 100\%$, met "uptime + downtime" is de totaal bediende tijd.

Redundantie

Meervoudig uitvoeren van een systeemdeel zodat na storing in het ene systeemdeel een ander de functie kan overnemen.

Reliability Engineering (RE)

Betrouwbaarheidsgestuurd ontwerpen door systeemdelen en componenten toe te passen waarvan de betrouwbaarheid, voor de vooraf geplande periode van gebruik, voldoende bekend is.

Reliability Centered Maintenance (RCM)

Onderhoudsstrategie waarbij de voorspelbaarheid van de betrouwbaarheid centraal staat.

SAO

Storingsafhankelijk onderhoud, na falen van een onderdeel.

TAO

Toestandsafhankelijk onderhoud, na het bereiken van een veelal van tevoren vastgestelde kwantificeerbare interventiegrens.

Literatuur:

- [19.1] 'Handboek Onderhoud Kunstwerken Natte Infrastructuur; waarborgen voor een onderhoudsbewust ontwerp', (1995), Bouwdienst Rijkswaterstaat, Utrecht.
- [19.2] 'Richtlijnen Vaarwegen' (juni 1996). Commissie Vaarweg Beheerders (CVB).
- [19.3] Opzet richtlijn 'Veiligheids/beschikbaarheidseisen voor kunstwerken Natte Infrastructuur, (concept, oktober 1995), Fugro Ingenieursbureau b.v. en Grondmechanica Delft.
- [19.4] 'Handreiking Beheer- en Onderhoudsplannen', Bouwdienst Rijkswaterstaat, 1997
- [19.5] 'Inleiding Beheer & Onderhoudssystematiek voor kunstwerken', Map 1 (systematiek) en Map 2 (referentiedocumenten), Bouwdienst Rijkswaterstaat - Projectbureau Onderhoud Kunstwerken, maart 1999

Voorbeelden van beheer- en onderhoudsplannen:

- [19.6a] Beheer- en onderhoudsplan Zeesluis Muiden.
- [19.6b] Beheer- en onderhoudsplan Sluis Helmond (1995). Witteveen+Bos Raadgevend Ingenieurs b.v. (civiel en staal) en Stork Mufac TPS (werktuigbouwkundige en electrotechnische installaties)
- [19.6c] Beheer- en onderhoudsplan 2e Sluis Lith (1996). Fugro Ingenieursbureau b.v.
- [19.6d] Beheer- en onderhoudsplan Sluis Schijndel (eind 1996). Fugro Ingenieursbureau b.v.



Foto 20.1 Reconstructie Sluis te Gorinchem

Hoofdstuk 20 **Reconstructies**

20.1 Inleiding

Het reconstrueren van een schutsluis heeft tot doel de levensduur te verlengen en de functionaliteit in bepaalde opzichten te vergroten. Tegenwoordig wordt dikwijls gekozen voor een reconstructie in plaats van nieuwbouw. Dit gebeurt niet alleen vanwege kostenbesparing, maar ook omdat nieuwbouw vaak extra tijd en nieuw ruimtebeslag vergt.

In dit hoofdstuk komen de voor reconstructies kenmerkende zaken aan de orde, meestal in de vorm van voorbeelden. De presentatie volgt alleen de grote lijnen aangezien reconstructies sterk uiteenlopend zijn, met zeer verschillende details, die afhangen van het soort sluis, de lokale situatie, de bouwperiode etc. Bij een reconstructie hangt alles samen met de bestaande toestand van de sluis. Aandachtspunten die betrekking hebben op de sluisenbouw in het algemeen, worden in andere hoofdstukken behandeld.

Begonnen wordt de mogelijke doeleinden en soorten reconstructies te behandelen (par. 20.2). Vervolgens worden zaken van de bestaande situatie uitgelegd en wel als algemeen beeld van Nederlandse sluizen en in het bijzonder die van de te reconstrueren sluis (par. 20.3). Daarna wordt uitgelegd hoe een reconstructieplan tot stand komt (par. 20.4). In par. 20.5 worden voorbeelden gegeven van reconstructies zoals een nieuwe opzet deuren, kolk, zoutbestrijdingssysteem en bediening. In par. 20.6 volgen tot slot de speciale uitvoeringsaspecten van reconstructies.

20.2 Doel en soorten reconstructie

20.2.1 Doel reconstructie

Voordat het doel van een reconstructie van een sluis aan de orde komt, wordt eerst een aantal gradaties gegeven van het aanpassen van een sluis.

- **Onderhoud**
Bij onderhoud worden bestaande onderdelen van de sluis zodanig behandeld dat deze ongestoord in dezelfde functionaliteit kunnen blijven functioneren. Bijvoorbeeld: nieuwe coating op de deur of het herstellen van gaten in de bodemverdediging.
- **Vervanging onderdeel**
Bij vervanging komt een nieuw onderdeel van de sluis in de plaats van een bestaand onderdeel. De functionaliteit kan daarbij vergroot worden. Voorbeeld met zelfde functionaliteit: een oude, geklonken deur wordt vervangen door een nieuwe gelaste deur. Voorbeeld met uitbreiding functionaliteit: een handbediende deurbeweging wordt gemechaniseerd.
- **Toevoeging onderdeel**
Een onderdeel kan aan de bestaande sluis toegevoegd worden om zijn functionaliteit uit te breiden. Bijvoorbeeld: Een luchtbellenscherm als zout- of ijsbestrijding, extra spuiopeningen in de deur of nieuwe wacht- en opstelplaatsen met geleide- en remmingwerken. Dit is een uitbreiding van het Programma van Eisen.
- **Renovatie**
Bij renovatie worden meerdere onderdelen van de sluis aangepast opdat de levensduur verlengd wordt zonder dat de functionaliteit verandert. Voorbeeld: de bestaande deuren met de deurbewegingswerken, schuiven en elektrische installatie worden door nieuwe vervangen.
- **Reconstructie**
Bij reconstructie worden meerdere onderdelen van de sluis verbouwd, vervangen of herbouwd om de levensduur te verlengen maar ook om de functionaliteit van de sluis uit te breiden. Er wordt bijvoorbeeld een nieuwe kolk in een bestaand gebouw waarbij tevens het te keren hoogwaterniveau verhoogd wordt. Dit is dan een wijziging van het Programma van Eisen.

Dit hoofdstuk behandelt de meest vergaande ingreep, te weten de reconstructie. Opgemerkt wordt dat in de praktijk de beide begrippen renovatie en reconstructie door elkaar gebruikt worden, meestal overigens wordt reconstructie bedoeld.

Het doel van een reconstructie van een bestaande sluis is tweeledig:

- de levensduur van de sluis te verlengen;
- de sluis laten voldoen aan eisen waar deze nu niet aan voldoet, dus een nieuwe, aangepaste functionaliteit wordt toegevoegd;

Reconstructie gaat dus veel verder dan normaal voorzien onderhoud: het verlengt de levensduur van de sluis en voegt bovendien iets toe aan de huidige functionaliteit. Soms is de nieuwe functionaliteit nodig om de levensduur te verlengen. Met een reconstructie kan bijvoorbeeld de bouw van een nieuwe sluis op afzienbare termijn uitgespaard worden.

Wat de levensduur betreft het volgende. Het civieltechnische deel van een sluis (hoofden, kolk en bodemverdediging) wordt in de regel gebouwd voor een periode van 100 jaar. Het staal- en werktuigbouwkundige deel (deuren en bewegingswerken) en de remming- en geleidewerken zijn voor kortere periodes bestemd, bijvoorbeeld 50 jaar, terwijl de elektrische installatie een nog kortere levensduur heeft. Het einde van een sluis of hoofdonderdelen hiervan nadert wanneer te veel onderhoud nodig is voor een ongestoorde bedrijfsvoering, dit hoeft niet per se overeen te komen met de gestelde levensduurverwachting. Door het uitvoeren van een reconstructie kan de levensduur van de sluis voor wat betreft het civieltechnische deel, met bijvoorbeeld 20 tot 50 jaar worden verlengd.

Stel dat een sluis of hoofdonderdelen hiervan niet meer voldoen aan het in de loop der jaren gewijzigde Programma van Eisen (NB. Hfdst. 2, Programma van Eisen betreft onder meer de randvoorwaarden en de functionele en operationele eisen). Te denken valt aan nieuwe eisen voor:

- Kerende functie (als nieuwe randvoorwaarde)
Door extra hoge hoogwaterstanden, wijzigingen in stuwpeilen, veranderingen in het stelsel van waterlopen, gewijzigde inzichten of door het stellen van lagere normfrequenties, kan de te keren waterstand verhoogd worden. Geëist kan worden dat de kans op falen van de kering, bijvoorbeeld als de deuren niet gesloten kunnen worden, verkleind moet worden.
- Scheepvaart (als functionele eis)
Het toelaten van grotere schepen, schepen met meer diepgang of andersoortige schepen (pleziervaart), het vragen van een snellere schutcyclustijd vanwege toegenomen verkeersdrukte of een grotere beschikbaarheid is er de oorzaak van dat de huidige sluis niet meer voldoet.
- Bedrijfsvoering (als operationele eis)
De huidige sluis is handbediend en moet gemechaniseerd worden door het aanbrengen van nieuwe bewegingswerken. Of de bediening van een sluiscomplex moet gecentraliseerd en deels geautomatiseerd worden om op het aantal personeelsleden te besparen. Door een veranderd beheer van de sluis moet het besturingssysteem gewijzigd worden.
- Waterbeheer (als milieueis)
De huidige sluis kan bijvoorbeeld niet meer voldoen aan nieuwe eisen voor het spuien, voor het waterverlies in een kanaalpand of voor het scheiden van zout- en zoetwater.
- Onderhoud (als onderhoudseis)
Onderdelen van de sluis vergen te veel onderhoud en moeten door nieuwe vervangen worden.

Mits de reconstructie technisch gezien mogelijk is, kan deze ervoor zorgen dat de sluis aan het nieuwe Programma van Eisen voldoet.

Een reconstructie heeft de volgende beperkingen:

- Huidige sluis als uitgangspunt
De huidige sluis is het uitgangspunt van de reconstructie. Verandering van de hoofdafmetingen of het drempelniveau is vaak wel mogelijk maar meestal alleen tegen hoge kosten. Uitbreiden van de functionaliteit van de sluis is in wezen beperkt mogelijk.
- Stremming sluis
Bij de meeste reconstructies valt aan stremming van het scheepvaartverkeer niet te ontkomen. De sluis zal gedurende bepaalde tijd niet beschikbaar zijn. De tijdsduur moet wel aanvaardbaar zijn.
- Gekapitaliseerde kosten lager dan bij nieuwbouw
De gekapitaliseerde kosten voor de reconstructie moeten in de regel lager uitvallen dan bij nieuwbouw. Uitzondering kan zijn als de sluis een monument is.

20.2.2 Voorbeelden reconstructie

Welk soort reconstructie wordt uitgevoerd, is afhankelijk van de aanwezige sluis en de nieuwe eisen die hieraan gesteld worden. Er bestaat zodoende een grote variatie in reconstructies. Aan de hand van voorbeelden wordt een aantal reconstructies genoemd waarbij levensduurverlenging de eerste doelstelling is. Maar er waren meer doelstellingen die kort worden aangegeven.

- Kerend niveau
Voorbeelden zijn Noorder-, Midden en Zuidersluis IJmuiden, Sluizen te Gorinchem en Vianen en (oude) Oranjesluizen (uitgevoerd of spoedig in uitvoering). Doel is levensduurverlenging, hoger kerend niveau en nieuwe operationele eisen. De werkzaamheden bestaan uit vervanging deuren, bewegingswerken en elektrische installatie, verbouw hoofden en reparatie kolkwanden. Verder vernieuwing bedieningsgebouw en remmingwerken (behalve Noordersluis) en vervanging bodemverdediging (alleen Zuidersluis).
Ook de Kleine Sluis IJmuiden valt onder deze noemer. Bij deze sluis bestaan de werkzaamheden tevens uit nieuwbouw van hoofden en kolk (langere en ondiepere kolk).

- **Scheepvaart**
 - **Drempelverlaging**

Sluis Vianen is een voorbeeld van drempelverlaging inclusief levensduurverlenging en hoger kerend niveau.
 - **Sluisverlenging**

Voorbeelden van sluisverlenging zijn sluizen in de Maasroute (gepland) met nieuwe functionele eisen (toelaten van gestrekte 2-baks duweenheden). De bouw bestaat uit verlenging kolkwanden en nieuwbouw benedenhoofd met deuren. Ook voor de Kleine Sluis IJmuiden wordt sluisverlenging in combinatie met levensduurverlenging en hogere kerende hoogte toegepast, hoewel de sluisverlenging voortkomt uit het steunen van het hoofd van de naastgelegen Zuidersluis.
 - **Tweede hoofd**

Voorbeeld van ombouw keersluis tot schutsluis, is de sluis te Zwartsluis (gepland) met nieuwe operationele eisen (minder stremmingen van de huidige keersluis). Het werk omvat nieuwbouw van een benedenhoofd met deuren.
 - **Uitbreiding geleidewerken**

De voorhavens van de Maasroute krijgen nieuwe en uitgebreidere geleidewerken voor een betere afwikkeling van het scheepvaartverkeer.
- **Bedrijfsvoering (besturing en bediening)**

Bij reconstructies wordt meestal ook de bedrijfsvoering aangepast, omdat deze sneller veroudert dan de sluis zelf. Zie de hiervoor genoemde voorbeelden. Gedacht moet worden aan een nieuwe besturing (d.w.z. fysieke infrastructuur van installaties en bewegingswerken) maar ook andere beheertoestanden (d.w.z. beslisprotocol van schutten en keren).
- **Waterbeheer**

Voorbeeld is de Bergsediepsluis (uitgevoerd). Het doel betreft nieuwe functionele eisen voor de zout-zoetscheiding. De activiteiten bestaan uit nieuwbouw van een compleet zoutbestrijdingssysteem met besturingssysteem.

20.3 Bestaande situatie

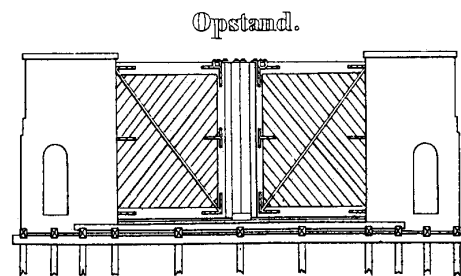
20.3.1 Sluizengeneraties

Sluizen kunnen in een aantal generaties worden onderscheiden. Als eerste generatie de sluizen die gebouwd zijn tot aan het begin van de 20e eeuw. Deze waren van metselwerk en meestal met puntdeuren van hout of ijzer. De tweede generatie betreft de sluizen die tussen de beide wereldoorlogen zijn gebouwd. Bij deze sluizen zijn de materialen beton en staal in zwang gekomen. De derde generatie sluizen zijn die van na de 2e wereldoorlog tot op heden. Bij reconstructies moet gedacht worden aan sluizen van alle generaties. Voor een uitgebreid historisch overzicht van de eerste en tweede generatie sluizen wordt verwezen naar Lit. [Arends, G.J., 'Sluizen en Stuwen', 1994].

De verschillende generaties sluizen zijn onderling sterk afwijkend. Hier worden enkele kenmerken van de verschillende generaties binnenvaartsluizen genoemd ten tijde van de bouw. Afgezien wordt van het meenemen van latere aanpassingen. Binnen één generatie zijn tal van variaties mogelijk.

1 Eerste generatie sluizen (gebouwd voor 1914) (foto's 20.2 t/m 20.5 en 20.10):

- De vervallen voor het schutten van de schepen bedragen hooguit enkele meters.
- De kolk is veelal breder dan de hoofden, soms tweemaal zo breed. De hoofden liggen in enkele gevallen niet in elkaars verlengde. De hoofden zijn gemetseld en hebben deurkassen en verticale wanden. De kolkwanden zijn gemetseld (stenen kolk) en hellen achterover of bestaan uit taluds (groene kolk) met een remmingwerk voor de taluds. Het niveau van de bovenkant van het bovenhoofd is veelal hoger dan dat van de kolkwanden en het benedenhoofd.



Figuur 20.1 Gemetseld sluishoofd

- De wanden van de kolk en de hoofden zijn vaak uitgevoerd als aparte, vrijstaande en meters dikke gewichtsconstructies in metselwerk of stampbeton (fig. 20.1). De wanden zijn afgedekt met natuurstenen platen. Slagstijlen, drempels, sponningen, hoeken en haalkommen zijn uitgevoerd in natuursteen blokken. De kolkbodem is veelal een losse bodemverdediging (bijvoorbeeld puin) of gezette steen (basaltzuilen). De bodem van het hoofd is veelal in hout of metselwerk uitgevoerd en vormt in constructief opzicht geen momentvaste verbinding met de wanden van het hoofd. Schermwanden zijn in hout uitgevoerd.
- In het verleden zijn veel puntdeuren toegepast. Bij wisselende vervallen zijn deze dubbel uitgevoerd; voor de hoogwaterkering werden aparte hoge waakdeuren of waaierdeuren toegepast. Puntdeuren zijn gemaakt in hout, voor oude zeesluizen zijn ook ijzeren puntdeuren gebruikt. De puntdeuren worden met de hand bewogen (kaapstanders, e.d.).
- Als vulsysteem zijn vaak openingen in de puntdeuren toegepast met schuiven die met de hand bewogen worden. Ook zijn in de hoofden veel omloopriolen toegepast die open- en dichtgezet worden met handbediende schuiven in de riolen.
- Als funderingen voor de gewichtsmuren zijn behalve funderingen op staal, veel houten palen gebruikt met kespen en daarop een houten vloer.

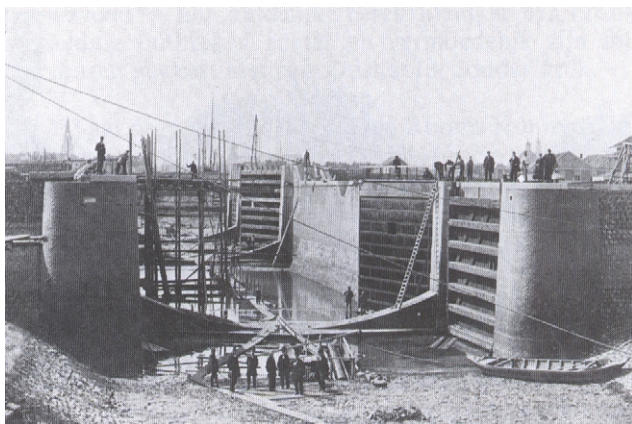


Foto 20.2 Willem III-sluys te Amsterdam tijdens de bouw in 1865 met houten en ijzeren puntdeuren

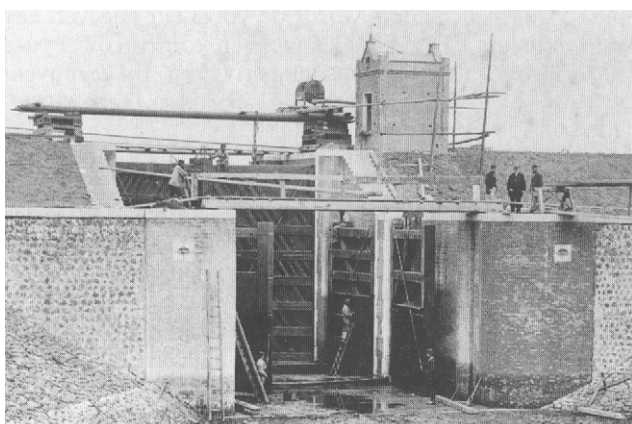


Foto 20.3 De Nieuwe Statenzijl tijdens de bouw in 1876 met eb-, vloed- en stormvloeddeuren



Foto 20.4 De Grote of Nieuwe Schutsluis in het Merwedekanaal te Vianen

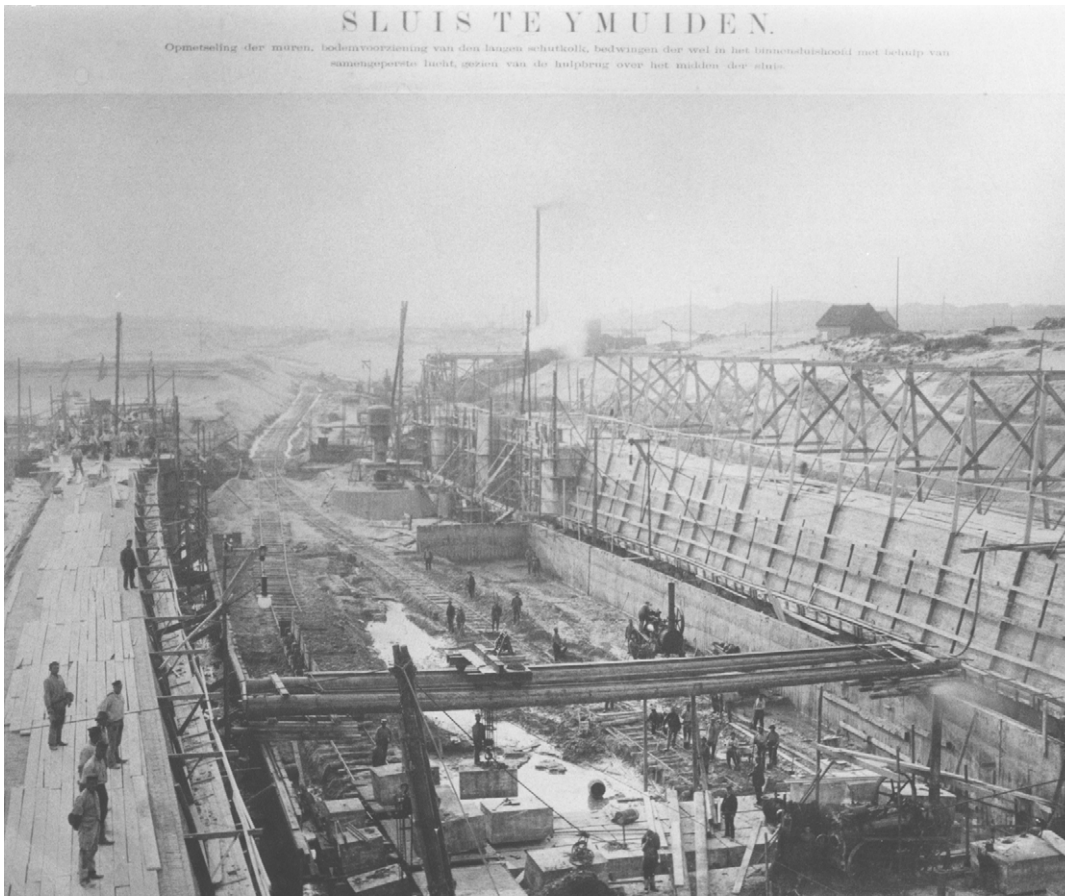


Foto 20.5 De bouw van de Middensluis te IJmuiden omstreeks 1893

- 2 Tweede generatie sluizen (gebouwd in het interbellum, dus tijdens beide wereldoorlogen) (foto's 20.6 t/m 20.9):

Na 1918 werd voor de hoofden en vaak ook voor de kolk overgeschakeld op gewapend beton en voor de deuren op staal in geklonken uitvoering. Dit leidde ertoe dat met een sluis veel grotere vervallen overwonnen konden worden. De breedte van de hoofden werd gelijkgesteld aan die van de kolk en kon toenemen tot (bijvoorbeeld) 16 m. De hoofden en vaak ook de kolk werden uitgevoerd als betonnen bakken die op staal of op betonnen palen gefundeerd werden. Behalve puntdeuren werden veel hefdeuren en roldeuren toegepast om de lengte van de hoofden en het aantal deuren te beperken. De aandrijving van de deuren werd gemechaniseerd door middel van heugelstangen, panamawielen, liertrommels etc. Bij hefdeuren bestond het vul- en ledigingssysteem uit het langzaam heffen van deze deuren. Voorhavens kregen wachtgelegenheden.



Foto 20.6 De schutsluis in de Afsluitdijk bij Den Oever omstreeks 1932

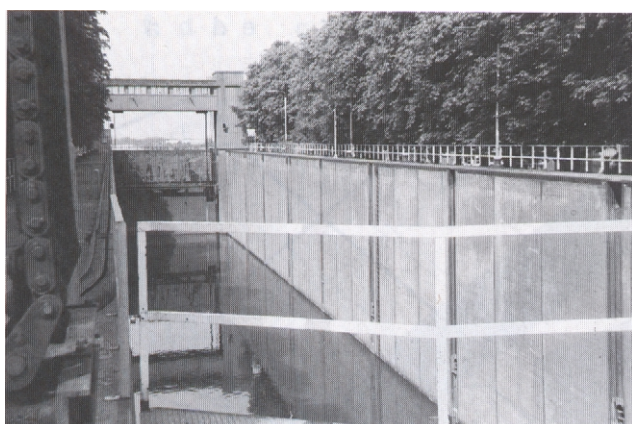


Foto 20.7 Schachtsluis te Born

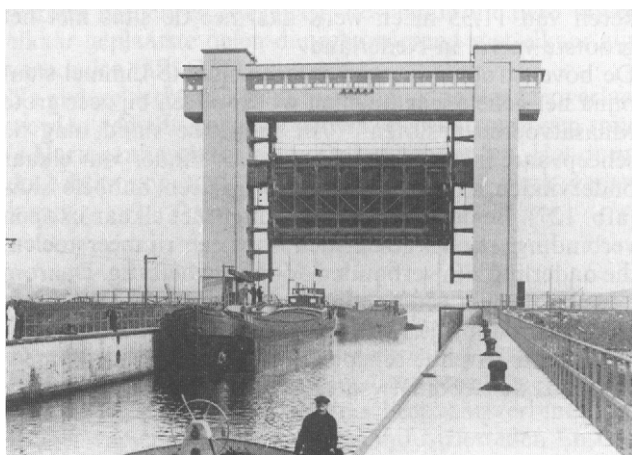


Foto 20.8 Schutsluis te Bosscheveld te Maastricht in 1932



Foto 20.9 Noordersluis te IJmuiden met roldeur (omstreeks 1930)

3 Derde generatie sluizen (gebouwd na 1945):

Bij binnenvaartsluizen neemt de kolkbreedte verder toe tot maximaal 24 m en de toegestane diepgang tot (bijvoorbeeld) 4 m. De kolkdoorsnede van een sluis met beperkte vervallen wordt vaak door middel van dam- of diepwanden (al of niet met hooggelegen L-wanden) en losse bodembescherming uitgevoerd of het is een betonnen bakprofiel. Hoofden en kolkdoorsneden met grote vervallen zijn wel gewapend-betonnen bakprofielen. De stalen deuren worden gelast. Punt- en enkele draaideuren worden veel toegepast. Eventueel kunnen ze ook negatief keren. Hefdeuren worden incidenteel toegepast, roldeuren alleen voor grote sluisbreedten. Voor de deurbeweging van punt- en draaideuren wordt naast panamawielen, heugelstangen e.d. steeds meer gebruik gemaakt van hydraulisch aangedreven cilinders. Kolknivellering vindt bij voorkeur plaats door middel van deuropeningen of met woelkelders (vullen bij grote vervallen). Veel zout/zoetscheidings-systemen zijn ontwikkeld. De voorhavens worden voorzien van ruime wacht- en opstel mogelijkheden en een fuik naar de sluismond.

Duidelijk is dat reconstructie van een sluis uit de 1^e of 2^e generatie naar een constructie van de 3^e generatie, slechts gedeeltelijk mogelijk is: een 1^e generatie sluis blijft praktisch gezien een 1^e generatie sluis. Wel kan door reconstructie de sluis in staat van vrijwel nieuw worden teruggebracht. Daarbij kan tevens de functionaliteit van de sluis in bepaalde opzichten uitgebreid worden: bijvoorbeeld een hogere keren-de hoogte, vlottere scheepsafhandeling, mechanisering, automatisering. Tegenwoordig worden vooral 1^e generatie sluizen gereconstrueerd. In de toekomst zullen dat ook sluizen van de 2^e generatie worden.

20.3.2 Vastleggen huidige situatie

Uit de huidige toestand van een sluis moet blijken of reconstructie volgens de gewenste eisen mogelijk is. Voorafgaand aan de reconstructie wordt deze toestand beschreven aan de hand van bestaande tekeningen, onderhoudsrapporten, meetrapport en grondonderzoek.

a Bestek, tekeningen en berekeningen

Aan de hand van het bestek, de oorspronkelijke berekeningen en bouwtekeningen, alsmede eventuele tekeningen van latere aanpassingen wordt duidelijk hoe de sluis in elkaar zit of behoort te zitten. Met sluis wordt bedoeld hoofden, kolk, deuren, bewegingswerken en elektrische installatie, fundering en bodemverdediging.

b Staat van onderhoud

Inspectierapporten moeten worden opgesteld van de hoofden, de kolk, de bodemverdediging en de deuren met de deurbeweging. Alle zichtbare delen boven en onder water moeten visueel geïnspecteerd en - daarmee ook - beoordeeld worden op mogelijke gebreken. Bij onvoldoende ge-

vens van de sluis kan het gewenst zijn door middel van boringen de mechanische eigenschappen van beton en metselwerk te laten onderzoeken. Dan kan ook de eventuele aantasting door carbonatatie en chloride-indringing worden onderzocht.

– Wanden

Bij de visuele inspectie van gemetselde wanden van baksteen met natuursteen moet gelet worden op scheuren, afgebroken hoeken, beschadigingen, voegen, verkleuringen, kalkuitslag, verbinding natuurstenen blokken met baksteen etc.

Bij betonnen wanden wordt gelet op scheuren, afgebroken hoeken, grindnesten, blootliggend wapeningsstaal, betonrot etc.

Bij damwanden als kolkwanden wordt nagegaan in welke staat deze en zijn verankeringen zich bevinden. Gelet wordt op de toestand van de bolders, haalkommen, trappen, dekzer- en hoekprofielen. Geïnspecteerd wordt zowel boven water (bij laagste waterstand, eventueel schoonmaken wand) en als onder water (met duikers). Bij onzekerheid wordt nog verder gezocht door beperkte ontgravingen of cilinders uit de wanden boren.

– Vloer

De gehele vloer van de sluis en ook de gedeelten direct buiten de sluis worden door duikers geïnspecteerd. Bij losse bodemverdediging wordt nagegaan of de oorspronkelijke topklaag nog aanwezig is. Bij gezette steen wordt nagegaan of de vloer geheel gesloten is. Bij een betonnen vloer wordt gekeken naar beschadigingen, voegen, aansluiting wanden etc. Verder wordt gekeken of zich gezonken vuil in de kolk bevindt.

– Hoofden

Speciale aandacht vereisen de hoofden. Is de drempel intact, zijn de deurkassen met de verticale aanslagen in orde? Hoe zijn de taats en de halsbeugel; desnoods wordt een deur tijdelijk verwijderd en met een taatskuip de taats geïnspecteerd. Treedt er veel lek op langs de aanslagen van de deur en de schuiven. In welke staat verkeren de eventuele omloopriolen? Is er veel kwel onder de sluis en zijn de onder- en achterloopheidsschermen voldoende diep (opm. dit is moeilijk te constateren)?

– Fundering

Nagegaan wordt of de sluiswanden of het hoofd niet verzakt zijn. Zijn de palen onder het hoofd en de kolkwanden aangetast?

– Deuren en bewegingswerken

Nagegaan wordt in welke staat de deuren met de bewegingswerken en de schuiven zich bevinden. Treedt er in houten deuren houtrot op of in stalen deuren veel corrosie? Hoe zijn de afdichtingen en de aanslagen, treedt er veel lek op? Is de deur beschadigd door aanvaringen? In welke staat bevinden de bewegingswerken zich?

– Elektrische installatie

Zijn de elektrische installatie en het besturingssysteem nog veilig en betrouwbaar?

Het inspectierapport moet een beoordeling van de huidige situatie geven. Foto's van details en video-opnamen van de onderwaterinspectie worden bijgevoegd.

c Meetrapport

Behalve een onderhoudsrapport wordt een maatvoeringsrapport van de sluis opgesteld. Via metingen wordt nagegaan wat de precieze sluisafmetingen en de diverse niveaus zijn (drempels, bovenkant deur en wanden). Gemeten wordt of de wanden van de kolk en de hoofden verzakt zijn of voorover hellen. De deurkassen met de aanslagen en de drempels worden exact ingemeten.

De gemeten waarden worden vergeleken met oude bouwtekeningen om een indruk te krijgen van mogelijke verzakkingen of kantelingen van de hoofden of de kolkwanden.

d Grondmechanisch onderzoek

Door middel van een aantal sonderingen en boringen direct naast of zo mogelijk in de sluis wordt inzicht in de grondslag verkregen. Met peilbuizen langs de sluiswanden wordt de grondwaterstand in de tijd gevolgd.

20.4 Vaststellen van een reconstructieplan

20.4.1 Algemeen

Bij nieuwbouw van een sluis hangt de gekozen constructie nauw samen met hoe de sluis op de betreffende locatie gebouwd kan worden. Bij reconstructie van een sluis is de te kiezen constructie volledig afhankelijk van hoe deze in de bestaande sluis ingepast kan worden. Bijvoorbeeld: draaipunten van de deuren (al of niet aan te passen) die zwaarder belast worden, moeten wel in staat zijn hun hogere belastingen naar de bestaande vloer en wanden over te dragen. Het zal duidelijk zijn dat er geen standaard-reconstructies bestaan; elke reconstructie staat op zich zelf.

De aanpak van een reconstructie is net zo projectmatig als voor nieuwbouw. Elke fase wordt doorlopen met daarbij de vereiste faseresultaten zoals Programma van Eisen, Varianten-/Voorontwerpnota, Ontwerpnota, Bestek, Raming en Planning. Zie de hoofdstukken 2 (Programma van Eisen) en 3 (Ontwerpproces). Om een reconstructieplan te maken, worden na het opstellen van het Programma van Eisen, eerst de te reconstrueren onderdelen benoemd. Daarna wordt een varianten-/voorontwerpnota opgesteld.

20.4.2 Sluisonderdelen

Na opstellen van het Programma van Eisen wordt een lijst met onderdelen van de sluis opgesteld. Dit kan gebeuren volgens disciplines of door de inzet van werkgroepen.

De belangrijkste constructie-onderdelen van een sluis zijn duidelijk te maken als deze gegroepeerd worden per discipline.

- Civiel-technische werken:
 - Sluishoofden (wanden, vloer en fundering; deuren, deurnissen, riolen, bewegingswerkkelders, heftorens en brug; draaipunten, railbanen, drempels, deuraanslagen, sponningen en hoe-ken);
 - Sluiskolk (wanden en vloer; ladders, bolders, voegen en hoeken);
 - Front- en fuikwanden (dam-, diep- of keerwanden);
 - Achter- en onderloopsheidsschermen;
 - Remming- en geleidewerken;
 - Bedieningsgebouw en/of technische ruimten voor installaties;
 - Bodem- en oeververdedigingen.
- Staalbouwkundige werken:
 - Deuren;
 - Schuiven;
 - Beweegbare brug.
- Werktuigbouwkundige zaken:
 - Bewegingswerken voor deuren, schuiven en brug;
 - Hydraulische of elektrische aandrijvingen.
- Installatietechniek:
 - Elektrotechnische installatie (energievoorziening, bedieningsinstallatie, beseining, communicatiemiddelen, camera's, radar, verlichting etc.);
 - Besturingssysteem (hard- en software).

Deze constructie-onderdelen worden ook wel samengevoegd tot een kleiner aantal (en meer werkbare) hoofdonderdelen van de sluis die alle hun eigen faalkans hebben en behandeld worden door de verschillende werkgroepen. Als hoofdonderdelen kunnen genoemd worden:

- Sluishoofden
- Sluiskolk
- Sluisdeuren & bewegingswerken
- Bodembescherming

- Toeleidingswerken
- Brug
- Bedieningsgebouw & technische ruimten
- Elektrotechnische installatie & besturing etc.
- Verdere hoogwaterkering, terreinen etc.

20.4.3 Voorontwerptraject

In het voorontwerptraject zijn activiteiten te onderscheiden die niet per se achter elkaar hoeven te verlopen:

- I Vaststellen welke hoofdonderdelen gewijzigd moeten worden;
- II Bepalen van de inhoud van de wijzigingen per hoofdonderdeel;
- III Controleren van het functioneren van de sluis als geheel;
- IV Nagaan van de uitvoering van de werkzaamheden;
- V Opstellen kosten en tijdplanning.

ad I Vaststellen welke hoofdonderdelen gewijzigd moeten worden

Uit een analyse van de bestaande situatie, de gevraagde levensduurverlenging en het Programma van Eisen wordt nagegaan welke hoofdonderdelen van het sluiscomplex nog voldoen en ongewijzigd kunnen blijven en welke hoofdonderdelen gewijzigd moeten worden. Daarbij kan geen hoofdonderdeel of eis onbesproken blijven om te voorkomen dat pas in een laat stadium bekend wordt dat ook nog andere hoofdonderdelen aangepast moeten worden. Voorbeelden:

- een hogere deurbelasting vereist niet alleen zwaardere deuren maar vaak nieuwe draaipunten en versterking van de sluishoofden;
- bij de aanvankelijke gedachte om alleen de in slechte staat verkerende deuren te vervangen blijkt vervolgens dat het huidige vulsysteem niet voldoet, wat alsnog aanpassing van het vulsysteem vereist;
- bij nieuwe bewegingswerken horen meestal ook een nieuwe elektrische installatie en een aangepast besturingssysteem.

ad II Bepalen van de inhoud van de wijzigingen per hoofdonderdeel

Na het vaststellen van de te wijzigen hoofdonderdelen, worden de algemene randvoorwaarden en eisen uit het Programma van Eisen vertaald naar de verschillende te wijzigen hoofdonderdelen. Dit resulteert in een overzicht van randvoorwaarden en functionele eisen per hoofdonderdeel.

Vervolgens wordt nagegaan hoe ver de wijzigingen per hoofdonderdeel gaan en wat deze precies inhouden. Hoe ver het wijzigen van een hoofdonderdeel kan gaan, blijkt uit de volgende mogelijkheden:

- vervangen of vernieuwen (bijv. nieuw deurbewegingswerk, elektrische installatie of afdichtingen);
- versterken (bijv. sluisdeuren of -hoofden);
- renoveren of restaureren (bijv. kolkwanden of bedieningsgebouw);
- uitbreiden (bijv. remmingwerken);
- aanpassen (bijv. verlengen deurkassen);
- onderhouden (bijv. bijstorten bodemverdediging);
- weghalen (bijv. sluisdrempel of obstakel op de bodem);
- saneren (bijv. vervuilde grond).

Voor elk hoofdonderdeel wordt beschreven wat de wijziging inhoudt, hoe de wijziging tot stand gebracht moet worden en wat de wijzigingen kosten. Hierbij moet het volgende duidelijk zijn.

- Zijn de wijzigingen in de bestaande constructie technisch gezien mogelijk?
Voorbeeld: De fundering heeft een zekere reserve in zich. Door hogere belastingen toe te laten kan

deze reserve verdwijnen. Een lagere veiligheid kan gehanteerd worden door hogere belastingen toe te laten.

- Zijn de wijzigingen in de praktijk te realiseren?
Voor het aanpassen van een drempel moet het hoofd drooggezet kunnen worden; soms is dit niet mogelijk door de slechte staat van onderhoud van het hoofd.
- Zijn de stremmingen acceptabel?
Voorbeeld: het vervangen van deuren of het droogzetten van een sluishoofd veroorzaakt gedurende een bepaalde tijd een stremming voor het scheepvaartverkeer. Hoe lang mag de stremming duren ?
- Nieuwe bouwmethodes en -materialen?
De te vervangen hoofdonderdelen zijn meestal een groot aantal jaren geleden met de toentertijd gebruikelijke bouwmethodes en -materialen tot stand gekomen. Nieuwe bouwmethodes en -materialen zijn in de regel goedkoper, gemakkelijker uit te voeren en onderhoudsvriendelijker.
Voorbeelden: Natuurstenen blokken vervangen door beton met sterke oppervlaktelaag (goedkoper), damwanden of vloeren verankeren met behulp van groutankers (nieuwe bouwmethode), houten deuraanslagen vervangen door kunststof (minder onderhoud).
- Zijn de kosten voor de wijzigingen verantwoord?
Voorbeeld: Stijgen de kosten van de aanpassing niet uit boven nieuwbouw van het hoofdonderdeel als de levensduur in beschouwing genomen wordt.

Van hoofdonderdelen en kostbare onderdelen - zoals deuren en bewegingswerken - die voor wijziging in aanmerking komen, worden in het voorontwerp meestal een aantal varianten ontwikkeld. Deze varianten kunnen uitgaan van de oorspronkelijke, beproefde opzet of gestoeld zijn op nieuwe principes. De varianten worden getoetst aan de hand van criteria die onderling gewogen worden. Als criteria zijn onder meer te noemen:

- bedrijfszekerheid (dwz. faalkans van het hoofdonderdeel);
- duurzaamheid (dwz. tijd tussen twee onderhoudacties);
- onderhoud (dwz. kosten en hinder van onderhoud);
- bouwkosten;
- schutcapaciteit;
- milieu, duurzaam bouwen;
- uitvoeringsduur;
- toepassing innovaties.

Met deze criteria wordt de variant van het te wijzigen hoofdonderdeel gekozen. Vaak wordt nog een aparte variantennota geschreven voor alle hoofdonderdelen die op een dergelijke manier zijn behandeld.

ad III Controleren van het functioneren van de sluis als geheel

Elk hoofdonderdeel grijpt in op de andere hoofdonderdelen. Tegelijkertijd met de beschouwing per hoofdonderdeel wordt gekeken naar meerdere, samenhangende hoofdonderdelen van de sluis en naar de sluis als geheel in de nieuwe opzet. Voldoet de sluis als geheel ook aan de gestelde eisen ? De volgende voorbeelden zijn te noemen:

- is de fundering van het hoofd na het aanbrengen van een verhoogde deur stabiel genoeg onder de hogere belasting;
- kan de bodemverdediging in de sluis een over de (versterkte) buitendeur stortende straal nog wel aan;
- is de sluis na de reconstructie bestaande uit bijvoorbeeld nieuwe deuren, bewegingswerken en nivelleeropeningen, nog wel snel genoeg;
- hoewel de hoofdonderdelen op zich voldoen, kan de bedrijfsvoering na de reconstructie nog te omslachtig zijn om als moderne sluis te fungeren.

Met een risico-analyse wordt nagegaan of de hoofdonderdelen en de gehele constructie voldoen aan de gestelde faalkansnormen. Opgemerkt wordt dat de constructie nooit sterker wordt dan de zwakste schakel.

ad IV Nagaan van de uitvoering van de werkzaamheden

Nadat duidelijk is welke hoofdonderdelen gewijzigd moeten worden en wat de wijzigingen inhouden, wordt nagegaan hoe de werkzaamheden uitgevoerd moeten worden en wat voor stremming dit op kan leveren. Het kan nodig zijn voor het aanpassen van een drempel in het sluishoofd, het hoofd droog te zetten. Wanneer de vloer hier niet op is berekend moet deze tijdelijk geballast worden. Langdurige stremmingen van een sluis zonder dat een alternatieve sluis of route beschikbaar is, zijn vaak niet acceptabel. Recreatiesluizen worden alleen buiten het seizoen gestremd.

Ad V Opstellen kosten en tijdplanning

Voor het voorontwerp worden ten slotte een tijdschema en een kostenoverzicht opgesteld. Dit kan aanleiding geven om minder relevante wijzigingen of wijzigingen in niet-vitale hoofdonderdelen uit te stellen of achterwege te laten.

20.4.4 Reconstructieplan

Het onderzoeksresultaat naar bovengenoemde activiteiten wordt weergegeven in de voorontwerpnota en/of variantennota. In deze voorontwerp- en/of variantennota komen dus alle overwegingen ter sprake waarom de reconstructie moet worden uitgevoerd als voorgesteld en tevens worden keuzes gemaakt. Het reconstructieplan is hieruit afgeleid, geeft een overzicht van de wijze waarop de reconstructie uiteindelijk uitgevoerd zal worden. Verder dient het plan om het definitieve ontwerp te kunnen maken.

Door allerlei oorzaken wordt soms van het hiervoor beschreven voorontwerptraject afgeweken. De volgende kwesties kunnen daarvan de oorzaak zijn:

- het Programma van Eisen is tijdens de voorontwerpfase niet duidelijk genoeg ingevuld;
- tijdens het maken van het voorontwerp blijkt een bepaalde aanpassing niet realiseerbaar zodat voor dat onderdeel iets anders ontworpen moet worden;
- er is extra tijd voor studie nodig om de haalbaarheid van bepaalde functies van hoofdonderdelen te laten onderzoeken.

20.5 Uitwerken voorbeelden van een reconstructie

20.5.1 Reconstructie met nieuwe opzet deuren

Algemeen

Als fictief voorbeeld wordt de reconstructie van een oude (19e eeuwse) schutsluis in het benedenrivierengebied (eb en vloed gebied) genomen, waarbij de levensduur verlengd moet worden en het kerende niveau verhoogd wordt. Dit laatste is dus een uitbreiding van het bestaande Programma van Eisen.

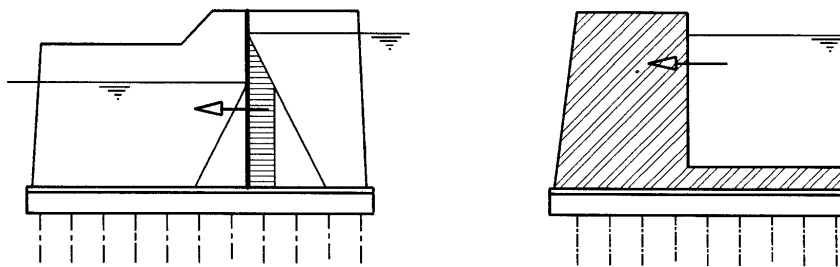
De sluis is dubbelkerend en heeft een buitenhoofd met 3 stel puntdeuren (storm-, buitenvloed- en buitenebdeuren) en een binnenhoofd met 2 stel puntdeuren (binnenvloed- en binnenebdeuren). In de deuren zijn (met uitzondering van de stormdeuren) nivelleeropeningen aangebracht. De deuren zijn enkelkerend en vrijdraaiend waardoor de vervalkracht als lijnlasten naar de wanden en de bodem van het hoofd wordt overgebracht. Sluishoofden en sluiskolk bestaan uit gemetselde gewichtsconstructies op houten palen.

Op grond van inspectierapporten blijkt dat de hoofden, de kolk en de bodemverdediging zich in redelijk goede staat bevinden en de gevraagde levensduurverlenging meekunnen. De deuren en de (handmatig bediende) bewegingswerken zijn echter in slechte staat en moeten vervangen worden. Van alle hoofdonderdelen zijn tekeningen beschikbaar.

De hoofdonderdelen die gewijzigd moeten worden, zijn de deuren (incl. nivelleeropeningen), de deuren schuifbewegingswerken (incl. aggregaten), de hoofden (bewegingswerkkelders en eventueel de draaipunten, aanslagen) en de elektrische installatie.

De geschetste problematiek is op vergelijkbare wijze aan de orde geweest bij de reconstructies van de sluizen te Vianen en Gorinchem, de oude Oranjesluizen en de Zuidersluis te IJmuiden, hoewel er op onderdelen grote verschillen zijn aan te wijzen.

Stabiliteit buitenhoofd



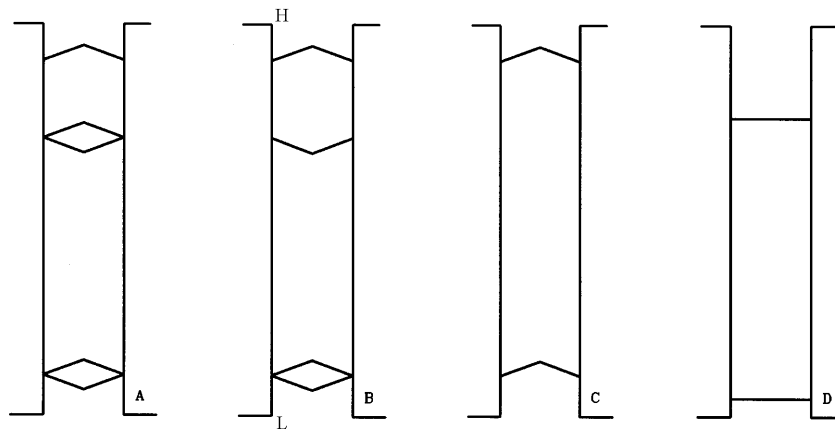
Figuur 20.2 Stabiliteit buitenhoofd

Omdat de gereconstrueerde sluis in elk geval de belasting van de nieuwe kerende hoogte moet kunnen opnemen, wordt eerst onderzocht of het bestaande buitenhoofd voldoende stabiliteit bezit (fig. 20.2). De wanden van het buitenhoofd en de stormdeuren worden daarbij opgetrokken tot de nieuwe kerende hoogte. De wanden zijn te beschouwen als twee, los van elkaar staande, keerwanden. De wanden worden in langsrichting door de vervalkracht over de deuren en in dwarsrichting door de uit de vervalkracht ontstane spatkrachten belast. De fundering van de wanden op palen wordt doorgerekend met deze en andere belastingen (water-, grond- en grondwaterdrukken) waarbij zo goed mogelijk een inschatting gemaakt wordt van de draagkracht van de houten palen. Als er stabiliteitsgevaar voor het buitenhoofd aanwezig is, moet allereerst hiervoor een oplossing worden gevonden.

Deuren

Vanwege het grote aantal te vervangen deuren in de bestaande sluis, ligt het voor de hand op het aantal te besparen, mits de veiligheid gewaarborgd blijft. De volgende varianten worden beschouwd (fig. 20.3):

- A stormdeuren en dubbele stellen puntdeuren (enkelkerend), dus de huidige situatie;
- B dubbele stellen puntdeuren (enkelkerend);
- C enkele stellen puntdeuren die ook negatief keren;
- D enkele draaideur die ook negatief keert.



Figuur 20.3 Varianten deuropstellingen

Bij alle varianten worden het buitenhoofd en de deuren aan de buitenzijde verhoogd. Voor de nieuwe bewegingswerken moeten kelders gebouwd worden. Andere deurvarianten zijn denkbaar zoals roldeuren, deze blijven echter buiten beschouwing.

Variant A komt overeen met de bestaande situatie en vereist een groot aantal nieuwe deuren: er zijn 10 puntdeuren (5 stel) met evenzovele nieuwe bewegingswerken en nieuwe kelders benodigd. Voor de nieuwe stormdeuren wordt het deurkozijn verhoogd tot de nieuwe kerende hoogte en er worden nieuwe bovendraaipunten (halsbeugels) aangebracht.

Bij variant B vervalt ten opzichte van variant A in het buitenhoofd één stel deuren. Er zijn dan 8 nieuwe puntdeuren (4 stel) nodig met evenzovele bewegingswerken en kelders.

Bij variant C zijn nog 4 maar nieuwe puntdeuren (2 stel) benodigd. De hoofdkering van de deuren is van buiten naar binnen. In de andere keerrichting (van binnen naar buiten, dus negatief keren), worden de deuren door het bewegingswerk of de grendelstang dichtgedrukt, die daarop gedimensioneerd wordt. (NB. Ervaringen opgedaan met vergrendeling van de voorharren zijn niet gunstig). Nadelen van deze variant zijn dat voor het keren in negatieve richting de krachten als puntlasten (ter plaatse van draaipunten en oplegpunt bewegingswerk) naar het hoofd overgebracht worden in plaats van als lijnlasten. Vooral bij een groot verval kan dit op haalbaarheidsproblemen stuiten. De boven- en onderdraaipunten worden daardoor zwaarder belast. Ander nadeel is dat door de beperkingen in de constructiehoogte van de deur vanwege de bestaande deurkas de deur niet erg stijf uitgevoerd kan worden zodat deze bij negatief verval zeker lekt.

In de deuren moeten nivelleeropeningen aangebracht worden die zowel de kolk kunnen vullen als ledigen. Dit geeft nivelleeropeningen die in de ene stroomrichting beter functioneren dan in de andere. Maar dit is overkomelijk.

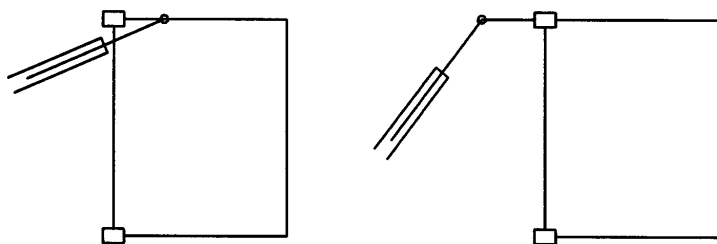
Variant D heeft slechts twee deuren, namelijk twee enkele draaideuren. De deuren staan in dichte toestand loodrecht op de sluisas en worden in de hoofdkeerrichting (van buiten naar binnen) dichtgedrukt. De vervalcracht van het water wordt, zowel bij positief als negatief keren, als puntlasten naar de wan-

den van het hoofd overgedragen. Bij negatief keren zorgt een (hydraulisch) stempel in de deurnis voor het dichtdrukken van de deur. Er is geen spatkracht op de wanden zoals bij puntdeuren. De hoofden moeten sterk aangepast worden. De deurlengte is gelijk aan de sluisbreedte waardoor de constructiehoogte van de deur (=deurdikte) groter is dan bij puntdeuren. Voor elke deur is een nieuwe deurkas vereist die 2 keer langer en ook dieper is dan de oude deurkassen. Tevens is een nieuwe deurnis nodig. De nieuwe boven- en onderdraaipunten en de bewegingswerken worden extra zwaar belast. In de deuren worden nivelleeropeningen aangebracht die geschikt zijn voor zowel het vullen als ledigen van de kolk. De snelheid van deurbeweging is kleiner dan bij puntdeuren vanwege de toegenomen krachten door het water. Bij negatief keren kan de deur lekken. Ervaring leert dat deze variant bij 19^e eeuwse sluizen geen concurrerende oplossing is, aangezien de ingrepen te omvangrijk zijn.

Uit berekeningen moet blijken of de vier varianten technisch gezien mogelijk en uitvoerbaar zijn. Dit betreft niet alleen berekeningen van sterkte en stijfheid op de deuren, maar tevens op de afdracht van de deurbelastingen naar de hoofden, de stabiliteit van de hoofden en het nivelleersysteem. Zijn alle vier varianten mogelijk, dan worden deze beoordeeld op grond van (bijvoorbeeld) bedrijfszekerheid, duurzaamheid, onderhoud, bouwkosten en schutcapaciteit.

In deze paragraaf wordt ervan uitgegaan dat variant C gekozen wordt omdat deze een beperkt aantal puntdeuren heeft en de ingrepen in de hoofden gering zijn.

Bewegingswerken



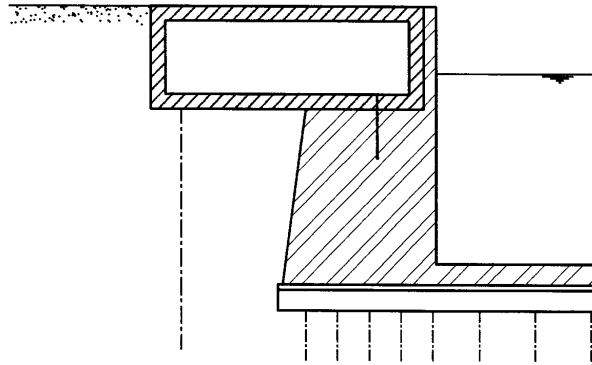
Figuur 20.4 Opstelling bewegingswerk

De gekozen deurvariant (C) wordt verder uitgewerkt naar het soort bewegingswerk. Nieuwe bewegingswerken voor de deuren worden in de regel uitgevoerd met hydraulische cilinders. Hiervan worden twee typen opstellingen beschouwd (fig. 20.4). De ene opstelling is met een hydraulische cilinder direct aan de bovenregel bevestigd op ca. $\frac{1}{3}$ van de deurlengte vanaf het bovendraaipunt. Een andere opstelling is die waarbij deuren voorzien worden van een hefboomsarm als verlengde van de bovenregel, waaraan de cilinder bevestigd is. De cilinder blijft hierbij in de kelder. Voordelen van de uitvoering met hefboomsarm is dat de cilinders beschermd zijn tegen aanvaringen en andere invloeden van buitenaf en dat de afdracht van de belasting meer in langsrichting van het hoofd plaatsvindt. Nadeel is dat de belastingen iets hoger zijn. Gekozen is voor de oplossing met hefboomsarm vanwege de genoemde voordelen.

Omdat het bewegingswerk ook voor negatief keren moet functioneren, wordt dit extra zwaar gedimensioneerd. De hydraulische cilinders van de nivelleerschuiven kunnen op dezelfde aggregaten worden aangesloten als die van de cilinders van het deurbewegingswerk. De aggregaten worden bij voorkeur in de bewegingswerkkelder in een waterdichte ruimte in de bewegingswerkkelder ondergebracht.

Kelders, draaipunten en aanslagen

Voor de nieuwe bewegingswerken zijn nieuwe kelders nodig (fig. 20.5). In elke kelder is het bovendraaipunt (halsbeugel) opgenomen. De kelder rust gedeeltelijk op de wand van het hoofd maar steekt voor een deel buiten het hoofd (grondzijde). Het uitstekende kelderdeel kan voor specifieke gevallen op palen worden gefundeerd. Deze palen kunnen niet zonder meer geheid worden; vanwege de naastgelegen wand van het sluishoofd is een trillingsvrije heimethode vereist. De kelder wordt belast door puntlasten van de hydraulische cilinder en het bovendraaipunt. De kelder wordt daarom stijf uitgevoerd zodat



Figuur 20.5 Bewegingswerkkelder

deze de belasting gespreid kan doorgeven aan het metselwerk. De verbinding van kelder en metselwerk wordt uitgevoerd met in te lijmen ankers. De fundering van de bestaande wand en die van het uitstekingende kelderdeel worden doorgerekend met de kelderbelastingen.

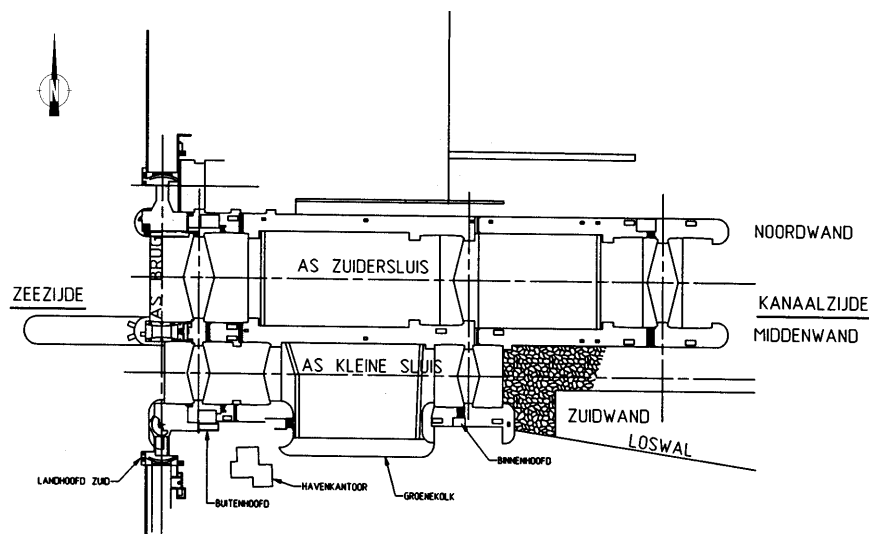
De draaipunten krijgen bij variant C een hogere belasting door het negatief keren en door er rekening mee te houden dat een voorwerp (bijv. een kei) klem kan raken tussen drempel en bewegende deur. Hiervoor zijn nieuwe onderdraaipunten (taatsen) in de vloer nodig. De constructie moet zodanig worden uitgevoerd dat de horizontale belasting op de taats goed overgedragen wordt op de bestaande vloer en de verticale belasting (deurgewicht) op een paalgroep.

In het voorbeeld wordt ervan uitgegaan dat de verticale aanslagen en de drempel in redelijk goede staat verkeren en niet aangepast behoeven te worden, al is dit vaak het geval. Volstaan kan worden met een beperkte waterspiegelverlaging in de hoofden voor de bouw van de bewegingswerkkelders door het aanbrengen van schotbalken en het wegpompen van het water en het gebruik van een taatskuip voor het aanbrengen van de nieuwe taatsen.

20.5.2 Reconstructie met nieuwe opzet kolken

Situatie Zuiderluis en Kleine Sluis te IJmuiden

De samenhang tussen een reconstructie en de bestaande situatie laat zich goed uitbeelden met het voorbeeld van de Zuider- en Kleine Sluis, voor wat betreft de kolk en hoofden. Voor beide sluisen geldt dat de levensduur verlengd moet worden en een hoger kerend niveau vereist is.



Figuur 20.6 Oorspronkelijke situatie Zuider en Kleine Sluis

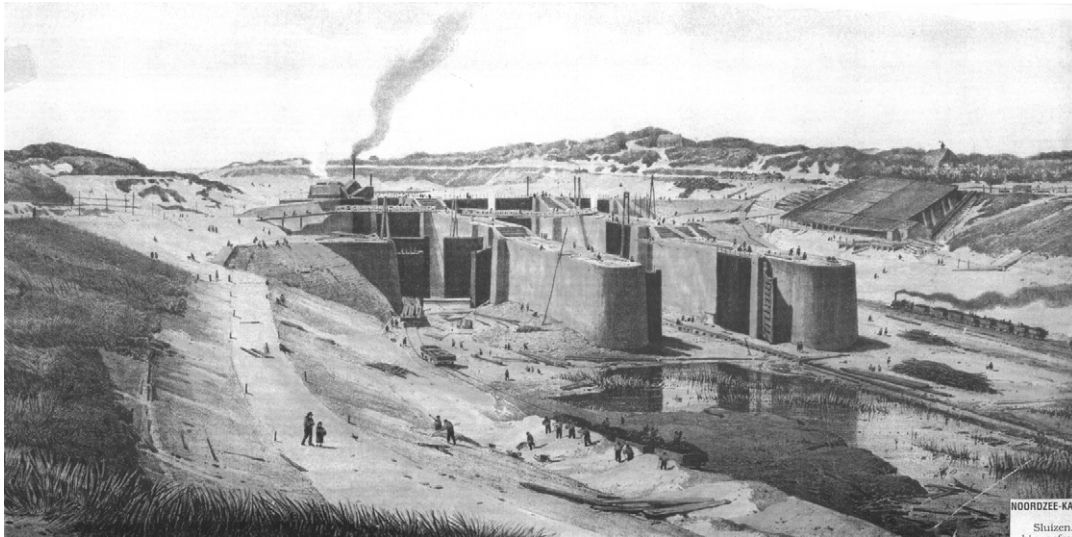


Foto 20.10 Bouw van Kleine en Zuiderluis te IJmuiden (omstreeks 1876)

De bestaande Zuiderluis en Kleine Sluis liggen naast elkaar en dateren uit de 19e eeuw (1872), fig. 20.6. Alleen de Zuiderluis ($18 \times 111 \text{ m}^2$) heeft een tussenhoofd en is bijna twee keer zo lang als de Kleine Sluis ($12 \times 64 \text{ m}^2$). De buitenhoofden van Zuiderluis en Kleine Sluis liggen naast elkaar, evenals het tussenhoofd van de Zuiderluis en het binnenhoofd van de Kleine Sluis. De tussenwand is gezamenlijk tussen het buitenhoofd en het binnenhoofd van de Kleine Sluis (of tussenhoofd van de Zuiderluis). De Zuiderluis is breder en dieper dan de Kleine Sluis. De sluizen zijn voorzien van dubbele stellen puntdeuren in beide hoofden. Het tussenhoofd van de Zuiderluis heeft een enkel stel puntdeuren. De hoofden zijn volledig gemetseld (wanden en vloer), met natuurstenen drempels en slagstijlen. De kolkwanden zijn vrijstaande, gemetselde keerwanden. De kolkvloer van de Zuiderluis en Kleine Sluis is van gezette basaltzuilen. De gemetselde wanden en vloeren zijn gefundeerd op vlijlagen puin. De kolk van de Kleine Sluis was éézijdig als een zgn. groene kolk uitgevoerd.

Belastingen op de wanden en vloer

Door het invoeren van een hoger kerend niveau, neemt de belasting op de sluishoofden toe. Dit betreft enerzijds de belasting in de richting van de sluisas vanwege de toegenomen waterdrukverschillen over de deuren. Anderzijds neemt ook de belasting loodrecht op de wanden toe door de hogere waterstand en de grotere spatkrachten van de puntdeuren, waardoor de wanden uit elkaar gedrukt worden (NB. De spatkrachten zijn uitsluitend een gevolg van de waterdrukverschillen over de deuren.) Bovendien wordt door de keus van dubbelkerende puntdeuren (par. 20.5.1) de deurbelasting bij negatief keren als puntlasten in plaats van als lijnlasten overgebracht op de hoofden. Bij de sluiswanden neemt de loodrechte belasting op de wanden toe door de hogere waterstanden in de kolk. Naast extreem hoge waterstanden kunnen ook extreem lage waterstanden aan de zeezijde optreden. Door de gronddrukken is dan de resulterende belasting loodrecht op de wand naar binnen gericht, zodat de wanden de neiging hebben naar elkaar toe te komen.

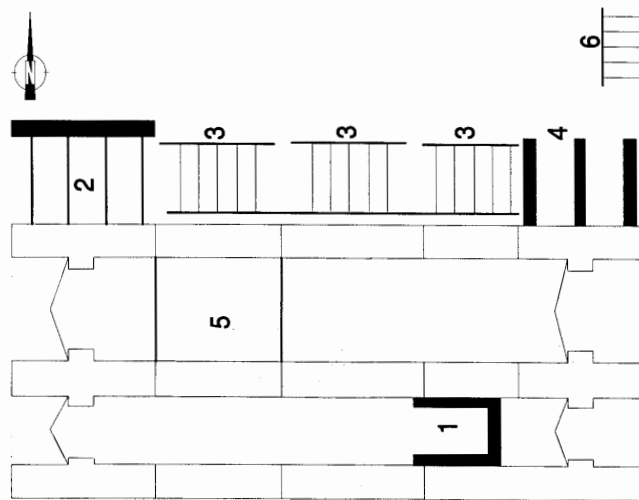
De wanden van de hoofden kunnen als vrijstaande keerwanden worden beschouwd omdat de verbinding vloer/wand geen moment kan opnemen. Ook de kolkwanden zijn vrijstaande wanden. Door de hogere belasting in dwarsrichting op de wanden die naar beide kanten kan werken (wanden gaan van elkaar af of komen naar elkaar toe), komt de stabiliteit van de wanden van de hoofden en van de kolk in gevaar.

Behalve het stabiliteitsprobleem van de wanden kunnen gevaarlijke situaties voor de bodem ontstaan. Door het bij extreem hoge waterstanden toelaten van een overstortdebiet over de hoofden en deuren, kan de gezette steen in de kolk van de Zuiderluis door de duikende waterstraal bezwijken.

Stabiliteitsvergroting van wanden en vloer

De reconstructie moet resulteren in een grotere stabiliteit van de wanden in de richting loodrecht op de sluisas. Hiertoe worden de wanden zijdelings meer gesteund. De bestaande dwarsdoorsnede van de Zuidersluis mag door de renovatie niet verkleind worden maar die van de Kleine Sluis in beperkte mate wel, aangezien deze laatste erg diep is voor het scheepvaartverkeer waarvoor deze bestemd is (binnen- en recreatievaart).

Naast vergroting van de stabiliteit van de wanden, helpt verkleining van de zijdelingse belasting. De zijdelingse belasting door spatkrachten bij het tussenhoofd kan worden gecompenseerd door het weglaten van de deuren in het tussenhoofd. Als plaats voor de secundaire kering is, in plaats van het binnenhoofd Kleine Sluis / tussenhoofd Zuidersluis, gekozen voor het binnenhoofd Zuidersluis. Hiervoor was verlenging van de Kleine Sluis noodzakelijk maar kon het tussenhoofd van de Zuidersluis vervallen.



Figuur 20.7 Nieuwe situatie Zuider en Kleine Sluis

De stabiliteit van de wand tussen de (bestaande) Kleine Sluis en de Zuidersluis wordt verzekerd door het plaatsen van een L-vormige wand of een U-vormige betonbak (beide van gewapend beton) in de Kleine Sluis. Voordeel van de U-vormige betonbak is dat de bak als nieuwe Kleine Sluis kan fungeren en beide wanden momentvast met de vloer verbonden zijn.

Voor het gedeelte van de tussenwand buiten de (bestaande) Kleine Sluis kan een L-vormige wand of U-vormige betonbak geplaatst worden ter vergroting van de stabiliteit van de tussenwand.

Gekozen is voor een U-vormige betonbak (1 in fig. 20.7) over de gehele lengte van de Zuidersluis, zodat een nieuwe Kleine Sluis verkregen wordt met een lengte gelijk aan de Zuidersluis, zonder dat dit meerkosten vergt. De momentvaste verbinding van wanden en vloer van deze U-vormige betonbak steunt de tussenwand en de andere wand van de Kleine Sluis.

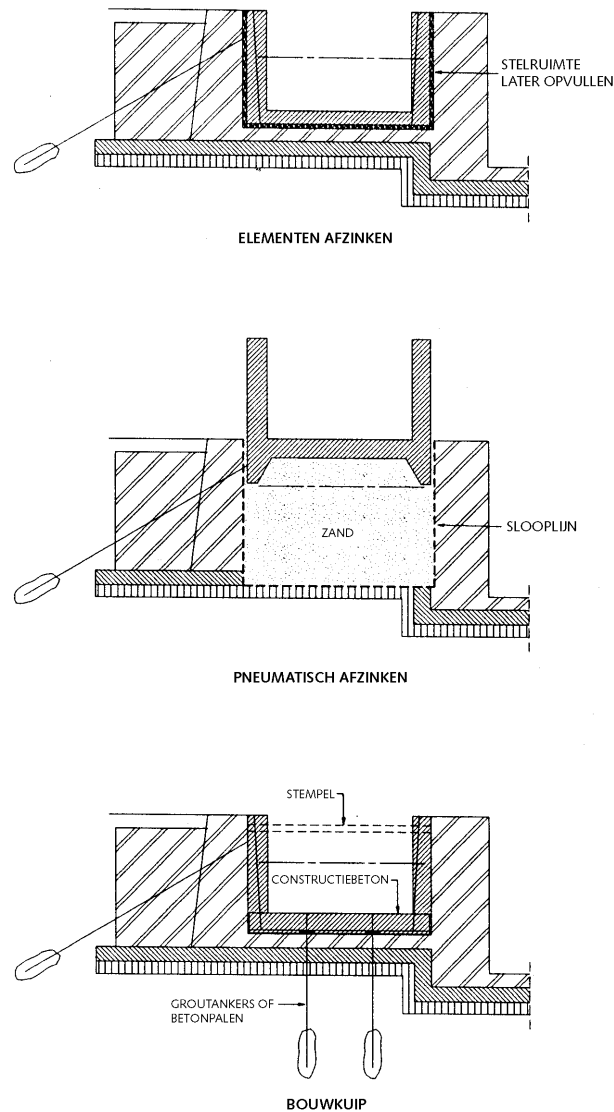
De wand tegenover de tussenwand van de Zuidersluis (de noordwand) moet eveneens in dwarsrichting extra gesteund worden. Hiervoor zijn varianten bedacht die uiteindelijk in de volgende maatregelen hebben geresulteerd.

De wand van het buitenhoofd wordt voorzien van stempels die trek en druk opnemen tegen de aan de noordzijde van de Zuidersluis aanwezige oude spuisluis (2 in fig. 20.7 en fig. 23.4). Bij de wand van het binnenhoofd wordt extra stabiliteit geschapen door het plaatsen van een dwarswand of palenjuk en het ophogen van het maaiveld (4 in fig. 20.7 en fig. 23.6).

De kolkwand wordt gesteund door een trek-/drukkoppeling aan een achter de wand gelegen ontlastwand (3 in fig. 20.7 en fig. 23.5). De ontlastwand staat op korte afstand van de achterzijde van de kolkwand met een niet opgevulde ruimte tussen kolkwand en ontlastwand. De ontlastwand is op zijn beurt verankerd met een ankerscherm.

Om de kolkvloer van de Zuidersluis, bestaand uit gezette basaltzuilen, achter het buitenhoofd te beschermen tegen overstortende stralen bij extreem hoogwater, wordt deze over een afstand van 15 m voorzien van een laag onderwaterbeton (5 in fig. 20.7).

Bouwmethodiek



Figuur 20.8 Varianten bouwmethode Kleine Sluis

Voor de bouwmethode van de U-vormige sluisbak in de Kleine Sluis (fig. 20.8) is gedacht aan het drijvend aanvoeren en afzinken van bakelementen (1), het pneumatisch afzinken van de bakelementen (2) of het in situ bouwen in een bouwkuip (3). Bepalend voor de te kiezen bouwmethode is de vrijheid van handelen ten opzichte van de maximale breedte van de bak. De afzinkmethoden vragen veel ruimte waardoor een groot deel van het metselwerk gesloopt zou moeten worden. Bovendien kost de aanleg van een bouwdoek voor het maken van de drijvend aan te voeren elementen veel geld. Bij een bouwkuip kan in den droge gewerkt worden en kan de bak beter aangesloten worden op de bestaande vloer, de wanden en de bewegingswerkkelders. Gekozen is derhalve voor uitvoering in een bouwkuip (3). De metselwerkvloer van de Kleine Sluis wordt daarbij voorzien van groutanker(trek)palen om opdrijven tijdens het leegpompen van de bouwkuip te voorkomen. Het groene kolkgedeelte en de sluisverlenging worden voorzien van een onderwaterbetonvloer met trekankers.

20.5.3 Reconstructie met nieuwe besturing

Vier maal B

In algemene zin kan gesteld worden dat de bedrijfsvoering van een sluiscomplex op basis van 4 B's geschiedt (zie par. 18.2).

- **Beslissen**
Het personeel neemt een reeks beslissingen. De beslispunten zijn bijvoorbeeld schip toelaten, deuren sluiten, kolk nivelleren, brug openen etc.
- **Bedienen**
De beslissingen worden door het personeel ten uitvoer gebracht door het gebruik van de bedieningsknoppen.
- **Besturen**
De bedieningsknoppen zetten de besturing van de beweegbare onderdelen van de sluis in gang. Met besturing wordt bedoeld de fysieke infrastructuur van installaties waarmee de bedieningshandelingen tot uitvoer worden gebracht. Onder de besturing vallen de bewegingswerken van de deuren, de schuiven, de brug met de aandrijvingen, de elektrische installatie, het besturingssysteem en de bedieningspanelen.
- **Beheren**
Welke beslissingen onder welke omstandigheden genomen moeten worden, valt onder het beheer van de sluis. Beheertoestanden zijn bijvoorbeeld het normale schutproces, het keren, extreem hoog- en laagwater, het spuien van water, het scheiden van zout- en zoetwater of het proces tijdens een storing van de installatie.

Het hart van de besturing van een sluis is het besturingssysteem dat de beweegbare onderdelen aandrijft. Het besturingssysteem moet efficiënt (snel en doelgericht), robuust (veilig en betrouwbaar) en flexibel zijn (aanpassing mogelijk bij gewijzigd beheer).

Eisen aan besturing Zuider Sluis en Kleine Sluis te IJmuiden

De levensduur van de besturing is in de regel korter dan die van het civiel-technische deel van de sluis. Bij reconstructie van een sluis wordt deze meestal van een nieuwe of een aangepaste besturing voorzien, die op het nieuw geformuleerde Programma van Eisen wordt afgestemd. Zo wordt bij de reconstructie van de Zuiderluis en de Kleine Sluis te IJmuiden een geheel nieuwe besturing geïnstalleerd waarmee ook een nieuwe bedrijfsvoering opgezet wordt. Voor de besturing is hier feitelijk geen verschil met een nieuw te bouwen sluis. De gestelde eisen voor de Zuider en Kleine Sluis volgen weer de 4 B's:

- 1 **Beslissen**
Voor de diverse beheerstoestanden waarin de sluis kan verkeren (schutten, keren etc.) moeten de beslispunten (deur sluiten, kolk nivelleren, etc.) eenduidig gedefinieerd zijn.
Op het sluiscomplex moeten voorzieningen worden aangebracht om het sluispersoneel de juiste beslissingen te laten nemen (bijvoorbeeld communicatie- en visualisatiemiddelen, waterstandsmeting en -voorspelling).
- 2 **Bedienen**
De bediening van beide sluizen wordt gecentraliseerd in het bedieningsgebouw en moet uitgevoerd kunnen worden door één persoon. Hiertoe wordt dit gebouw zodanig ingericht dat vanuit één plaats alle besturingshandelingen van de beweegbare onderdelen verricht kunnen worden en de communicatiemiddelen ingeschakeld kunnen worden. Als een beslispunt met ja wordt opgevolgd, wordt een knop bediend die een of meerdere onderdelen van de sluis in beweging brengt. Sluis- en brugbedrijf zijn onafhankelijk van elkaar.
Bij de te besturen onderdelen van de sluis zelf moeten voorzieningen aangebracht worden zodat in geval van onderhoud, storingen, calamiteiten etc. deze onderdelen vanuit de nabijgelegen technische ruimten bediend kunnen worden.
- 3 **Besturen**
Een betrouwbaar en veilig besturingssysteem wordt geïnstalleerd dat voldoet aan de beoogde

bedieningshandelingen. De betrouwbaarheid betreft de kans dat de besturing ten onrechte niet werkt. Bij veiligheid gaat het erom dat onder alle omstandigheden (bijvoorbeeld bij ingrepen in de besturing, stroomuitval, calamiteiten) de situatie in de sluis en met zijn onderdelen veilig en beheersbaar is. Dit laatste toont de noodzaak van reservesystemen en -voedingen, noodvoorzieningen, no break voorzieningen etc.

4 Beheren

Het beheer dient zodanig te worden ingericht dat gedurende de levensduur aan alle te stellen criteria die voortkomen uit de behoefte tot beslissen, bedienen en besturen, kan worden voldaan. Beheerstoestanden zijn schutten, keren, overgangen tussen keren en schutten en afwijkende situaties (hoog- en laagwater, calamiteiten, stroomuitval e.d.)

Uitvoering besturing Zuidersluis en Kleine Sluis

Alle puntdeuren van de Zuidersluis en de Kleine Sluis worden voorzien van een nieuw bewegingswerk bestaande uit een hydraulische cilinder en een hydraulische unit (hydraulische pomp, elektromotor, regelkleppen en een hydraulische tank). De hydraulische unit wordt zo dicht mogelijk bij de deur geplaatst om lange leidingen te voorkomen. Het bewegingswerk opent en sluit de deuren en kan in dichte deurpositie als negatieve vervallen keren. Ter positionering van de deur wordt de cilinder voorzien van een weg-meetsysteem. De hydraulische cilinders van de deurschuiven worden aangesloten op aparte units die worden ondergebracht in de niet meer gebruikte kelder van de ebdeuren.

Van beide sluizen wordt de gehele elektrische installatie vernieuwd. Dit betreft de energievoorziening (normale en reserve voedingen, verdelers, no break voorzieningen), communicatiemiddelen (omroep, praatpalen, werk/spreek, telefoon, marifoon), kolkindelingsprogramma, seinen voor scheepvaart en landverkeer, waterstandsmetingen met gelijkwater-signalering, tv-camera's, radar, terreinverlichting, etc. Onderdelen van de elektrische installatie zijn de besturings- en bedieningssystemen. In het bedieningsgebouw dat beide sluizen bedient, worden een bedieningslessenaar en -panelen ingericht voor centrale bediening. Behalve vanuit het bedieningsgebouw kan vanuit technische ruimtes de sluis handmatig bediend worden door onderhoudspersoneel.

Uit het Programma van Eisen volgt het beheer van de sluis. Voor de diverse beheerstoestanden van de sluis worden procesbeschrijvingen afgeleid. Een procesbeschrijving geeft een gedetailleerd overzicht van alle acties met hun onderlinge relaties en keuzemogelijkheden. Als beheertoestanden zijn te noemen het (normaal) schutbedrijf, het keren van hoogwater (met schutbedrijf buiten werking), het schutbedrijf buiten werking (storing in de installatie, calamiteiten, extra laag water, slecht zicht, storm, onderhoud etc.) en de brugbediening.

Het besturingssysteem wordt uitgevoerd met PLC's (Programmable Logic Controller). Een PLC is een elektronisch besturingssysteem dat een aantal binnenkomende signalen (input) logisch verwerkt met behulp van een programma (software) en na bewerking uitgangen (output) aanstuurt. Met de procesbeschrijvingen wordt het programma voor het besturingssysteem geschreven. Aan de hand van gemeten signalen (deurposities, schuifposities, waterstanden, gelijkwatersignalering e.d.) controleert het programma of de gevraagde handeling uitgevoerd kan worden (bijvoorbeeld: nivelleerschuiven openen) of juist gestopt moet worden en houdt bij of een bepaalde handeling uitgevoerd moet worden (bijvoorbeeld: deuren sluiten, of bij afwezigheid van bediening alle deuren in de stormvloedstand).

20.5.4 Reconstructie met nieuw zoutbestrijdingssysteem

Algemeen

De Bergsedieps sluis is een kleine schutsluis in de Oosterschelde die ligt op de scheiding van het zoute water van de Oosterschelde en het zoete water van het Zoommeer. De sluis is omstreeks 1980 gebouwd zonder speciale voorzieningen van zout/zoetscheiding, wel is de sluis klein gehouden om de zoutbelasting op het Zoommeer te beperken. De sluishoofden en de kolk hebben een U-vormig betonnen bakprofiel en zijn op staal gefundeerd. De sluis bezit enkele draaideuren die dubbelkerend zijn. Aangezien de sluis in de zomer veel door recreatieschepen gebruikt wordt, wanneer voor de landbouw de behoefte aan

zoet water het grootst is, bleek het noodzakelijk de zoutbelasting verder terug te dringen door het in de bestaande sluis een zoutbestrijdingssysteem aan te brengen.

Zoutbestrijdingssysteem

Het zoutbestrijdingssysteem zorgt er voor dat het grootste deel van het zoute water in de kolk vervangen wordt door zoetwater uit het Zoommeer, voordat de deuren naar de zoete (Zoommeer)zijde geopend worden. Hiermee wordt voorkomen dat veel zoutwater in het Zoommeer terecht komt. Overigens is verlies van zoetwater uit het Zoommeer geen probleem.

Wanneer de kolk gesloten wordt van de Oosterschelde naar het Zoommeer, wordt het zoute water in de kolk via wandopeningen afgelaten naar een naast de kolk gelegen kelder. Hierbij zijn de deuren gesloten. Tegelijkertijd met het afdrukken van zout water wordt zoet water in de kolk toegelaten via deuropeningen aan de Zoommeerzijde. Samen met de uitwisseling van zout- tegen zoetwater wordt de kolkwaterstand genivelleerd met de waterstand van het Zoommeer. De schepen zijn gedurende het uitwisselings- en nivelleringsproces in de kolk aanwezig. Na het uitwisselen en nivelleren wordt de deur aan de Zoommeerzijde geopend en kunnen de schepen uitvaren. Het zoute water in de kelder wordt vervolgens naar de Oosterschelde verpompt.

De kelder heeft een inhoud ter grootte van het kolkvolume en heeft een iets lager bodemniveau dan de kolk. De wandopeningen zijn afsluitbaar met vlinderkleppen en liggen op het niveau van de kolkbodem om het zoute water uit de kolk zo laag mogelijk af te laten. De deuropeningen in de deur aan de Zoommeerzijde beslaan de gehele breedte van de kolk en zijn aan de kolkzijde voorzien van een beweegbare drempel die ervoor zorgt dat het zoete water aan het wateroppervlak de kolk instroomt.

Met behulp van hydraulisch onderzoek zijn de optimale afmetingen en niveaus van het systeem en de hefprogramma's van de schuiven en afsluiters vastgesteld.

Civieltechnische zaken

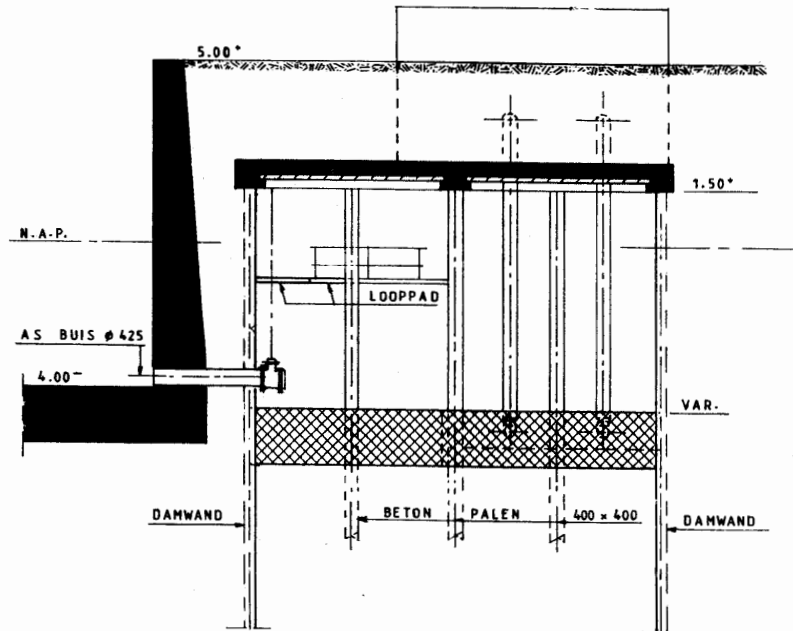
Voor de naast de kolk gelegen kelder zijn twee bouwmethoden uitgewerkt. De waterstand in de kolk mag beperkt verlaagd worden; droogzetten is niet toegestaan.

Bij de eerste bouwmethode is de kolkwand onderdeel van de kelder, de overige kelderwanden zijn damwanden. Om de kelder te ontgraven moet de grondwaterstand aan beide zijden van de kolk tijdelijk verlaagd worden en moet de kolkwand die onderdeel van de kelder vormt, in dwarsrichting gestempeld worden tegen de tegenoverliggende damwand. Dit laatste is nodig om de zijdelingse stabiliteit van de kolk te verzekeren. In de definitieve fase moet een constructieve en waterdichte verbinding tussen kolkwand en aansluitende kelder zijn ontstaan. Mogelijke problemen kunnen optreden bij ongelijke zettingen van kolk en kelder. Het aanbrengen van de laaggelegen wandopeningen is betrekkelijk eenvoudig.

Bij de tweede bouwmethode staat de kelder geheel los van de kolk, op korte afstand van de sluiswand (1 m) en heeft wanden van damwand. Voor het ontgraven van de kelder is geen grondwaterstandverlaging nodig. Om de zijdelingse stabiliteit van de kolk te waarborgen worden de kelderwanden gestempeld terwijl de kolkwaterstand tijdens de bouw niet beneden een bepaald niveau mag komen. Zettingsverschillen tussen kolk en kelder geven geen problemen. Het aanbrengen van de wandopeningen tussen kolk en kelder is lastiger.

Gekozen is voor de tweede bouwmethode omdat de vereiste maatregelen beter uitvoerbaar en meer beheersbaar zijn dan bij de eerste methode (fig. 20.9). Door ontgraving is eerst het maaiveld bij de te bouwen kelder enkele meters verlaagd. Daarna zijn de damwanden die de kelderwanden vormen gelegd en de palen geslagen die het kelderdek ondersteunen. Vervolgens is een balkenrooster over de damwanden en de palen aangebracht. In de volgende bouwphase is de kelder ontgraven en is een onderwaterbetonvloer gestort. Over het balkenrooster is een betonnen dekvloer gelegd waaroverheen een laag zand is aangebracht. Daarna is de kelder leeggepompt. De palen dragen het met zand geballaste kelderdek en het zand voorkomt dat de kelder opdrijft. De onderwaterbetonvloer en het kelderdek stem-

pelen in horizontale zin de kelderwanden op elkaar af. Voor het aanbrengen van de laaggelegen wand-openingen is de grond tussen kolk en kelder lokaal bevroren en zijn vanuit een taatskuip grote gaten in de sluiswand geboord. Door de gaten zijn stalen buizen aangebracht. Ten slotte zijn de verdere voorzieningen aangebracht, zoals voor de pompinstallatie.



Figuur 20.9 Zoutwaterkelder van de Bergse Diepsluis

Staal- en werktuigbouwkundige zaken

Geplaatst zijn een pompinstallatie voor het leegpompen van de kelder, de elektrisch aan te sturen vlin-derkleppen in de wandopeningen, extra openingen met schuiven in de deur aan de Zoommeerzijde en een beweegbare zoutdrempeel voor deze deuropeningen.

Besturing

De besturing van de sluis moest worden uitgebreid met het zoutbestrijdingssysteem. Een gehele vervan-ging was niet noodzakelijk omdat de gebruikte componenten vrijwel nieuw waren.

Bij de Bergsediepsluis zijn de volgende beheertoestanden mogelijk:

- 1 schutbedrijf in werking zonder zout/zoetscheidingssysteem;
- 2 schutbedrijf in werking met zout/zoetscheidingssysteem;
- 3 zowel schutbedrijf en zout/zoetscheidingssysteem buiten werking, bijvoorbeeld als de Ooster-schelde waterstand buiten de range van minimum- en maximum-schutpeilen is;
- 4 spuibedrijf in werking zonder dat geschut wordt, met kleine spuistroom door deuropeningen voor glasaal.

De beheertoestanden 1 en 2 hebben weer een aantal subtoestanden, zoals kolk met schepen, kolk zon-der schepen of noodstop.

Elke beheertoestand heeft zijn eigen randvoorwaarden waarbinnen het systeem moet functioneren en een aantal stuurparameters die het systeem aansturen. Randvoorwaarden zijn waterstanden, zoutgehal-tes, tijdseisen etc. Stuurparameters kunnen onderscheiden worden in vaste (bouw)stuurparameters zoals hefsnelheden van schuiven en afsluiters en in variabele (inregel)stuurparameters zoals hefduur en -tijd-stip en intervaltijden tussen heffen van de schuiven en afsluiters.

Het aansturen van de variabele stuurparameters geschiedt op basis van continu gemeten waterstanden in kolk, kelder, Zoommeer en Oosterschelde. Hieruit worden (onder meer) afgeleid de gewenste tijdstippen van heffen en sluiten van de wandopeningen, de tijdstippen van begin heffen en sluiten van de deuropeningen en de beweegbare drempel, alsmede van start en stop pompen. Het besturingssysteem wordt uitgevoerd met PLC's. Voortdurend wordt gecontroleerd of de verticale snelheid van de waterspiegel in de kolk niet te groot is, of het minimum schutpeil niet onderschreden wordt en of de deur niet te vroeg geopend wordt.

20.5.5 Reconstructie met een nieuwe fundering

Algemeen

Sluizen met een levensduur van circa 100 jaar vertonen vaak gebreken aan onder meer draaipunten, aanslagen, voegwerk van het metselwerk en losliggend natuursteen. Bij de Oranjesluizen in Amsterdam hebben dergelijke aspecten een rol gespeeld, wat geleid heeft tot het besluit de sluizen zodanig te verbouwen dat aan de tegenwoordig gestelde eisen kan worden voldaan. In het onderzoek naar de mogelijkheden om aan de nieuwe eisen te voldoen, is bekeken op welke wijze nog voldoende vitale onderdelen van de constructie behouden konden worden. De vertoonde gebreken zullen in dat geval worden verholpen door nieuwe onderdelen te plaatsen, zoals in het geval van de draaipunten. Verder worden verbeteringen gerealiseerd door het repareren van onderdelen. Zo kunnen de totale investeringen zo laag mogelijk blijven ten opzichte van het compleet vernieuwen van de sluis. In het geval van de Oranjesluizen is gekozen voor reconstrueren van de sluis met als doel de levensduur met 40 jaar te verlengen.

Bestaande fundering

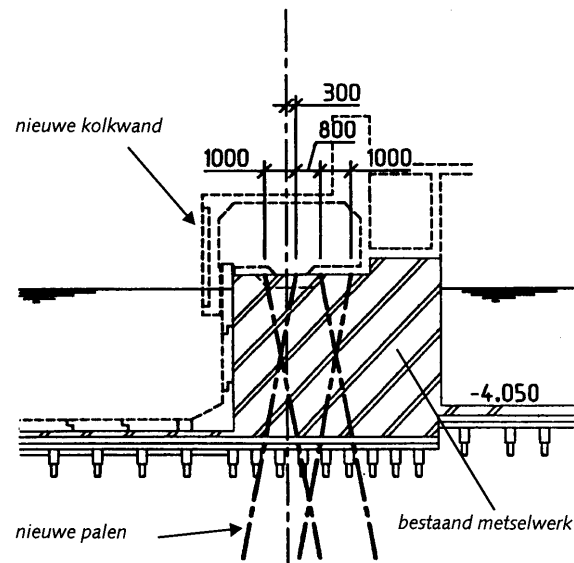
Een belangrijk argument voor de keuze van reconstrueren in plaats van nieuwbouw, was dat bij aanvang van het werk de aannemer bestond dat de houten palen en metselwerk wanden nog van voldoende kwaliteit waren om onderdeel te maken van de nieuwe constructie. Na uitgebreid onderzoek is echter vast komen te staan dat de houten palen aangetast waren door bacteriën en dat deze onvoldoende waren als fundering. Onderzoek naar de kwaliteit van de houten palen heeft dat uitgewezen. In totaal zijn bij de Oranjesluizen ongeveer 40 palen onderzocht. Het onderzoek richtte zich op: vaststellen houtsoort, bepaling verhouding kern- en spinthout, indringingsdiepte bacterie en soort bacterie.

Uit het onderzoek volgde dat de grenen en vuren palen waren aangetast door schimmels en dat de indringing van de bacterie tot in het kernhout van het grenenhout loopt. Het gemiddelde is 4 mm aantasting in het kernhout. De gemiddelde inslagdiepte is 29 mm. De reductie van de effectieve paaldiameter bedraagt daarmee ca. 40 %. Tevens is een toename van de aantasting in de tijd te verwachten. Dit leidde tot de conclusie dat de fundering compleet vervangen moest worden.

Nieuwe fundering

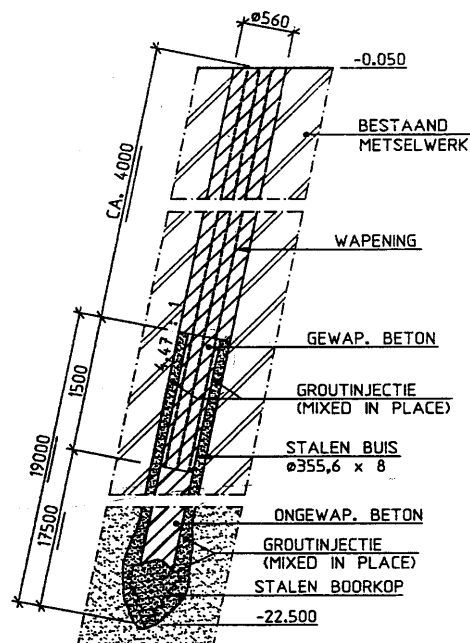
De Oranjesluizen bestaan uit drie sluizen die grotendeels omringd worden door water. De werklocatie is goed te bereiken vanaf het water. Aan twee zijden van de metselwerk kolkwanden staat de waterdruk (zie figuur 20.10). Dit houdt in dat er geen éézijdige gronddrukken optreden en dat hierdoor de belasting op de wanden relatief laag is.

Voor het aanbrengen van een nieuwe fundering zijn er in principe twee alternatieven. Dit is het volledig slopen van de hoofden en wanden van de sluis en nieuwbouw plegen, of het handhaven van een deel van het metselwerk, voorzover dit onder water is gelegen. Gekozen is voor de laatste optie.



Figuur 20.10 Nieuwe fundering Oranjesluizen

Het onder water gelegen metselwerk van de hoofden en kolkwanden verkeerde nog in een goede staat, het vertoonde geen scheuren en de kwaliteit van de stenen was goed. Dit maakte het metselwerk geschikt om in de nieuwe constructie op te nemen. Uitgaande van het handhaven van de metselwerk wanden is een plan uitgewerkt waarbij deze wanden gebruikt werden voor het aanbrengen van de nieuwe boorpalen. Hierbij is vanaf het water gewerkt met een boorstelling op een ponton die deels steunde op de bestaande wand. Vanaf deze ponton zijn alle funderingswerkzaamheden uitgevoerd.



Figuur 20.11 Principe detail groutinjectiepaal

Als gevolg van het in bedrijf houden van de naastgelegen sluis was de werkruimte voor uitvoering van de nieuwe boorpalen beperkt. Er kon slechts aan één zijde van de kolkwand gewerkt worden. Na sloop tot de waterlijn ontstond een kwetsbaar geheel dat zeer gevoelig was voor schade, zolang de nieuwe fundering niet was aangebracht. Vandaar dat trillingsvrije palen een belangrijke voorwaarde waren, die vanuit één positie konden worden ingebracht. Een ander belangrijk aspect was dat de palen konden

worden bevestigd aan de bestaande constructie. Tevens diende die funderingsvariant gekozen te worden die qua prijs/kwaliteit-verhouding het beste scoorde. De uitwerking hiervan leidde tot de conclusie dat een fundatie met Fundex palen de meest economische oplossing was. Dit is een trillingvrije, grondverdringende, in de grond gevormde paal. Een groot voordeel van deze werkwijze is dat het niet nodig is om onder de waterlijn te werken. Vanaf de bestaande metselwerk wanden, die tot de waterlijn waren gesloopt, zijn de palen aangebracht. Dit bleek een belangrijke besparing ten opzichte van de methode uitgaande van volledig slopen van bestaande fundatie en wanden.

Risico's

Het werken op deze wijze brengt een aantal risico's met zich mee:

- de kwaliteit van het metselwerk is onzeker;
- is het metselwerk volledig massief, m.a.w. zijn er geen puinstortingen;
- mogelijk holle ruimten onder de muren;
- wat is de stabiliteit van het restant van het metselwerk tijdens uitvoering.

Elk risico is afzonderlijk onderzocht. Er zijn boringen verricht in het metselwerk om te bepalen of het metselwerk massief is en om de kwaliteit vast te stellen. Verder is gebleken dat het probleem van de holle ruimte onder de wanden in het werk was op te lossen. De stabiliteit van de tot de waterlijn gesloopte metselwerk wand werd gewaarborgd door de nieuwe palen tussen de oude houten palen te boren. Hiermee was de weg vrij deze methode toe te passen, wat met succes is gedaan bij de Oranjesluizen.

Uitvoeringswijze



Foto 20.11 Reconstructie oude Oranjesluizencomplex (1999)

Elke metselwerk muur van de kolkwand is gefundeerd op 1500 houten palen. Door het metselwerk heen konden gaten worden geboord, waarna boorpalen werden aangebracht (zie figuur 20.11). Elke boorpaal heeft een draagvermogen van ongeveer 2000 kN. De palen hebben een scheefstand van 1:5 en 1:10. In totaal waren 360 palen nodig.

De bestaande houten palen leverden geen problemen op bij het inbrengen van de boorpalen, door tussen de oude palen te boren. De boorpalen zijn verankerd aan de bestaande metselwerk wanden, die tot de waterlijn waren gesloopt. Zo kwamen de oude wanden op nieuwe palen te staan. De verankering van de boorpaal aan het oude metselwerk is bereikt door de aanhechting tussen metselwerk, grout, beton en casing onderling en door de scheefstand van de palen. Daarna is de nieuwe kolkwand in de vorm van een koker geplaatst en verankerd op de bestaande metselwerk wanden (zie figuur 20.10).

De deuren zijn bevestigd aan de oude muren en de nieuwe kokers. De kosten van een enkele boorpaal

bedroegen ca. f 12.500,— (prijspeil 1995). De productie in het werk was 3 palen per dag.

Het werkschema voor het aanbrengen van de boorpalen was als volgt:

- slopen van kolkwanden tot de waterlijn;
- boren van gaten in het metselwerk;
- plaatsen van mantelbuis in de grond;
- plaatsen wapening;
- vullen boorgat en mantelbuis met grout en beton.

Zuid-Willemsvaart

Bij de sluizen in de Zuid-Willemsvaart heeft een vergelijkbare situatie gespeeld. Ook hier betrof het sluizen uit de 19^e eeuw. De houten palen onder deze sluizen waren eveneens sterk aangetast. Het behouden van de metselwerk wanden van de sluishoofden was hier niet mogelijk omdat de metselwerk wanden niet massief waren, als gevolg van scheurvorming en door slecht herstelde oorlogsschade. Bij deze sluizen is ervoor gekozen de sluishoofden te slopen en te vervangen door nieuwe hoofden.

20.6 Uitvoeringsaspecten van een reconstructie

20.6.1 Stremmingen

Algehele stremming van het scheepvaartverkeer treedt op indien geen enkele scheepspassage mogelijk is. Dit is bijvoorbeeld het geval als de hoofden (en eventueel de kolk) worden drooggezet, bij reparaties met drempel- of taatskuipen, het vervangen van deuren of bewegingswerken, of het vernieuwen van het besturingssysteem. Beperkte doorvaartbreedte treedt bijvoorbeeld op als aan een sluiswand gewerkt wordt en beperkte doorvaarthoogte als aan het val van de brug gewerkt wordt. Ook voor het wegverkeer kan de stremming geheel of gedeeltelijk zijn.

Bij de reconstructie van een sluis zijn algehele stremmingen voor het scheepvaartverkeer niet te vermijden maar moeten zo kort mogelijk gehouden worden.

Hoe lang de stremming voor het scheepvaartverkeer duurt, hangt af van welke hoofdonderdelen vervangen moeten worden, hoe uitgebreid de reconstructie is, welke bouwmethode gekozen wordt en of er extra budget voorhanden is. Voor het wijzigen van de hoofden moeten deze vaak en voor langere tijd drooggezet worden. Het verwisselen van een deur kan in korte tijd worden uitgevoerd met een kraanwagen vanaf de wal of met een ponton. Het in een drooggezet hoofd herstellen van een drempel kost minder tijd dan nieuwe deurkassen aanbrengen. Het vervangen van een taats in een taatskuip kost minder tijd dan dat het hoofd alleen voor deze handeling drooggezet moet worden. Het werken in ploegendienst of bijvoorbeeld met twee taatskuipen, kan tijd besparen hoewel de kosten oplopen. Behalve het fysiek aanpassen van de hoofdonderdelen van de sluis kost ook het controleren van de werking van de vervangen, beweegbare hoofdonderdelen en het inregelen van het besturingssysteem met mogelijk problemen in de software, de nodige tijd en dus stremming.

Hoe ernstig een stremming voor het scheepvaartverkeer is, wordt bepaald door het feit of er een naastgelegen, gelijkwaardige sluis of een alternatieve route voorhanden is. Verder is het soort scheepvaartverkeer van belang en in welke periode de stremming valt.

De reconstructies van de naast elkaar gelegen Kleine Sluis en de Zuidersluis te IJmuiden worden na elkaar uitgevoerd zodat het scheepvaartverkeer - weliswaar met mogelijke vertraging - toch door kan gaan.

Zeescheepvaart duldt nauwelijks enige stremming. Hier moet dus altijd een alternatieve sluis voorhanden zijn. Bij binnenscheepvaart ligt een stremming ook moeilijk, hoewel hier vaak een alternatieve route of sluis aanwezig is. Stremmingen moeten bij voorkeur vallen in de nachtelijke uren, weekenden of zomervakaties. Voor een sluis met alleen recreatievaart kan de reconstructie zonder problemen uitgevoerd worden in de maanden oktober tot en met maart.

Indien er sprake is van een weg zonder dat op redelijke afstand een andere brug beschikbaar is, mag de stremming slechts kort duren en beperkt blijven tot nachtelijke uren of het weekend. Voor langzaam verkeer, maar ook voor autoverkeer, wordt wel een tijdelijke brug naast het sluiscomplex geslagen of een veerpont ingezet. Soms kan volstaan worden met halve brugversmallingen zodat aan de andere helft gewerkt kan worden.

Voor elke reconstructie is het noodzakelijk een planning te maken van de diverse stremmingen en deze ruim van tevoren bekend te maken bij de betrokkenen.

20.6.2 Werken in waterkeringen

De veiligheid van de waterkering in de gesloten periode (15 oktober - 15 april) moet minimaal gelijk zijn aan de oorspronkelijke waterkering. Bij uitvoering in de tegenoverliggende, open periode, mag de kruinhoogte worden verlaagd tot het niveau behorend bij de normfrequentie van de zomerhoogwaters.

Het werken aan de waterkering van een sluis moet daarom bij voorkeur plaatsvinden in de open periode. Dit betreft het werken aan de wanden van het buitenfront en het buitenhoofd met het aansluitende sluisplateau en aan de buitendeuren, indien het hoofd niet met schotbalken of een damwand dicht-

gezet is. Problemen kunnen voorkomen worden door het aanbrengen van een tijdelijke waterkering van (bijvoorbeeld) damwanden buiten het gehele sluiscomplex om.

20.6.3 Droogzetten van hoofden



Foto 20.12 Vernieuwen sluishoofd Dalemse Sluis (1998)

Het droogzetten van hoofden om deze te reconstrueren heeft grote voordelen in zich omdat de werkzaamheden in gunstige omstandigheden uitgevoerd kunnen worden. Wanneer een hoofd niet op droogzetten berekend is, is het soms toch mogelijk het hoofd droog te zetten (Reconstructie sluizen Gorinchem, Vianen en Dalem). Dit kan door op de fronten waterdichte schotten te zetten of damwanden te slaan, door het ballasten van de vloer op plaatsen waar geen werkzaamheden uitgevoerd worden, door het stempelen van de wanden en het aanbrengen van een drainageleiding. Tijdens de werkzaamheden worden deformatiemetingen aan het sluishoofd uitgevoerd.

20.6.4 Werken met taatskuipen

Bij de Middensluis IJmuiden zijn in 1993 de dubbele puntdeuren, de bewegingswerken, de draaipunten en het besturingssysteem vernieuwd en de verticale aanslagen van de deuren aangepast. Door middel van een aantal foto's wordt de uitvoering ter plaatse geïllustreerd.

De verankering van de halsbeugels in het metselwerk werd eerst vernieuwd met dubbele ankers (Foto's 20.13 en 20.14). Hieraan werd de halsbeugel bevestigd (Foto's 20.15 en 20.16).

Twee speciaal voor dit doel gefabriceerde taatskuipen werden aangebracht, waarbij elke taatskuip twee draaipunten omvatte en precies de drempel volgde. De randen waren voorzien van rubberstrips (Foto's 20.17 en 20.18).

De taatskuip werd drooggezet en de oude taats met het beton er omheen werd verwijderd (Foto 20.19).

De nieuwe taats werd in een sparing gesteld en aangestort. (Foto's 20.20 en 20.21). De verticale aanslagen werden met een kunstharsmortel in een bekisting aangebracht (Foto 20.22). Vervolgens werden de taatskuipen verwijderd.

Nieuwe kelders werden gebouwd voor de hydraulische bewegingswerken (Foto 20.23 en 20.24)

De deuren werden aangevoerd. Foto 20.25 geeft de halsspen weer, foto 20.26 de taatspot. De deur werd ingehesen en gesteld (Foto's 20.27 en 20.28). De eindsituatie staat op foto 20.29.



Foto 20.13 Verankering halsbeugel aan grondzijde, Middensluis te IJmuiden



Foto 20.14 Verankering halsbeugel aan deurkaszijde, Middensluis te IJmuiden



Foto 20.15 Halsbeugel opengeklaapt, Middelensluis te IJmuiden

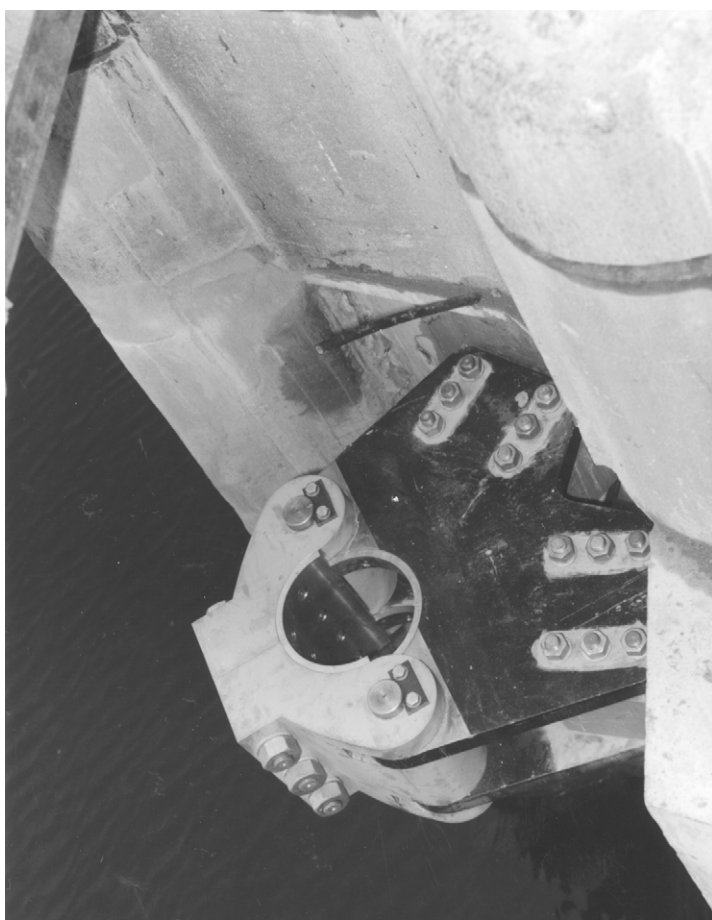


Foto 20.16 Halsbeugel gesloten, Middelensluis te IJmuiden



Foto 20.17 Taatskuip boven water, Middensluis te IJmuiden



Foto 20.18 Overzicht taatskuipen tijdens reconstructie, Middensluis te IJmuiden



Foto 20.19 Werken binnen de taatskuip, verwijderen oude taats, Middensluis te IJmuiden



Foto 20.20 Stellen van nieuwe taats, Middensluis te IJmuiden



Foto 20.21 Nieuwe taats, Middensluis te IJmuiden



Foto 20.22 Nieuwe verticale aanslagvlakken van kunstharsmortel, Middensluis te IJmuiden

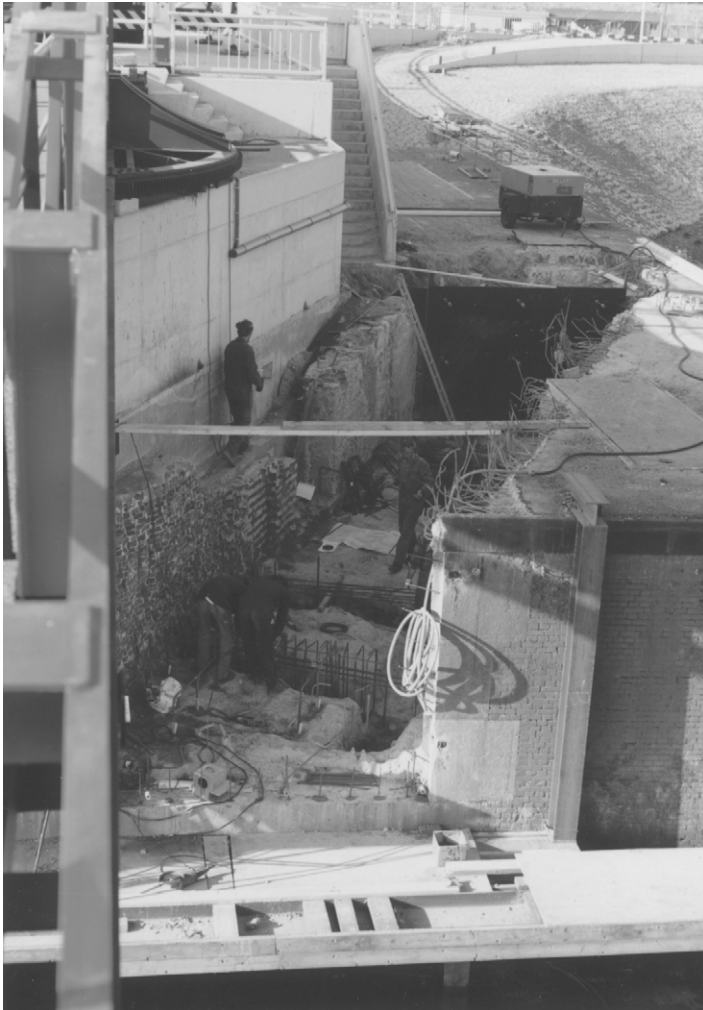


Foto 20.23 Bouw nieuwe kelders voor de deurbewegingswerken, Middensluis te IJmuiden



Foto 20.24 Bouw nieuwe kelders voor de deurbewegingswerken, Middensluis te IJmuiden

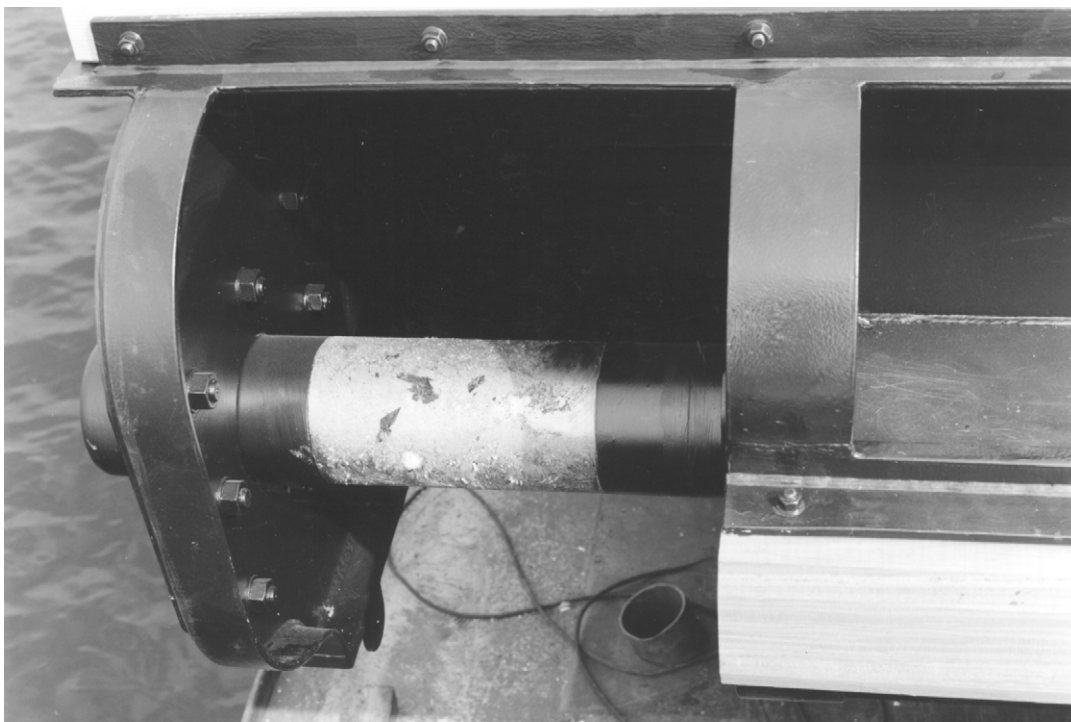


Foto 20.25 Halspen aan deur, Middensluis te IJmuiden

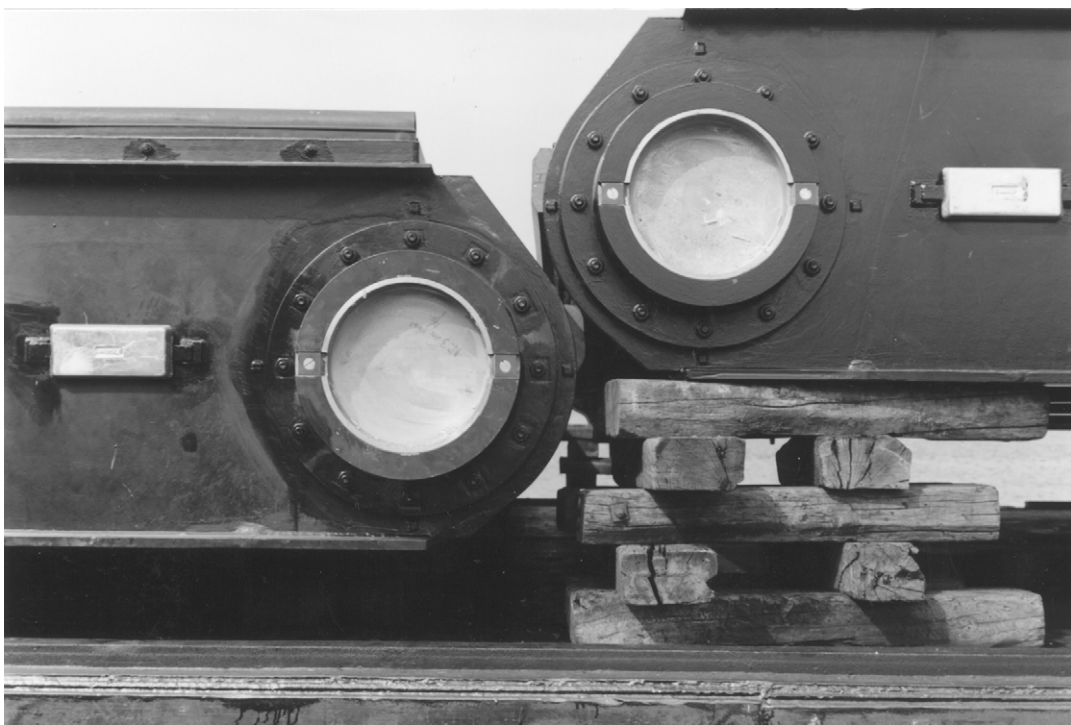


Foto 20.26 Taatspot aan deur, Middensluis te IJmuiden



Foto 20.27 Inhangen deur, Middensluis te IJmuiden



Foto 20.28 Inhangen deur, Middensluis te IJmuiden



Foto 20.29 Eindsituatie, Middensluis te IJmuiden



Foto 21.1 Krammersluizen in aanbouw, zichtbaar zijn de geperforeerde kolkvloer (sommige balken ontbreken) en de wandopeningen (wandschuiven en remmingwerken ontbreken)

Hoofdstuk 21 **Zout/zoetscheidingssystemen**

21.1 Inleiding

Doel van het hoofdstuk

Schutsluizen hebben als primaire functie het laten passeren van schepen. In getijdegebieden is een schutsluis niet alleen een waterkering maar meestal tevens de scheiding tussen het zoute en zoete water. Door het gebruik van schutsluizen in deze gebieden zal zoutwater terechtkomen in het zoete binnengebied en zoetwater in het zoute buitengebied. Wanneer zoutwater in het binnengebied komt kan dit sterk nadelig zijn voor het milieu, de landbouw en dergelijke. Dit is met name het geval in gebieden waar zoetwater beperkt voorradig is en slechts in kleine hoeveelheden gebruikt kan worden om het zout te verdringen. In de afgelopen jaren zijn in Nederland voor schutsluizen verschillende maatregelen en systemen ontwikkeld en uitgevoerd om het zoute en zoete water zo goed mogelijk gescheiden te houden.

Doel van dit hoofdstuk is inzicht te verschaffen in de maatregelen en systemen van zout/zoetscheiding. Met deze systemen is in Nederland al veel ervaring opgedaan. In dit hoofdstuk wordt de meeste aandacht geschonken aan de hydraulische aspecten van de schutsluis. Geen aandacht wordt besteed aan constructieve zaken terwijl het gehele watersysteem waarin de sluis zich bevindt, evenmin behandeld wordt. De stof wordt globaal behandeld met het oogmerk om in voorkomende gevallen in staat te zijn een geschikte maatregel of geschikt systeem van zout/zoetscheiding te ontwikkelen. Voor aanvullende informatie en verdere technische uitwerking wordt verwezen naar de bijgevoegde literatuurlijst. Speciaal wordt aanbevolen het verslag "Zout/zoetscheiding bij schutsluizen" van Kerstma, Kolkman, Regeling en Venis (Lit. [21.10], 1991).

Korte inhoud van het hoofdstuk

In par. 21.2 worden de schutsluizen beschreven zonder zout/zoetscheiding in gebieden van zout en zoetwater. Behandeld worden de zoutbelasting en het zoetwaterverlies per schutcyclus, de verschijnselen in de kolk zelf en de situatie op het kanaalpand. Aan de orde komt onder meer het begrip "uitwisselen" waarmee bedoeld wordt het uitwisselen van het zoete water in de binnenvoorhaven voor het zoute water in de sluis na het openen van de binnendeur (of het zoute water in de buitenvoorhaven voor het zoete water in de kolk).

Par. 21.3 geeft een overzicht van maatregelen en systemen voor zout/zoetscheiding. Onderscheid wordt gemaakt in maatregelen voor het beheer (van een conventionele sluis), systemen met geopende deur tijdens het uitwisselen en systemen met gesloten deuren tijdens uitwisselen.

In par. 21.4 komen de systemen aan de orde waarbij de natuurlijke uitwisseling van het zoete en het zoute water zoveel mogelijk wordt tegengaan terwijl de deuren open staan. De systemen sorteren meer effect dan alleen maatregelen in het beheer van de sluis. Behandeld worden (o.a.) luchtbellenschermen, een zoutdrempel bij het binnenhoofd, het terugspoelen van zoutwater uit een diepe put in de binnenvoorhaven en direct afzuigen van het zoute water. Deze beide laatste punten betreffen voorzieningen zoals die bij de Zeesluis Terneuzen zijn toegepast.

De systemen waarbij kunstmatige uitwisseling van zoetwater voor zoutwater plaatsvindt bij gesloten deuren, worden in par. 21.5 besproken. Deze systemen geven de grootste reductie van de zoutbelasting op de binnenvoorhaven. Eerst wordt het systeem behandeld waarbij het uitwisselen van het zoute voor het zoete water in dwarsrichting van de kolk plaatsvindt; dit is het systeem Duinkerken (toegepast in de Kreekrak- en Krammerduwvaartsluizen). Vervolgens wordt het systeem behandeld waarbij het zoute

water in langsrichting van de sluis wordt afgevoerd terwijl het zoete water in dwarsrichting van de sluis aangevoerd wordt (Krammerjachtensluizen) of andersom (Bergsediepsluis). Ten slotte wordt het systeem van de zoute liftbak beschreven waarin het zoute water verticaal verplaatst wordt.

Opgemerkt wordt dat er nu een tendens waar te nemen is om de scheiding tussen zout- en zoetwater minder stringent te handhaven. Uit milieuoverwegingen (vissen, schaaldieren, vogels etc.) zijn er bij de verbindende waterkeringen (Haringvlietdam, Afsluitdijk en dergelijke) zogenaamde brakke zone's in ontwikkeling. Deze brakke zone's mogen dan geen drinkwaterinlaten bereiken. Bij nieuw te ontwerpen sluisen in getijdegebieden zal een zout/zoetscheidingssysteem daarom geen automatisme meer zijn.

21.2 Sluizen zonder zout/zoetscheiding

21.2.1 Zoutbelasting en zoetwaterverlies per schutcyclus



Foto 21.2 Noordersluis te IJmuiden, sluis zonder zout/zoetscheiding

Een schutsluis in een getijgebied is een bron van wateruitwisseling en geeft een zoutbelasting (of zoutwaterlast) op het binnengebied en een compenserend zoetwaterverlies. Hoeveel deze belasting of het verlies maximaal per schutcyclus bedraagt voor een sluis zonder zout/zoetscheidingssysteem, wordt in deze paragraaf behandeld.

Het chloridegehalte van het zoute water aan de buitenzijde (zeezijde) is hoog en dat van het zoete water aan de binnenzijde (kanaalzijde) is laag. We starten de beschouwing met de situatie dat de deur aan de buitenzijde (zoutwater) een tijd heeft open gestaan waardoor het water in de kolk de dichtheid heeft van het water aan de buitenzijde. Als eerste handeling wordt de deur aan de buitenzijde gesloten. (Opmerking: in de figuren is de buitenzijde steeds links en de binnenzijde steeds rechts getekend).

Daarna wordt, afhankelijk van het waterstandsverschil over de binnendeur, de kolk gevuld of geledigd door de openingen van de binnendeur. Wordt de kolk gevuld, dan komt een hoeveelheid zoetwater (de schutschijf) de kolk in en de gemiddelde dichtheid van het water in de kolk neemt daarbij af. Wanneer de kolk geledigd wordt komt een hoeveelheid zoutwater de binnenvoorhaven in dat zich mengt met het water van de binnenvoorhaven; de dichtheid van het water in de kolk wijzigt niet.

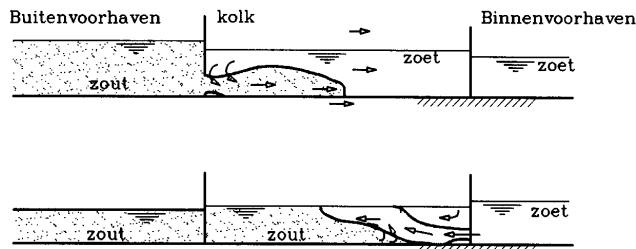
Als de binnendeur wordt geopend, zal het zoute water in de kolk door interne stromingen worden uitgewisseld met het zoete water van de binnenvoorhaven. Het resultaat is dat - mits de deur voldoende lang open staat - de gehele kolk inhoud met zoutwater als een vrij dunne laag aan de bodem van de binnenvoorhaven en het aansluitende kanaalpand terechtkomt, enigszins mengt met het zoete kanaalwater en wegzakt naar de diepe delen hierin. Het water in de kolk is ondertussen zoet geworden. Wanneer de binnendeur gesloten wordt voordat de kolk volledig uitgewisseld is, stopt uiteraard het uitwisselingsproces.

Daarna wordt de binnendeur gesloten en de kolk genivelleerd door de openingen van de buitendeur. Bij een lagere waterstand in de kolk dan die van de buitenvoorhaven, wordt de kolk gevuld waardoor de dichtheid van het water in de kolk toeneemt. Is de waterstand in de kolk hoger dan die van de buiten-

De omrekeningsfactor om van V_{zout} naar C te komen hangt af van de watertemperatuur, voor 10°C is deze 1,4 en voor 20°C is deze 1,3 (bij benadering). In plaats van de massa Cl^- -ion wordt ook wel de totale massa opgeloste zouten in het water gebruikt, dit is een factor 1,8 hoger dan de massa Cl^- -ion.

21.2.2 Situatie in de kolk

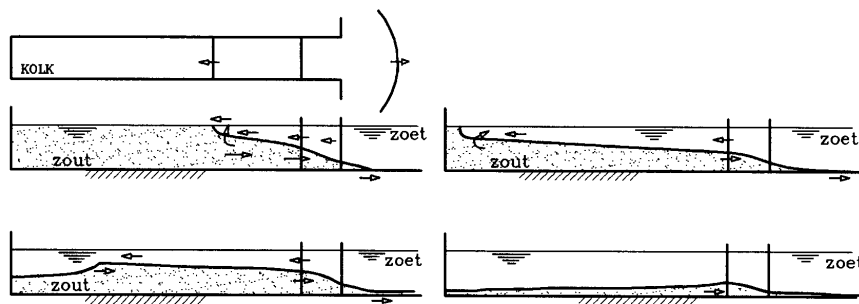
21.2.2.1 Dichtheidsstromen in de kolk door vullen en uitwisselen



Figuur 21.2 Dichtheidsstromen tijdens het vullen van zoete kolk met zoutwater en zoute kolk met zoetwater

Het vullen van de kolk gaat gepaard met geconcentreerde “vulstralen” achter de vulopeningen. Deze vulstralen zuigen omringend water aan en met de afstand nemen de straaldikte toe en de snelheid af. In deze beschouwing heeft het water waarmee gevuld wordt een andere dichtheid dan het water in de kolk. De vulstroom krijgt door de menging een dichtheid tussen die van de kolk en het binnenkomende water in. Op de plaats waar de snelheid van de stroming grotendeels is afgebroken, gaat de stroming bij het vullen van een zoute kolk met zoetwater opdrijven, of de stroming zakt naar de bodem bij het vullen van een zoete kolk met zoutwater. Er ontstaat een twee-lagenstroming met een grensvlak waarbij de laag waaraan het debiet wordt toegevoegd (we noemen dat de aandrijvende laag) een front aan de voorzijde heeft en een laagdikte van bijvoorbeeld de halve waterdiepte bereikt. De aandrijvende laag heeft een stroomsnelheid die overeenkomt met de interne golfsnelheid behorende bij het dichtheidsverschil tussen de lagen onderling en de laagdikte. De aandrijvende laag reflecteert tegen de deuren en gedeeltelijk tegen boeg en hek van de gemeerd liggende schepen. Daardoor ontstaat een langperiodieke interne golfbeweging in de kolk.

Tijdens het ledigen ontstaan interne stromingen niet in, maar buiten de kolk: in de voorhaven.



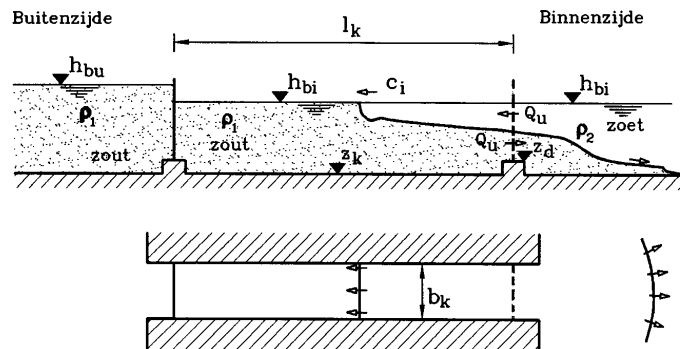
Figuur 21.3 Dichtheidsstromen tijdens het uitwisselen van een zoute kolk met zoetwater uit de binnenvoorhaven

Het uitwisselen van het water in de kolk met dat van de voorhaven vindt plaats na het openen van de deur door het initiële dichtheidsverschil van het water na het openen van de deur. Tevens ontstaat een twee-lagenstroming in de kolk waarbij de interne golfhoogte bijna de halve waterdiepte bereikt. Bij een initieel zoete kolk en een zoute voorhaven komt een zoute laag aan de bodem de kolk binnen terwijl hierboven de zoete laag afstroomt naar de voorhaven. Omgekeerd zal bij een initieel zoute kolk en een zoete voorhaven een zoete laag aan het wateroppervlak binnenkomen en hieronder zal de zoute laag afstromen naar de voorhaven. De binnenkomende laag is voorzien van een front en heeft een dichtheid van het water van de voorhaven. Menging treedt met name bij het front op maar is (zolang er geen schepen varen) in zijn totaliteit gering, doordat er geen hoge stroomsnelheden optreden. De binnenko-

mende laag reflecteert tegen de nog aanwezige schepen en de gesloten deur, waardoor ook een lang-periodieke interne golfbeweging ontstaat.

21.2.2.2 Uitwisseling als functie van tijd

Als voorbeeld de beschrijving van de eerste periode van de interne golf tijdens het uitwisselen van een initieel zoute kolk met zoetwater uit de voorhaven, zonder schip.



Figuur 21.4 Lagenstroming in de kolk tijdens uitwisselen

De binnendeur fungeert als de aanvankelijke scheiding van het zoute kolkwater en het zoete water van de binnenvoorhaven. Op het moment dat de binnendeur geopend wordt komt een uitwisselingsstroom op gang volgens de tweelagen-stroming. Het zoete water stroomt de kolk in als een bovenlaag met een front aan de voorzijde. Aan de voorzijde van dat front ontstaat enige menging. Het zoute water stroomt de binnenvoorhaven in als een zoute tong aan de bodem. Beschouwd wordt de eerste periode die eindigt op het moment dat het front van de bovenlaag in de kolk, na reflectie tegen de gesloten deur, de geopende deur bereikt.

Het grensvlak bij de geopende binnendeur bevindt zich net boven het midden van de waterdiepte. De snelheid van het zoete front aan het oppervlak bedraagt (Lit. [21.5]):

$$c_i = 0.53 \sqrt{\epsilon g (h_{bi} - z_k)} \quad (21.4)$$

waarin: c_i = voortplantingssnelheid zoet front [m/s]

Het uitwisselingsdebiet ter plaatse van de geopende binnendeur wordt bepaald door de grootte van de opening en is gedurende lange tijd constant. Dit debiet bedraagt (Lit. [21.1]):

$$Q_u = b_d (h_{bi} - z_d) C_u \sqrt{\epsilon g (h_{bi} - z_k)} \quad (21.5)$$

waarin: Q_u = uitwisselingsdebiet [m³/s]
 b_d = breedte ter plaatse van de deur [m]
 h_{bi} = niveau waterspiegel binnenzijde [m NAP]
 z_d = niveau drempel bij geopende deur [m NAP]
 z_k = niveau kolkbodem [m NAP]
 C_u = 0,2 = coëfficiënt voor het uitwisselingsdebiet [-]
 ϵ = $(\rho_1 - \rho_2) / \rho_2$ = relatief dichtheidsverschil [-]
 ρ_1 = dichtheid zoutwater [kg/m³]
 ρ_2 = dichtheid zoetwater [kg/m³]
 g = versnelling zwaartekracht [m/s²]

Voor een zout front aan de bodem bedraagt de factor 0,47 in plaats van 0,53 (formule (21.4)). De hoogte van het front van de bovenlaag in de kolk voorbij de drempel is:

$$a_{2u} = \frac{Q_u}{b_k c_i} \quad (21.6)$$

waarin: a_{2u} = hoogte intern front [m]

Het zoete front bereikt na enige tijd de gesloten buitendeur, reflecteert hiertegen en plant zich vervolgens voort als interne vervorming van het grensvlak richting geopende binnendeur. Deze vervorming bereikt de geopende binnendeur op tijdstip t_1 aan het einde van de eerste periode:

$$t_1 = \frac{2 l_k}{c_i} \quad (21.7)$$

waarin: t_1 = tijdstip dat het front de geopende binnendeur voor het eerst bereikt [s]

Op moment t_1 is in de kolk tijdens het uitwisselen het volgende volume zoutwater door zoetwater vervangen (of volume zoutwater in de voorhaven terechtgekomen):

$$V_u(t_1) = Q_u t_1 \quad (21.8)$$

waarin: V_u = uitgewisseld volume [m³]

Dit geeft op t_1 door het uitwisselen een netto massa Cl^- -ion op de binnenvoorhaven (factor 1,4 is omrekenfactor):

$$C_u(t_1) = V_u(t_1) \frac{(\rho_1 - \rho_2)}{1.4} \quad (21.9)$$

waarin: C_u = netto massa Cl^- -ion door uitwisselen [kg]

Vanaf het moment t_1 (front bereikt de geopende deur) daalt het grensvlak bij de geopende binnendeur sterk door de passage van het front. In de hierna volgende perioden wisselt de nog aanwezige zoute laag boven de drempel verder uit met de voorhaven, maar met een veel lager uitwisselingsdebiet.

Als voorbeeld wordt een sluis genomen met de volgende gegevens:

- Breedte t.p.v. deur en breedte kolk: $b_d = b_k = 12 \text{ m}$
- Waterdiepte kolk: $h_{bi} - z_d = 6 \text{ m}$
- Relatief dichtheidsverschil $\varepsilon = 0,02$
- Lengte kolk: $l_k = 120 \text{ m}$

Dit resulteert in:

- Interne golfsnelheid, vergelijking (21.4): $c_i = 0,57 \text{ m/s}$
- Uitwisselingsdebiet, vergelijking (21.5): $Q_u = 15,6 \text{ m}^3/\text{s}$
- Hoogte front in kolk, vergelijking (21.6): $a_{2u} = 2,28 \text{ m}$
- Periode, vergelijking (21.7): $t_1 = 421 \text{ s}$
- Volume zoutwater, vergelijking (21.8): $V_u(t_1) = 6568 \text{ m}^3$
- Massa Cl^- -ion, vergelijking (21.9): $C_u(t_1) = 93800 \text{ kg}$

Door Van der Burgh en de Vos (Lit. [21.2]) is op basis van metingen een empirische formule van het uitwisselingsproces beschreven door middel van een tangenshyperbolicus-functie (tgh). Tijdens deze metingen heeft geen scheepvaartverkeer plaatsgevonden waardoor de hoeveelheid menging beperkt is gebleven. De formule luidt:

$$U = \text{tgh} \left(\frac{t \sqrt{\varepsilon g (h_{bi} - z_k)}}{4 l_k} \right) \quad (21.10)$$

waarin: U = verhouding uitgewisselde hoeveelheid water ten opzichte van maximaal volume uit te wisselen water [-]
 t = tijd [s]

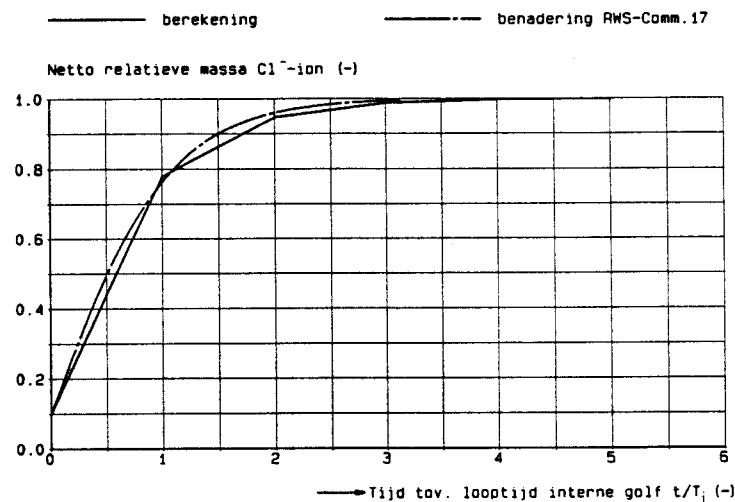
De functie is vastgesteld tot een tijd van $2 T_i$ na openen van de deur. Hierbij staat T_i staat voor een interne periode van de sluis (ongeveer gelijk aan t_1) volgens:

$$T_i = \frac{4 l_k}{\sqrt{\varepsilon g (h_{bi} - z_k)}} \quad (21.11)$$

Vergelijking (2.10) kan dan ook geschreven worden als:

$$U = \operatorname{tgh} \left(\frac{t}{T_i} \right) \quad (21.12)$$

Als voorbeeld een schutsluis waarbij het zoutgehalte van het water in de kolk overeenkomt met dat in de buitenvoorhaven. De kolk wordt geleidigd en wisselt vervolgens uit met de binnenvoorhaven. Het aandeel van het ledigingsvolume (schutschijf) in het totale volume zoutwater van de kolk is gesteld op 10%. Er zijn geen schepen in de kolk. De tijd nodig om de deur te openen wordt verwaarloosd ten opzichte van de uitwisselingstijd terwijl de lokale waterbeweging, veroorzaakt door de deurbeweging, niet meegenomen wordt.

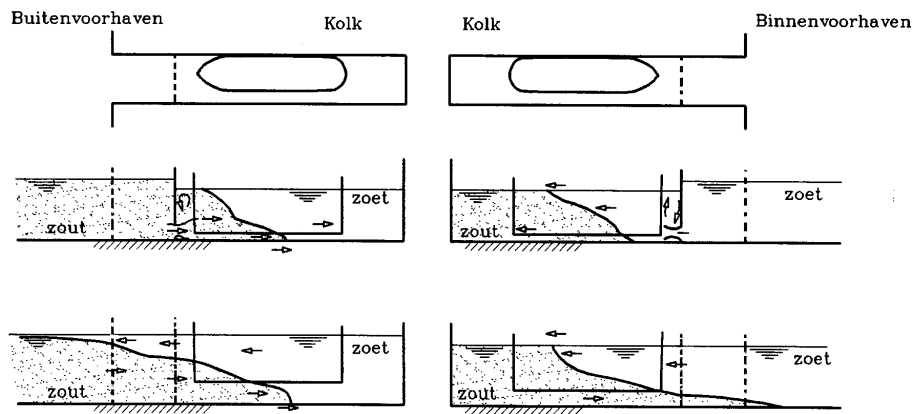


Figuur 21.5 Relatieve massa Cl^- -ion op de binnenvoorhaven

In Fig. 21.5 staat in dimensieloze vorm de massa Cl^- -ion die in de binnenvoorhaven terecht komt als functie van de tijd. Op de verticale as staat de verhouding van de op de binnenvoorhaven terecht gekomen massa Cl^- -ion en de initiële massa Cl^- -ion in de kolk. De horizontale as betreft de verhouding van de tijd en de periode van de interne golf volgens vergelijking (21.11). Tijd is nul op het moment van openen van de binnendeur; het vullen heeft dan al plaatsgevonden.

Vanaf moment t_1 (front bereikt de geopende deur, einde eerste periode) daalt het grensvlak bij de geopende binnendeur van halverwege de waterdiepte tot bijvoorbeeld 0,2 keer de waterdiepte boven de drempel. Op dat moment is de kolk voor ongeveer 80% uitgewisseld. Twee perioden na openen van de deur heeft een vrijwel volledige uitwisseling plaatsgevonden.

21.2.2.3 Krachten op de schepen



Figuur 21.6 Blokkering interne stroming door een schip tijdens vullen en uitwisselen

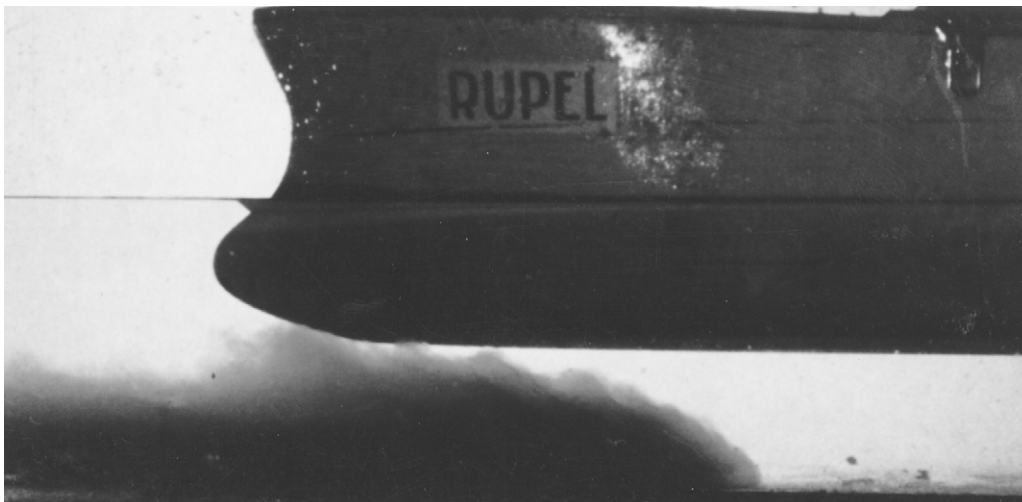


Foto 21.3 Interne stromingen in de kolk

Een in de kolk afgemeerd schip ondervindt tijdens het nivelleren van de sluis langskrachten door het stromende water als gevolg van translatiegolven, impuls van de stralen, directe straalwerking en wrijving. Bij dichtheidsverschillen tussen het water van de kolk en de voorhaven ontstaan tijdens het vullen van de kolk ook dichtheidsverschillen over de lengte van het schip door de interne stromingen in de kolk. Dit komt doordat de interne golf zich met lage snelheid voortplant en door het feit dat door de blokkering van het schip de golf zich ophoopt voor het schip. Zodoende ontstaat een extra verval over het schip met als gevolg een extra langskracht die gericht is naar de zoutste verticaal. Deze kracht varieert met de langperiodieke golfbeweging van de interne golf. Overigens is het dichtheidsverschil tussen de lagen onderling minder dan het initiële dichtheidsverschil tussen kolk en voorhaven, vanwege de grote menging van de vulstralen.

Bij het uitwisselen van de kolk ontstaat een soortgelijk beeld voor het schip; de interne stroming veroorzaakt nu krachten die vaak nog groter zijn dan bij het vullen. Dit komt omdat het dichtheidsverschil tussen de lagen vrijwel gelijk is aan het dichtheidsverschil tussen voorhaven en kolk; er is slechts een beperkte menging. De vraag is of het schip nog afgemeerd ligt als het front van de golf de boeg bereikt of dat het reeds de sluis uitvaart. In beide gevallen is het van belang dat de schipper op deze langskracht rekent omdat de stroming aan het oppervlak niet geheel representatief is voor de krachten die het schip ondervindt.

De maximale kracht op een schip ten gevolge van dichtheidsverschillen, ontstaat omdat ter plaatse van de boeg een nagenoeg homogeen zoute situatie geldt en ter plaatse van het hek een homogeen zoete situatie, of andersom. Uit Lit. [21.9] blijkt dat deze kracht als volgt benaderd kan worden (kracht is gericht naar zoutste verticaal of hoogste dichtheid):

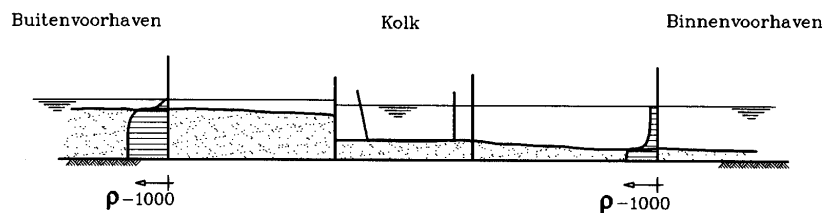
$$F'_r = \frac{\varepsilon}{2 l_s C_b} (d_s - \frac{d_k^2 b_k - d_s^2 b_s}{d_k b_k - d_s b_s}) \quad (21.13)$$

waarin: F'_r	= relatieve langskracht door dichtheidsverschillen	[-]
l_s	= lengte schip	[m]
C_b	= blok-coëfficiënt	[-]
b_k	= breedte kolk	[m]
b_s	= breedte schip	[m]
d_s	= diepgang schip	[m]
d_k	= waterdiepte	[m]
ε	= $(\rho_1 - \rho_2) / \rho_2$ = relatief dichtheidsverschil	[-]

De blok-coëfficiënt is het quotiënt van het werkelijke volume van het schip onder water en de inhoud van een blok van lengte/breedte/diepgang schip.

21.2.3 Situatie op het kanaalpand

Door het nivelleren en uitwisselen van het water van de sluis met dat van de voorhavens, verandert op den duur de gemiddelde dichtheid van het water van de voorhavens. De buitenvoorhaven wordt gemiddeld iets minder zout terwijl de binnenvoorhaven gemiddeld zouter wordt. Hoe vaker de sluis gebruikt wordt hoe meer dit effect merkbaar is.



Figuur 21.7 Gelaagde situaties in de voorhavens

De uitwisselingsstroom van de sluis in de buitenvoorhaven heeft een dichtheid die vrijwel overeenkomt met die van de andere voorhaven door de geringe menging tijdens de uitwisseling. Hierdoor treedt gelaagdheid op waardoor in de buitenvoorhaven een dunne (zoete) oppervlaktelaag en in de binnenvoorhaven een dunne (zoute) laag aan de bodem ontstaan. De zoete bovenlaag in de buitenvoorhaven stroomt af naar zee en zal door scheepsbewegingen en wind op enige afstand van de sluis over de verticaal gemengd worden. De zoute onderlaag in de binnenvoorhaven loopt ver het kanaal in. Deze onderlaag zal door wrijving tussen de lagen onderling en door schroeven van varende schepen over de verticaal gemengd worden.

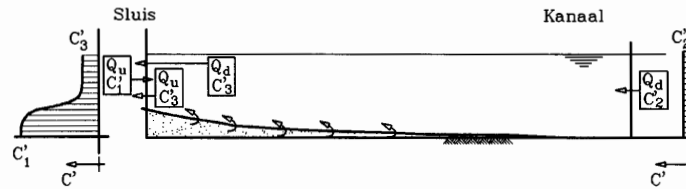
Ondanks de menging zullen in de voorhavens duidelijk gelaagde situaties aanwezig zijn. De dichtheid van het water van de voorhaven van waaruit de kolk uitgewisseld wordt (onderste deel van verticaal van buitenvoorhaven en bovenste deel van binnenvoorhaven), is weinig veranderd. Het resultaat is dat de zoutbelasting op het kanaal per schutcyclus bij veel schuttingen toch maar weinig afneemt.

Het doel van een zoutbestrijdingssysteem is om de zoutindringing in de binnenvoorhaven en het kanaalpand te beperken zodat dit geen hinder oplevert voor landbouw, milieu, visserij en dergelijke. Om dit te realiseren moeten de binnenvoorhaven en het kanaalpand regelmatig worden doorgespoeld.

Bij gebruik van een spuimiddel naast de schutsluis met hoger gelegen openingen, zal het effect op het beperken van de zoutbelasting pas bij een groot doorspoeldebiet merkbaar zijn. Dit komt doordat de zoutlaag onderin alleen dan over de verticaal gemengd en afgevoerd wordt met de spuiroom, wanneer

er duidelijke snelheidsverschillen tussen de lagen onderling zijn en een grote lengte beschikbaar is. Spuien gedurende kortere tijden met een hoog debiet levert daarom meer beperking van de zoutbelasting op dan continu met een klein debiet spuien.

Veel beter is het echter om het zoute water in een diepe put te verzamelen en dit via een diepgelegen zuigmond van een spuisluis of gemaal met lage snelheid af te voeren naar de buitenvoorhaven.



Figuur 21.8 Zoutbalans kanaalpan

Als voorbeeld wordt een zoutbalans opgesteld van een kanaalpan.

Voor het gemak wordt aangenomen dat de kanaalwaterstand gelijk is aan de gemiddelde buitenwaterstand. De volumina water door het nivelleren zijn gering ten opzichte van die van de uitwisseling van de kolk. Het water ten gevolge van de uitwisseling van de kolk vormt een zoute laag op de bodem van het kanaal die landinwaarts geleidelijk in dikte afneemt. In het kanaal is een permanent spuidebiet Q_d aanwezig met een verwaarloosbaar chloride-gehalte aan het begin van het kanaal (fig. 21.8). Door de spuisroom ontstaat op het grensvlak van de zoute onderlaag en de zoete bovenlaag menging zodat de dichtheid van de bovenlaag richting sluis toeneemt en waarbij de bovenlaag bij de sluis een chloride-gehalte heeft van C'_3 . In de evenwichtssituatie wordt juist zoveel zout uit de onderlaag door de bovenlaag meegevoerd als in de onderlaag ingebracht wordt door de uitwisseling van de sluis. Het uitwisselingsdebiet (gemiddeld in de tijd Q_u) van de sluis brengt water met een chloride-gehalte van C'_1 naar binnen en brengt water met een chloride-gehalte van C'_3 naar buiten. De spuisluis spuit het water van de bovenlaag met een debiet Q_d en een dichtheid van C'_3 naar de zee.

De zoutbalans van het binnengebied is als volgt:

$$Q_u C'_1 - Q_u C'_3 = Q_d C'_3 \quad (21.14)$$

Dit levert als permanent spuidebiet op:

$$Q_d = Q_u \frac{C'_1 - C'_3}{C'_3} \quad (21.15)$$

waarin: $C'_1 = (\rho_1 - \rho_2) / 1,4$ = chloridegehalte buitenvoorhaven [kg/m³]

$C'_3 = (\rho_3 - \rho_2) / 1,4$ = toelaatbaar chloridegehalte binnenvoorhaven voor sluis [kg/m³]

Q_u = uitwisselingsdebiet [m³/s]

Q_d = doorspoeldebiet [m³/s]

ρ_1 = dichtheid zoutwater [kg/m³]

ρ_2 = dichtheid zoetwater [kg/m³]

ρ_3 = dichtheid water binnenvoorhaven voor sluis [kg/m³]

De dichtheid van de buitenvoorhaven ρ_1 en het (permanente) uitwisselingsdebiet zijn gegeven, de dichtheid van het water aan de binnenzijde van de sluis volgt uit gestelde eisen. Bij $\rho_1 = 1028 \text{ kg/m}^3$, $Q_u = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ en $\rho_3 = 1005,6 \text{ kg/m}^3$ is $Q_d = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ (permanent doorspoeldebiet). Is dit doorspoeldebiet niet beschikbaar, dan zijn andere maatregelen nodig.

Om te weten over welke afstand de zoutlaag zich uitstrekt (in km), hoe de dikte van de zoutwaterlaag en de dichtheid van de bovenlaag verloopt in de lengterichting van het kanaalpan, zijn veel gedetailleerdere berekeningen nodig (zie Lit. [21.10]).

21.3 Overzicht van maatregelen en systemen voor zout/zoet scheiding

21.3.1 Inleiding

Wanneer de zoutbelasting op het binnengebied door de schutsluis te groot is ten opzichte van het beschikbare doorspoeldebiet, kan deze belasting op diverse manieren worden gereduceerd en wel als volgt (waarbij onderscheid is gemaakt in drie hoofdgroepen in volgorde van toenemende effectiviteit):

- 1 conventionele sluis met aanvullende beheersmaatregelen;
- 2 sluis met een zout/zoetscheidingssysteem met geopende deur tijdens het uitwisselen;
- 3 sluis met een zout/zoetscheidingssysteem met gesloten deur tijdens het uitwisselen.

Er bestaan methoden om de totale uitwisseling te beperken, door:

- beperken van aantal of duur uitwisselingen;
- beperken van uitwisselingsvolume;
- beperken van uitwisselingsdebiet;
- indirect terugspoelen van uitwisselingsvolume;
- direct terugspoelen van uitwisselingsvolume;
- verticaal verplaatsen van uitwisselingsvolume.

Deze paragraaf is opgesteld volgens de drie hoofdgroepen terwijl de methodieken door de hoofdgroepen heen verdeeld zijn. De paragraaf geeft alleen de belangrijkste kenmerken van de maatregelen en systemen. Verdere details en figuren van de systemen volgen in de Paragrafen 21.4 en 21.5. Waar gesproken wordt over deur in enkelvoud, kan dit zowel een enkele draaideur, roldeur, hefdeur of puntdeuren betreffen.

21.3.2 Conventionele sluis met aanvullende beheersmaatregelen

21.3.2.1 Overzicht maatregelen

Uitgangspunt is een normale sluis zonder extra bouwkundige voorzieningen, maar waarmee op een speciale manier wordt omgegaan om de zoutbelasting op het binnengebied te beperken. Hoe groot het effect is op het terugdringen van de zoutbelasting van het binnengebied, hangt af van de vraag in hoeverre de maatregel toepasbaar is en, of het sluispersoneel en de gebruikers zich hieraan houden.

Het zoute water dat ondanks de maatregelen toch voor een groot deel in het binnengebied terecht komt, moet via doorspoelen van dit gebied worden teruggebracht naar de buitenvoorhaven. Dit doorspoelen is alleen effectief als het zoute water in een dieper gedeelte wordt opgevangen (pas op voor extra menging ten gevolge van het “vallen” van zoutwater) en van daaruit wordt afgezogen, of als verwacht mag worden dat het zout door schepen en wind goed over de verticaal wordt gemengd en zo op normale wijze kan worden teruggespuid.

De volgende maatregelen komen in aanmerking.

1a Korte openingstijd deur.

De sluisdeur wordt zo kort mogelijk opgehouden; alleen voor het passeren van schepen. Desnoods wachten de schepen op elkaar en gaan achter elkaar naar binnen of naar buiten. Hiermee wordt het uitwisselingsvolume beperkt.

De maatregel heeft alleen effect als de sluis zeer lang en ondiep is en/of sprake is van een klein dichtheidsverschil. Bepalend is de interne periode van de sluis (vergelijking (21.7)): als de deur langer open staat dan deze periode, heeft sluiten van de deur geen effect meer.

Met deze maatregel wordt bereikt dat de zoutbelasting van het binnengebied ten gevolge van het uitwisselingsproces afneemt. Op de zoutbelasting door afvloeien van de schuttschijf bij het ledigen heeft dit echter geen invloed.

- 1b Minimaal aantal schuttingen met maximale scheepsbezetting.
Bij meer, gelijke sluizen naast elkaar wordt zoveel mogelijk van één sluiskolk gebruik gemaakt met daarin zoveel mogelijk schepen. Naast het feit dat het aantal schuttingen afneemt, is het scheepsvolume in de kolk groter waardoor het uitwisselingsvolume nog verder afneemt.
Bij meerdere, ongelijke sluizen naast elkaar, wordt zoveel mogelijk de kleinste sluiskolk gebruikt. Bij een enkele sluiskolk kan gestreefd worden naar een minimaal aantal schuttingen door de schepen te laten wachten en in één keer te laten invaren. Dit wachten is normaal gesproken bezwaarlijk en hooguit acceptabel voor de pleziervaart. Toch is het een bruikbare overweging in (kortere) perioden van watergebrek.
Met de maatregel wordt bereikt dat de zoutbelasting, veroorzaakt door het ledigings- en uitwisselingsproces, in totaliteit afneemt.
- 1c Gebruik van deelkolken.
Wanneer deelkolken aanwezig zijn wordt zoveel mogelijk hiervan gebruikt gemaakt voor het passeren van de schepen. Het is beter van één deelskolk gebruik te maken en niet steeds van deelskolken te wisselen. Met deze maatregel wordt bereikt dat de zoutbelasting, veroorzaakt door het ledigings- en uitwisselingsproces per schuttcyclus, in totaliteit afneemt.
- 1d Spuien.
Het verdient aanbeveling normaal spuien zoveel mogelijk via laaggelegen openingen te laten plaatsvinden. Als er zeer veel water beschikbaar is, kan dit middel bewust worden ingezet.
Het spuien van water via de deuropeningen van de schutsluis tijdens eb (lekkende ebdeur), als niet gesloten wordt, maakt de buitenvoorhaven relatief zoet. De stralen uit de deuropeningen mengen zich sterk met het omringende water uit de buitenvoorhaven zodat niet direct een afstromende bovenlaag ontstaat. Dit kan wel bereikt worden door een naastgelegen spuisluis of gemaal de buitenvoorhaven zo zoet mogelijk te laten maken. Het gevolg is dat de sluis minder zoutbelasting op de binnenvoorhaven geeft.
Bezwaren van deze maatregel kunnen zijn dat er stroming in de voorhaven ontstaat met mogelijk hinder voor de scheepvaart en dat de aanslibbing van de voorhaven kan toenemen als gevolg van het aanzuigen van extra hoeveelheden zoutwater in de voorhaven.
De maatregel beperkt per schuttcyclus de zoutbelasting op het binnengebied door het ledigen en uitwisselen van de kolk.
- 1e Openen enkele deur.
Bij puntdeuren kan één deur geopend worden (of een roldeur staat voor een deel open) bij passage van kleine schepen, zoals pleziervaart. Dit moet echter niet resulteren in een langere invaarduur van de schepen. Met deze maatregel wordt het uitwisselingsdebiet gehalveerd, waardoor de interne golfperiode (vergelijking (21.7)) wordt verdubbeld. Staan de deuren gemiddeld langer open dan deze (verdubbelde) periode, dan heeft de maatregel geen zin meer; echter wel als de deuren korter open staan.
- 1f Pontons.
Bij brede sluizen zou gedacht kunnen worden aan het aan de sluiswand afmeren van lange, smalle en diepliggende pontons die het kolkvolume verkleinen en dus de zoutbelasting op de binnenvoorhaven verminderen. Bij passage van brede schepen worden de pontons weggenomen. Tot nu toe is de middel niet toegepast.
- 1g Nivelleren bij eb.
Door zoveel mogelijk bij eb te schutten hoeft de zoute kolk niet naar het binnengebied te ledigen (beperken zoutbelasting van schuttschijf) en wordt de uit te wisselen hoeveelheid water beperkt. Hier geldt eveneens het bezwaar dat schepen zullen moeten wachten. De zoutbelasting van het binnengebied neemt door deze maatregel in totaliteit wel af, al is het zoetverlies nog groot.
(NB. Dit kan alleen bij kleine schepen; grote geladen schepen komen juist met vloed binnen).

De maatregelen 1a en 1b (korte openingstijd deur en minimum aantal schuttingen) vallen onder de methodiek "beperken van aantal of duur uitwisselingen". De maatregelen 1c, 1f en 1g (deelkolken, pon-

tons, nivelleren bij eb) vallen onder de methodiek “beperken uitwisselingsvolume” en maatregel 1e (enkele puntdeur), valt onder de methodiek “beperken uitwisselingsdebiet”.

Het effect van één of meer van deze maatregelen op de zoutbelasting van het binnengebied kan in principe aanzienlijk zijn, maar moet wel gepaard gaan met een werkbare situatie. Vaak komen de maatregelen echter niet in aanmerking vanwege eerder genoemde praktische bezwaren. Maatregel 1d (spuien) is afhankelijk van een voldoende aanbod van zoetwater; de andere maatregelen zijn dat niet.

21.3.2.2 Reductie zoutbelasting en zoetwateraanvoer

We definiëren de “reductie zoutbelasting” als volgt: het quotiënt van de hoeveelheid zout die het binnengebied inkomt bij de genomen maatregel (of bij het gebruikte systeem) en de hoeveelheid zout in de kolk zonder schepen voordat genivelleerd en uitgewisseld is via de binnendeur.

Evenzo is de term “zoetwateraanvoer” het quotiënt van het volume uit het kanaal aangevoerde zoetwater bij de genomen maatregel en het volume zoutwater in de kolk zonder schepen voordat genivelleerd en uitgewisseld is via de binnendeur.

Reductie zoutbelasting en zoetwateraanvoer worden uitgedrukt in procenten (%).

Opgemerkt wordt dat de term “zoetwateraanvoer” betrekking heeft op het volume zoetwater dat aangevoerd moet worden om de waterstand in het binnengebied te handhaven ter compensatie van het nivelleren van de sluis of het spuien. Daarentegen slaat de term “zoetwaterverlies” op het volume zoetwater dat de buitenvoorhaven instroomt ten gevolge van het nivelleren en de uitwisseling van de sluis.

De reductie van de zoutbelasting op het binnengebied en de benodigde zoetwateraanvoer hangen sterk af van op welke wijze met de maatregelen wordt omgegaan en van de afmetingen en randvoorwaarden van de sluis. Daarom kunnen alleen globale waarden voor de systemen gegeven worden.

De referentiesituatie betreft een sluis zonder speciale maatregelen. De waterdiepte in de kolk bij het kanaalpeil is 10% groter dan de waterdiepte in de kolk bij het gemiddelde buitenwaterpeil. De kolk wordt volledig uitgewisseld (zeer lang openstaande deur) terwijl het scheepsvolume verwaarloosbaar is ten opzichte van het kolkvolume. Dit geeft een reductie van de zoutbelasting van 0% en een zoetwateraanvoer van 10%.

Bij de situatie “niets doen” wordt uitgegaan van een gemiddeld scheepsvolume van 25% van de inhoud van de kolk. Voor de situatie “niets doen” en de behandelde maatregelen worden in het volgende overzicht voorbeelden van mogelijke resultaten gegeven ten opzichte van de referentiesituatie.

- Situatie “niets doen”
Reductie zoutbelasting 15-20% (vanwege scheepsvolume) en de minimaal benodigde zoetwateraanvoer is 10% (schutschijf).
- 1a Maatregel 1a, korte openingstijd deur:
Alleen mogelijk bij zeer lange en ondiepe sluizen.
Reductie zoutbelasting 20-25% en zoetwateraanvoer 10%.
- 1b Maatregel 1b, minimaal aantal schuttingen of gebruik kleinste sluis:
Bestemd voor meer sluizen naast elkaar of bij enkele sluis voor pleziervaart.
Reductie zoutbelasting 35-40% en zoetwateraanvoer 5%.
- 1c Maatregel 1c, deelskolken:
Deelskolken moeten aanwezig zijn.
Reductie zoutbelasting 40-50% en zoetwateraanvoer 5%.
- 1d Maatregel 1d, spuien buitenvoorhaven:
Mogelijk bij voldoende zoetwateraanvoer.
Reductie zoutbelasting 25-35% en zoetwateraanvoer 50%.

- 1e Maatregel 1e, openen enkele puntdeur:
Bestemd voor pleziervaart (scheepsvolume is kleiner dan 25%).
Reductie zoutbelasting 25-35% en zoetwateraanvoer 10%.
- 1f Maatregel 1f, pontons:
Alleen voor brede sluizen.
Reductie zoutbelasting 25-35% en zoetwateraanvoer 10%.
- 1g Maatregel 1g, nivelleren bij eb
Vanwege wachttijden niet acceptabel.

Als meer maatregelen tegelijk getroffen worden, neemt de gezamenlijke reductie in beperkte mate toe. Zo zal bij gebruik van deelkolken een korte openingstijd van de deur weinig meer uithalen en spuien in de buitenvoorhaven vermindert het effect van deelkolken. Is bijvoorbeeld de reductie door de ene maatregel 30% en door de andere maatregel 20%, dan ligt de gezamenlijke zoutreductie tussen 30 en 44% ($= 30\% + 20\% \times 0,7$) in.

21.3.3 Systemen met geopende deur tijdens uitwisselen

21.3.3.1 Overzicht systemen

Bij deze systemen wijkt de sluis af van de conventionele sluis doordat sluis of voorhaven wordt aangepast, maar niet zodanig dat een geheel ander type sluis ontstaat. Daarbij komt dat de bediening ingewikkelder wordt dan van een conventionele sluis. Bij de systemen vindt uitwisseling plaats van het water van de kolk met dat van de voorhaven met geopende deur. Met de systemen wordt de zoutbelasting aan de binnenzijde beperkt, de zoetwateraanvoer verandert niet of neemt toe.

De volgende systemen komen in aanmerking:

- 2a Luchtbellenschermen in combinatie met het zo kort mogelijk open staan van de deur.
Door geperforeerde buizen die nabij de sluisdeur in de sluisbodem liggen, wordt lucht geblazen die een verticale stroming in het water opwekt. Daardoor worden het uitwisselingsdebiet beperkt en het uitwisselingsproces vertraagd. Als de deur kort openstaat wordt een deel van de zoutbelasting op de binnenvoorhaven tegengegaan. Het systeem komt vooral in aanmerking voor een lange sluis met een beperkt dichtheidsverschil. Voor het bereiken van de grootste effectiviteit (gegeven een bepaalde compressor) worden de schermen bij zowel de buiten- als de binnendeur geplaatst. Met een luchtbellenscherm wordt alleen het gedeelte van de zoutbelasting door het uitwisselingsproces verminderd maar niet het gedeelte ten gevolge van de schutscijf (ledigingsvolume). Bovendien geeft passage van schepen weer extra uitwisselen.
Nadelen van deze methode zijn de energiekosten en het moeizaam kunnen passeren van het scherm door pleziervaart (luchtdebiet tijdelijk beperken). Voordelen zijn dat het front van de uitwisselingsstroom geleidelijker verloopt zodat grote zeeschepen veel minder last hebben van het passeren hiervan. Bovendien wordt het zout over de verticaal gemengd zodat dit beter terug te spoelen is. Het afmeren langs de kolkwand verloopt sneller omdat minder last ondervonden wordt van opstuiken van de zoete bovenlaag.
Behalve luchtbellenschermen zijn ook waterschermen of schermen van kunstmatig riet in staat het uitwisselingsproces te vertragen; de praktische toepassing heeft echter grote nadelen.
- 2b Verstelbare zoutdrempel bij de binnendeur.
Een zoutdrempel voor de binnendeur verhindert het uitwisselen van het zoute water in de kolk onder het niveau van de drempel met het water van de binnenvoorhaven. Wanneer de drempel beweegbaar gemaakt wordt, kan deze afgestemd worden op de diepgang van het passerende schip. Het systeem moet betrouwbaar zijn om te voorkomen dat schepen niet tegen de onzichtbare drempel varen. Met de drempel wordt alleen de zoutbelasting ten gevolge van het uitwisselingsproces verminderd. Grootste effect is te verwachten bij sluizen die diep zijn voor een incidenteel passerend diepstekend schip. Een verdere verbetering van het systeem is om op de kruin van de drempel een luchtbellenscherm aan te brengen.

- 2c Verwijderen zoute schuttschijf.
In plaats van dat bij hoog water de sluis geledigd wordt naar de binnenvoorhaven, kan de zoute schuttschijf direct uit de kolk met pompen of indirect via een naast de kolk gelegen laag bekken of reservoir worden teruggebracht naar de buitenvoorhaven. Wanneer de kolk gelijkwater heeft, worden de deur geopend en wisselt de kolk op normale manier met de binnenvoorhaven uit. Hoewel de zoute schuttschijf maar een klein deel uitmaakt van de zoutbelasting, is het effect toch niet verwaarloosbaar omdat het zoutgehalte van de schuttschijf groot is.
- 2d Terugspoelen zoutwater uit diepe put in binnenvoorhaven.
De sluis is bij dit systeem een conventionele sluis. Het zoute water van het uitwisselingsproces, dat als een zoute tong aan de bodem de binnenvoorhaven inloopt, wordt naar een verdieping in de bodem van de binnenvoorhaven geleid. In deze verdieping is een laaggelegen zuigmond aangebracht van waaruit dit zoute water met lage snelheid tijdens eb naar de buitenvoorhaven geloosd of er naar toe verpompt wordt. De inhoud van de zoute put en de spuicapaciteit moeten groot zijn, aangezien het volume zoutwater aanzienlijk toeneemt door de menging met het omringende water van de binnenvoorhaven.
De nadelen van dit systeem zijn dat er sprake is van een beheer van de zoutput terwijl er voldoende zoetwateraanvoer ter beschikking moet staan. De zoute put vergt een extra investering.
- 2e Afzuigen zouttong bij binnendeur.
Direct achter de binnendeur wordt een laaggelegen zuigmond aangebracht die via een riool in verbinding staat met de buitenvoorhaven. Wanneer het zoute water in de kolk uitwisselt met dat van de binnenvoorhaven, wordt een deel van de zoute tong aan de bodem met lage instroomsnelheden naar de zuigmond geleid en weer teruggevoerd naar de buitenvoorhaven bij eb of naar een laaggelegen bekken.
Nadeel van deze methode is de grote investering voor de afzuiginstallatie waarmee slechts een deel van het zoute water afgevoerd kan worden. Het afzuigdebiet zou eigenlijk moeten variëren met de scheepspassage.

Systeem 2a (luchtbellenscherm) valt onder de methodiek “beperken uitwisselingsdebiet”. De systemen 2b en 2c (drempel en verwijderen zoute schuttschijf) vallen onder de methodiek “verminderen uitwisselingsvolume” en de systemen 2d en 2e (indirect en direct terugspoelen zoutwater) onder de methodiek “indirect vervangen uitwisselingsvolume”.

21.3.3.2 Zoutbelasting en zoetwateraanvoer

De reductie van de hoeveelheid zout op het binnengebied en de benodigde aanvoer van zoetwater hangen af van de diverse uitvoeringen en randvoorwaarden van het systeem. Daarom kunnen alleen globale waarden voor de systemen gegeven worden. In het volgende overzicht worden de resultaten gegeven ten opzichte van de referentiesituatie (sluis zonder maatregelen) zoals in par. 21.3.2.2.

- 2a Systeem 2a, luchtbellenschermen met snel sluiten
Geschikt voor lange sluizen. Groot energieverbruik, investering niet groot en het scherm kan eventueel later worden aangebracht. Reductie zoutbelasting 35-45% en zoetwateraanvoer 20%.
- 2b Systeem 2b, verstelbare zoutdrempel bij binnendeur
Voor diepe sluizen. Reductie zoutbelasting 40-50% en zoetwateraanvoer 10%.
- 2c Systeem 2c, verwijderen zoute schuttschijf
Voor sluizen waarbij hoogwater duidelijk boven het kanaalpeil ligt. Reductie zoutbelasting 30%, zoetwateraanvoer nihil.
- 2d Systeem 2d, diepe put in binnenvoorhaven
Alleen effectief als voldoende zoetwater beschikbaar is, vergt extra investering in de zoutput en het spuumiddel. Reductie zoutbelasting 80% bij zoetwateraanvoer van 150-200%.

- 2e Systeem 2e, direct afzuigen zouttong
 Voor diepe sluizen, vergt grote investering in de afzuiginstallatie. Reductie zoutbelasting maximum 40% bij zoetwateraanvoer van 40%.

Wanneer weinig zoetwater beschikbaar is, kunnen de systemen 2b en 2c (luchtbellenschermen en verstelbare zoutdrempel) gecombineerd worden. Indien veel zoetwater beschikbaar is kunnen de systemen 2d en 2e (indirect en direct afzuigen zouttong, systeem Zeesluis Terneuzen) gecombineerd worden. De gezamenlijke reductie van de zoutbelasting is iets meer dan de grootste, afzonderlijke reductie.

21.3.4 Systemen met gesloten deuren tijdens nivelleren en uitwisselen

21.3.4.1 Overzicht systemen

Bij de systemen met gesloten deuren tijdens het nivelleren en uitwisselen, wijkt de sluis volledig af van de conventionele sluis en is in zijn ontwerp, bouw en besturing gecompliceerd en vergt daardoor ook een zeer grote investering (bijvoorbeeld twee- tot drievoudige t.o.v. conventionele sluis). Bij het functioneren van de systemen tijdens het uitwisselen zijn de deuren steeds gesloten. Groot voordeel van de systemen is het zeer sterk reduceren van de zoutlast op de binnenvoorhaven, terwijl het zoetwaterverlies beperkt blijft.

Er zijn systemen waarbij het water binnen de kolk vervangen wordt door het water uit de voorhaven. Gezorgd moet worden dat het grensvlak horizontaal blijft en dat er gelijktijdig zoetwateraanvoer en zoutwaterafvoer is of andersom. Dit kan plaatsvinden met stromingen overdwars of in dwars- en langsrichting van de sluis. Daarnaast is er een systeem waarbij een bak met zoutwater in een overigens zoete kolk verticaal verplaatst wordt.

- 3a Nivelleren en uitwisselen overdwars (systeem Duinkerken).
 Bij dit systeem wordt het zoute water in verticale richting toe- of afgevoerd via een geperforeerde bodem. Het zoete water wordt in horizontale dwarsrichting af- of toegevoerd via hooggelegen openingen in de wanden. De stromingen zijn min of meer 2-dimensionaal in een vlak loodrecht op de sluisas. De openingen in de bodem en de wanden zijn over de gehele lengte van de kolk gelijkmatig verdeeld. De bodemopeningen staan in verbinding met laaggelegen riolen verbonden met pompen en/of zoute bekkens. De wandopeningen zijn verbonden met omringend zoetwater (of hooggelegen riolen). Afhankelijk naar welke voorhaven de kolk in verbinding gebracht moet worden, wordt het zo horizontaal mogelijk gehouden grensvlak tussen zout- en zoetwater omhoog dan wel omlaag gebracht (opwaarts of neerwaarts uitwisselen). In tijden van voldoende zoetwateraanvoer kan opwaarts uitwisselen achterwege blijven.
 Nadelen van het systeem zijn de hoge kosten hiervan (dubbele riolen, systeem, gemaal), de complexiteit, de extra tijd benodigd voor het uitwisselen van de kolk en de dwarskrachten op de schepen tijdens het proces. Voordeel is de uitstekende scheiding van zout- en zoetwater.
- 3b Nivelleren en uitwisselen in langs- en dwarsrichting van sluis.
 Dit soort systemen wordt gebruikt voor het passeren van de binnendeur en is alleen een zoutbestrijdingssysteem. Er zijn twee systemen te onderscheiden.
 Bij het eerste systeem stroomt het zoete water voornamelijk in dwarsrichting van de sluis en het zoute water in langsrichting. Tijdens het uitwisselen komt het zoete water de sluis binnen door wandopeningen die zich over de hele lengte van de kolk uitstrekken en net onder het wateroppervlak gesitueerd zijn. Het zoute water verlaat de kolk nabij de sluisbodem bij het buitenhoofd. Het verdient aanbeveling de kolk extra te verdiepen om langssnelheden klein te houden.
 Bij het tweede systeem stroomt het zoete water voornamelijk in langsrichting van de sluis en het zoute water in dwarsrichting. In de uitwisselingsfase komt het zoete water de kolk binnen net onder het wateroppervlak bij het binnenhoofd, terwijl het zoute water de kolk verlaat via laaggelegen wandopeningen die over de gehele lengte van de sluis verdeeld zijn. Voor korte sluizen is dit systeem te overwegen.
 Nadelen van dit type systeem zijn dat sterk blokkerende schepen in de kolk het uitwisselingsproces kunnen verstoren waardoor het rendement afneemt, de extra benodigde tijd voor de uitwis-

seling (met name als de sluis lang is) en het zoetwaterverlies. Voordeel van dit type systeem is dat het in verhouding tot de andere in deze sectie genoemde systemen eenvoudiger, goedkoper en toch effectief is.

3c Zoute liftbak.

Bij dit systeem wordt een bak die geheel gevuld is met zoutwater in een sluiskolk met overigens zoetwater verticaal heen en weer bewogen. Tijdens het verblijf in de sluis bevinden de schepen zich in of boven de bak. Om het passeren van de binnendeur mogelijk te maken verdwijnt de zoute bak in een verdiept gedeelte van de kolk waarbij het waterpeil gelijk gebracht wordt met het binnenwater door het aan- of afvoeren van zoetwater. Om de buitendeur te passeren, wordt de zoute bak omhooggebracht waarbij het niveau van het zoute water hierin gelijk gebracht wordt met de buitenwaterstand.

Nadelen van het systeem zijn de hoge kosten (extra brede sluis met bak en hefinrichting, dubbele pomp). De extra benodigde tijd is gering. Het systeem is minder geschikt voor erg diepe sluizen. Voordeel is de voortreffelijke scheiding van zout- en zoetwater. De extra breedte van de sluis kan gebruikt worden voor schutten van brede schepen zonder het uitwisselingssysteem.

Systemen 3a en 3b (Nivelleren en uitwisselen overdwers of in langs- en dwarsrichting) vallen onder de methodiek "geforceerde uitwisseling", systeem 3c (zoute liftbak) onder de methodiek "geëlimineerde uitwisseling".

Behalve deze drie systemen zijn andere systemen denkbaar zoals sluizen met uitwisseling alleen in langsrichting of met een hoog compartiment voor zoetwater en een laag compartiment voor zoutwater. Tot een praktische uitwerking is het niet gekomen vanwege de gedachte dat de investering te hoog zou zijn.

21.3.4.2 Zoutbelasting en zoetwateraanvoer

De reductie van de hoeveelheid zout op het binnengebied en de benodigde aanvoer van zoetwater hangen af van de diverse uitvoeringen en randvoorwaarden van het systeem. In het volgende overzicht worden evenals in par. 21.3.2.2 (mogelijke) resultaten gegeven ten opzichte van de referentiesituatie (sluis zonder maatregelen) zoals beschreven.

- 3a Systeem 3a, nivelleren en uitwisselen overdwers (Duinkerken)
Systeem is complex, vergt extra tijd en geeft dwarskrachten op de schepen. Er zijn geen beperkingen aan de sluisafmetingen.
Reductie zoutbelasting 90-98% en zoetwateraanvoer 30-80%
- 3b Systeem 3b, nivelleren en uitwisselen in langs- en dwarsrichting
Systeem is vrij eenvoudig en vergt extra tijd. Bestrijdt de zoutbelasting, geeft wel zoetwaterverlies (in eenvoudige uitvoering). Niet geschikt voor lange sluizen.
Reductie zoutbelasting 70-90% en zoetwateraanvoer 100%
- 3c Systeem 3c, zoute liftbak
Systeem is complex. Minder geschikt voor diepe sluizen vanwege bak die in de bodem wegzinkt. Zeer goede scheiding van zout en zoetwater.
Reductie zoutbelasting 95-98% en zoetwateraanvoer 10-20%

21.3.5 Toepassingen

De toepassing van een maatregel of een systeem voor de zout/zoetscheiding in een voorkomende situatie hangt van een aantal factoren af. De belangrijkste factor is de gevraagde reductie van de zoutbelasting. Een andere bepalende factor is de beschikbaarheid van zoetwater. Daarnaast spelen de afmetingen van de schutsluis (lengte, breedte, waterdiepte) en het dichtheidsverschil een rol. Zaken als investerings- en gebruikskosten, extra benodigde uitwisselingstijd en dwarskrachten op de schepen spelen uiteraard ook een rol. Deze zaken worden hier echter buiten beschouwing gelaten.

Reductie zoutbelasting

Is de gevraagde reductie van de zoutbelasting beperkt, dan komen in aanmerking:

- beheersmaatregelen, zoals minimaliseren van het aantal schuttingen of gebruik van de kleinste sluis (maatregel 1b), danwel (indien beschikbaar) deelkolken (maatregel 1c).

Bij meer eisen ten aanzien van de reductie kunnen overwogen worden:

- luchtbellenschermen bij lange sluis (systeem 2a);
- verstelbare drempel (systeem 2b).

Wanneer een grote reductie gevraagd wordt, zijn omvangrijke bouwkundige voorzieningen nodig zoals:

- diepe put in binnenvoorhaven, mits een minimaal benodigde hoeveelheid zoetwater beschikbaar is (systeem 2d), eventueel in combinatie met direct afzuigen zouttong (systeem 2e, Terneuzen);
- nivelleren en uitwisselen overdwers (systeem 3a, Duinkerken) bij enige beschikbaarheid van zoetwater;
- nivelleren en uitwisselen in langs- en dwarsrichting bij voldoende zoetwateraanvoer en niet te lange sluis (systeem 3b);
- zoute liftbak (systeem 3c) bij geringe zoetwater aanvoer en niet te diepe sluis.

Beschikbaarheid zoetwater

Wanneer vrijwel geen zoetwater beschikbaar is, komen in aanmerking:

- beheersmaatregelen, zoals minimaliseren aantal schuttingen of gebruik kleinste sluis (maatregel 1b) danwel indien beschikbaar deelkolken (maatregel 1c);
- luchtbellenschermen bij lange sluis (systeem 2a);
- verstelbare drempel bij diepere sluis (systeem 2b);
- zoute liftbak (systeem 3c) voor niet te diepe sluis.

Bij meer beschikbaarheid van zoetwater komen verder in aanmerking:

- nivelleren en uitwisselen overdwers (systeem 3a, Duinkerken);
- nivelleren en uitwisselen in langs- en dwarsrichting bij niet te lange sluis (systeem 3b).

Bij grote beschikbaarheid van zoetwater komt ook in aanmerking:

- diepe put in binnenvoorhaven (systeem 2d), eventueel in combinatie met direct afzuigen zouttong (systeem 2e). (Opm. Zeesluis Terneuzen is 2d + 2e).

Afmetingen schutkolk

Bij heel kleine sluizen (tot 6 m breedte) komen in aanmerking:

- vaste drempel bij diepere sluis (systeem 2b);
- diepe put in binnenvoorhaven bij grote beschikbaarheid zoetwater (systeem 2d);
- nivelleren en uitwisselen in langs- en dwarsrichting (systeem 3b).

Bij kleine tot grote sluizen (breedte tot 24 m) komen in aanmerking:

- luchtbellenschermen bij lange sluis (systeem 2a);
- verstelbare drempel bij diepere sluis (systeem 2b, eventueel integreren met deurfunctie) en eventueel luchtbellenscherm (systeem 2a);
- diepe put in binnenvoorhaven bij grote beschikbaarheid zoetwater (systeem 2d);
- nivelleren en uitwisselen overdwers (systeem 3a, Duinkerken);
- nivelleren en uitwisselen in langs- en dwarsrichting (systeem 3b);
- zoute liftbak (systeem 3c).

Voor grote zeesluizen komen in aanmerking:

- luchtbellenschermen (systeem 2a) en/of verstelbare drempel (systeem 2b), de zoetwateraanvoer speelt hierbij geen rol;
- diepe put in binnenvoorhaven bij grote beschikbaarheid zoetwater (systeem 2d), eventueel in combinatie met direct afzuigen zouttong (systeem 2e) (Opm. zeesluis Terneuzen is 2d + 2e);
- nivelleren en uitwisselen overdwers bij voldoende zoetwateraanvoer (systeem 3a, Duinkerken).

21.4 Zout/zoetscheidingssystemen met geopende deur tijdens uitwisselen

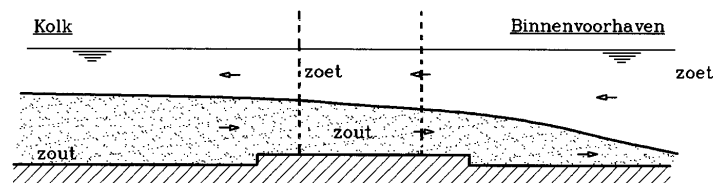
21.4.1 Luchtbellenschermen (met korte openingstijd deur)

21.4.1.1 Stroombeeld



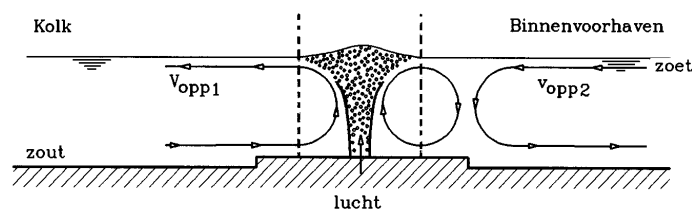
Figuur 21.9 Luchtbellenscherm in een homogene situatie

Als eerste de situatie zonder dichtheidsverschillen. Een luchtbellenscherm genereert een verticale naar boven gerichte stroming boven het scherm. De toestroming van het water vindt plaats nabij de bodem waarbij het water deels langs de bodem en deels via kleine neren met horizontale as wordt aangevoerd (Fig. 21.9). De afstroming vindt plaats nabij het wateroppervlak waarbij het water deels langs het wateroppervlak en deels via de genoemde neren afgevoerd wordt.



Figuur 21.10 Uitwisselingsstroom zonder luchtbellenscherm

Vervolgens de situatie met dichtheidsverschillen over de binnendeur zonder luchtbellenscherm. Als de binnendeur wordt geopend, ontwikkelt zich een uitwisselingsstroom. Gedurende de eerste periode van uitwisseling is dit een tweelagenstroom van zoetwater boven en zoutwater onder, met het grensvlak ongeveer halverwege de waterdiepte.



Figuur 21.11 Uitwisselingsstroom met luchtbellenscherm

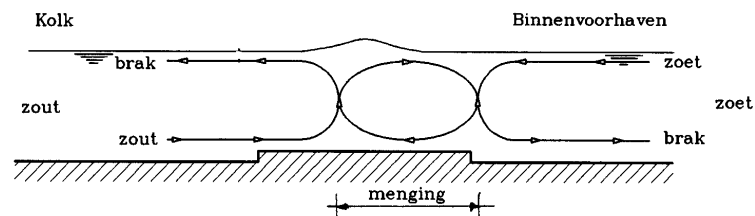
Als derde de situatie met dichtheidsverschillen over de binnendeur en met een luchtbellenscherm. Als de binnendeur wordt geopend, ontwikkelt zich een gedeeltelijke uitwisselingsstroom. Het luchtbellenscherm genereert weer een verticale, omhooggerichte stroming.

Aan de zoete zijde is de uitwisselingsstroom (Fig. 21.10) tegenovergesteld aan de stroming door het luchtbellenscherm (Fig. 21.9). Daarom ontstaat een neer aan de zoete zijde die door de verticale stroming van het luchtbellenscherm wordt aangedreven (Fig. 21.11). Deze neer beslaat de hele waterdiepte en heeft een horizontale as. Er vindt horizontale toestroming van deze neer plaats langs het wateroppervlak en horizontale afstroming via de bodem.

Aan de zoute zijde is de uitwisselingsstroom (Fig. 21.10) gelijkgericht aan de stroming door het luchtbellenscherm (Fig. 21.9). Aan de zoute zijde is daarom de neer afwezig; de horizontale toestroming naar de verticale stroming van het scherm vindt plaats langs de bodem en de afstroming langs het wateroppervlak (Fig. 21.11).



Foto 21.4 Luchtbellenscherm tijdens openen deuren, Jachtensluis Volkerak



Figuur 21.12 Banen van zoet en zoutwater in een uitwisselingsstroom met luchtbellenscherm

Het resultaat is dat het water van de uitwisselingsstroom moet stromen via de grote neer aan de zoete kant. Het zoute water passeert de neer langs het wateroppervlak, het zoete water passeert de neer via de bodem. Ondertussen wordt het uitwisselende water met elkaar gemengd (Fig. 21.12).

Het effect van het luchtbellenscherm is dat de onderlaag die in de binnenvoorhaven doordringt, een lagere dichtheid heeft dan het zoute water van de buitenvoorhaven. De bovenlaag die in de kolk doordringt heeft een hogere dichtheid dan het zoete water in de voorhaven. Bovendien zijn de uitwisselingsdebieten zelf ook afgenomen. Ten gevolge van de grote menging is de dikte van de grenslaag aanzienlijk.

Na enige tijd is niettemin een groot deel van de kolk inhoud uitgewisseld en de dichtheidsverschillen tussen het water in de kolk en dat van de voorhaven zijn afgenomen. Op een gegeven moment overheerst het homogene stroombeeld waarbij twee neren aan weersijden van het scherm draaien. Hierdoor wordt de mogelijkheid van uitwisseling verder verminderd en handhaaft zich een beperkt dichtheidsverschil over het scherm. De gehele inhoud van de kolk wordt langzamerhand gemengd door de neer aan de open zijde van de sluis, waardoor de gelaagdheid verder vermindert.

21.4.1.2 Reductie zoutbelasting

In Lit. [21.3] en [21.10] wordt een (dimensieloze) factor Q' afgeleid die betrekking heeft op de verhouding van de snelheid van het water in de neren als gevolg van het luchtdebiet en de interne golfsnelheid van de dichtheidsstroom, volgens:

$$Q' = \frac{\sqrt[3]{q_a g}}{\sqrt{\varepsilon g (h_{bi} - z_k)}} \quad (21.16)$$

waarin: Q'	= factor luchtdebiet	[-]
ε	= relatief dichtheidsverschil	[-]
q_a	= luchtdebiet per m' behorend bij 10^5 Pa (= 1 atmosfeer)	[m ³ /s/m]
h_{bi}	= waterstand binnenvoorhaven	[m NAP]
z_k	= niveau kolkbedem	[m NAP]

Het reduceren van de snelheid van zoutbinnendringing in de binnenvoorhaven wordt bepaald door deze factor. Voor de berekening van de zoutindringing bij een luchtbellenscherm kan worden uitgegaan van een verkleind uitwisselingsdebiet met een onveranderd dichtheidsverschil. Het uitwisselingsdebiet kan beschreven worden volgens vergelijking (21.5) waarin de coëfficiënt C_u voor de uitwisselingssnelheid opgenomen is:

$$Q_u = b_d (h_{bi} - z_d) C_u \sqrt{\varepsilon g (h_{bi} - z_k)} \quad (21.5)$$

waarin: Q_u	= uitwisselingsdebiet	[m ³ /s]
C_u	= coëfficiënt voor uitwisselingssnelheid	[-]
b_d	= breedte ter plaatse van de deur	[m]
z_d	= niveau bodem bij de deur	[m NAP]
ε	= $(\rho_1 - \rho_2) / \rho_2$ = relatief dichtheidsverschil	[-]

In Lit. [21.2] en Lit. [21.3] zijn prototype-metingen beschreven die het verband leggen tussen de reductie van de zoutbelasting van een luchtbellenscherm en de factor Q' . Met de resultaten hiervan is een verband afgeleid tussen Q' en C_u volgens onderstaande tabel:

Q'	C_u
0,0	0,2
0,35	0,13
0,5	0,095
0,7	0,07

Tabel: Verband tussen luchtdebiet Q' en coëfficiënt uitwisselingssnelheid C_u

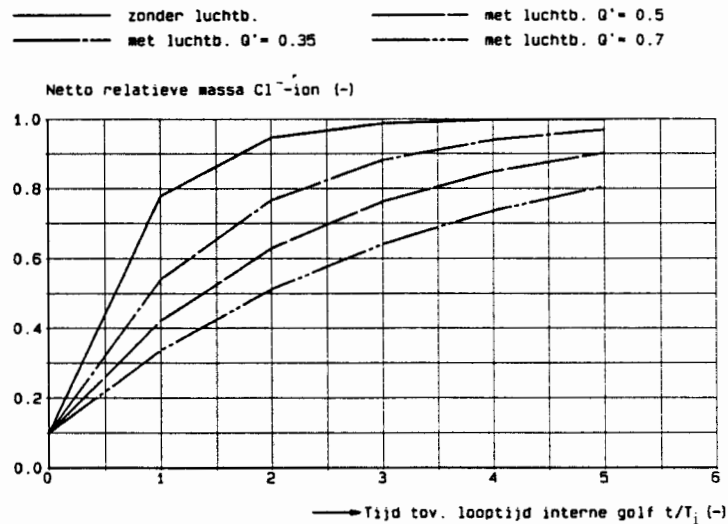
Factor $Q' = 0$ duidt op geen luchtbellenscherm. Bij een factor $Q' = 0,5$ wordt het uitwisselingsdebiet tot een factor 0,48 (= 0,095/0,20, zie tabel) gereduceerd.

In Lit. [21.2] is op basis van de metingen een empirische relatie gepresenteerd als uitbreiding van vergelijking (21.12) zonder luchtbellenscherm:

$$U = \left(1 - \left(0.95 - 0.085 \frac{t}{T_i} \right) Q' \right) tgh \left(\frac{t}{T_i} \right) \quad (21.17)$$

$$\text{waarin: } T_i = \frac{4 l_k}{\sqrt{\varepsilon g (h_{bi} - z_k)}} \quad (21.11)$$

U	= verhouding uitgewisselde hoeveelheid water ten opzichte van maximale hoeveelheid uit te wisselen water	[-]
t	= tijd	[s]



Figuur 21.13 Relatieve massa Cl^- -ion op de binnenvoorhaven bij een luchtbellenscherm

Als voorbeeld een schutsluis met een kolk waarbij het zoutgehalte van het water overeenkomt met de buitenvoorhaven. De kolk wordt geleidigd en wisselt uit met de binnenvoorhaven. Daarbij wordt tijdens het uitwisselen een luchtbellenscherm bij de binnendeur gebruikt, na het openen van de binnendeur. Het aandeel van het ledigingsvolume (schuttschijf) in het totale volume zoutwater van de kolk is gesteld op 10%. Er zijn geen schepen in de kolk.

In Fig. 21.13 staat in dimensieloze vorm de hoeveelheid zout op de voorhaven als functie van de tijd uitgezet voor diverse waarden van het luchtdebiet. De tijd nodig om de deur te openen wordt verwaarloosd ten opzichte van de uitwisselingstijd, terwijl ook de lokale waterbeweging veroorzaakt door de deurbeweging niet meegerekend wordt. Op de verticale as staat de verhouding van de op de binnenvoorhaven terechtgekomen massa zout en de initiële massa zout in de kolk. De horizontale as betreft de verhouding van de tijd en de periode van de interne golf, het luchtdebiet is verwerkt als Q' . Tijd is nul op het moment van openen van de binnendeur. Het blijkt dat de massa zout in de voorhaven toeneemt met de tijd, maar veel minder snel met een groter luchtdebiet.



Foto 21.5 Luchtbellenscherm na openen deuren, Duwvaartsluizen Volkerak

Een dergelijke presentatie is ook te geven voor de buitendeur als een initieel zoete kolk genivelleerd en uitgewisseld wordt met de zoute buitenvoorhaven. Hierbij is de hoeveelheid zout die in de kolk terecht komt als functie van tijd interessant. Bij de buitendeur zal een luchtbellenscherm de uitwisselingsstroom gedeeltelijk tegenhouden, waardoor de hoeveelheid zout in de kolk beperkt wordt.

Het is zinvol zowel bij de binnen- als bij de buitendeur tijdens het uitwisselen luchtbellenschermen te laten functioneren en de deur op tijd te sluiten, voordat de kolkinhoud geheel uitgewisseld is. In dat geval zal namelijk het zoutgehalte van het water in de kolk zich binnen nauwere grenzen bevinden dan tussen geheel zout of zoetwater. Het gevolg is dat het dichtheidsverschil over de binnendeur afneemt waardoor een kleinere hoeveelheid zout op de binnenvoorhaven terechtkomt dan in de situatie met een enkel luchtbellenscherm. Hoeveel de vermindering van het zoutbelasting door het toepassen van twee in plaats van één luchtbellenscherm bedraagt, hangt af van vele factoren. Maximaal is een factor 2 mogelijk wanneer het aandeel van de zoutbelasting door het ledigen buiten beschouwing gelaten wordt.

Met het rekenmodel LOCKAIR, behandeld in WL-verslag Q1784, kan in allerlei situaties de reductie van de zoutbelasting door luchtbellenschermen bepaald worden als functie van de gemiddelde openingstijd van de deur en bij het functioneren van of één of twee luchtbellenschermen.

21.4.1.3 Toepassing

Een luchtbellenscherm wordt uitgevoerd middels een geperforeerde buis die wordt aangesloten op de aanvoerleiding van een luchtcompressor. De geperforeerde buis van het luchtbellenscherm wordt in een sleuf in de sluisbodem gelegd, zo dicht mogelijk langs de initiële scheiding van zout- en zoetwater, dus langs de deurbepaling. Bij puntdeuren volgt de geperforeerde buis de V-vorm van de deuren. Bij een dubbel stel puntdeuren ligt de geperforeerde buis aan de voorhavenszijde.

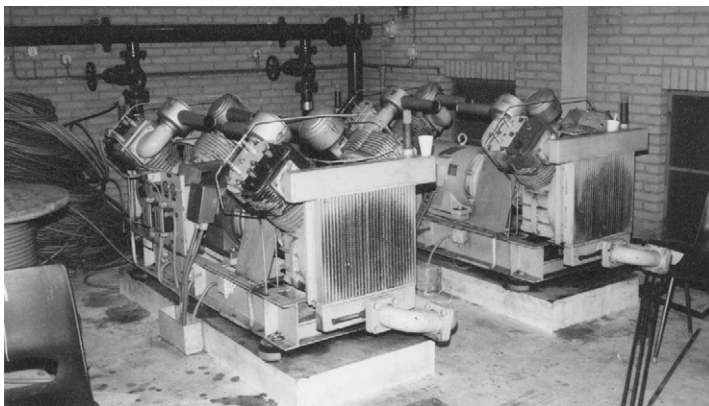


Foto 21.6 Compressors voor luchtbellenschermen, Duwvaartsluizen Volkerak

Afhankelijk van de gewenste effectiviteit van het luchtbellenscherm als zoutbestrijder, wordt een factor Q' gekozen die het luchtdebiet bepaalt als functie van de waterdiepte en het dichtheidsverschil. Bij een lengte van het scherm gelijk aan de kolkbreedte b_k is het benodigde totale luchtdebiet Q_a met behulp van de volgende vergelijking te bepalen:

$$Q_a = (Q' \sqrt{\epsilon g (h_{bi} - z_k)})^3 \frac{b_d}{g} \quad (21.18)$$

waarin: Q_a = totale luchtdebiet bij 10^5 Pa (= 1 atmosfeer) [m³/s]
 b_d = breedte ter plaatste van deur [m]

De gaatjes in de geperforeerde buis moeten klein zijn (bijvoorbeeld 2 mm) en gelijkmatig over de lengte van de buis zijn aangebracht. Het totale oppervlak van de gaatjes is hooguit de helft van het dwarsoppervlak van de buis voor een gelijkmatige uitstroming over de lengte. De benodigde druk achter de compressor is een sommatie van de drukverliezen in de toevoerleiding (wrijving, bochten, afsluiters, verwijdingen en dergelijke), het drukverlies ten gevolge van de uitstroming van de geperforeerde leiding en

de waterdruk op de bodem van de kolk. In Lit. [21.3] en [21.10] en WL-verslag Q1490 wordt dit aan de hand van voorbeelden uitgebreid behandeld.

Luchtbellenschermen zorgen ervoor dat de steilheid van het front van de uitwisselingsstroom in de kolk en de dichtheidsverschillen in de kolk tussen de lagen onderling afnemen. Dit vermindert de langskrachten op grote schepen tijdens het passeren van de uitwisselingsstroom (zie Lit. [21.9]). Bovendien kan sneller worden afgemeerd langs de kolkwand. Kleine schepen zullen daarentegen last ondervinden van het passeren van het luchtbellenscherm omdat de stroomsnelheden aan het wateroppervlak op korte afstand tegengesteld gericht zijn (zie WL-verslag Q1784).

Luchtbellenschermen vinden veel toepassing op de scheiding van zout en zoetwater zoals in de sluizen in de Afsluitdijk (Den Oever en Kornwerderzand), de sluizen bij IJmuiden en de binnenvaartsluizen bij Terneuzen.

De sluizen in de Afsluitdijk zijn vrij lang en breed (148 x 14,50 m²), tamelijk ondiep (drempel op NAP - 4,40 m) en het dichtheidsverschil is niet zo groot. Ze lenen zich daarom goed voor luchtbellenschermen. Eind jaren '90 zijn nieuwe schermen aangebracht. Door de mengende werking van de schermen wordt het zout in de voorhavens enigszins over de verticaal verdeeld zodat het afvoeren van het zout aan de IJsselmeerszijde via de naastgelegen spuisluizen in natte tijden geen problemen oplevert. In droge zomers met veel sluisnivelleringen (recreatievaart) en weinig zoetwateraanvoer blijft het zout lang achter in het IJsselmeer.

Bij de grote sluizen in IJmuiden (Noorder- en Middensluis) zijn toentertijd luchtbellenschermen aangebracht. Het gebruik ervan is nuttig voor de zoutbestrijding. In de eerste plaats komt maar een gedeelte van de enorme hoeveelheid zout in de Noordersluis (lengte x breedte = 413 x 50 m² en drempelniveau NAP -15,00 m) en de Middensluis (245 x 25 m² en NAP -10,00 m) tijdens de uitwisseling op het kanaal terecht. In de tweede plaats wordt het zout door de mengende werking van de schermen meer over de verticaal verdeeld, wat van belang is voor het afvoeren van het zout. Dit gebeurt door het volgende: naast de sluizen ligt een spuikanaal met een bodemniveau van NAP -10,00 m waarop een spuisluis en een gemaal aangesloten zijn. Dit bodemniveau ligt dus een stuk hoger dan de bodem van de Noordersluis en van het Noordzeekanaal (NAP -16,00 m). In een sterk gelaagde situatie van het Noordzeekanaal, veroorzaakt door het niet gebruiken van de luchtbellenschermen, zal het zout onder NAP -10,00 m maar moeizaam naar zee afgevoerd kunnen worden. Heden ten dage worden de luchtbellenschermen echter wegens de hoge energiekosten niet meer gebruikt.

In Terneuzen zijn alle sluizen van luchtbellenschermen voorzien om de zoutindringing op het kanaal tegen te gaan. Dit is belangrijk omdat de zoetwateraanvoer van het kanaal vooral in droge tijden beperkt is. Daardoor functioneert het systeem Terneuzen als systeem niet goed. Er zijn drie sluizen, te weten de Oostsluis (zeer lange binnenvaartsluis), Middensluis en de Zeesluis (diep en lang). Door de hoge stand van het kanaal (boven gemiddeld hoogwater) is er alleen sprake van zoutindringing door uitwisseling en niet door nivellering. Door de mengende werking van de luchtbellenschermen zal het rendement van de (diepliggende) zoutput bij de Zeesluis afnemen omdat hier water inloopt met een lager zoutgehalte dan in geval zonder scherm. De combinatie luchtbellenscherm en zoutput zal echter een lagere zoutbelasting van het kanaal opleveren dan de zoutput alleen.

21.4.2 Zoutdrempel bij binnendeur

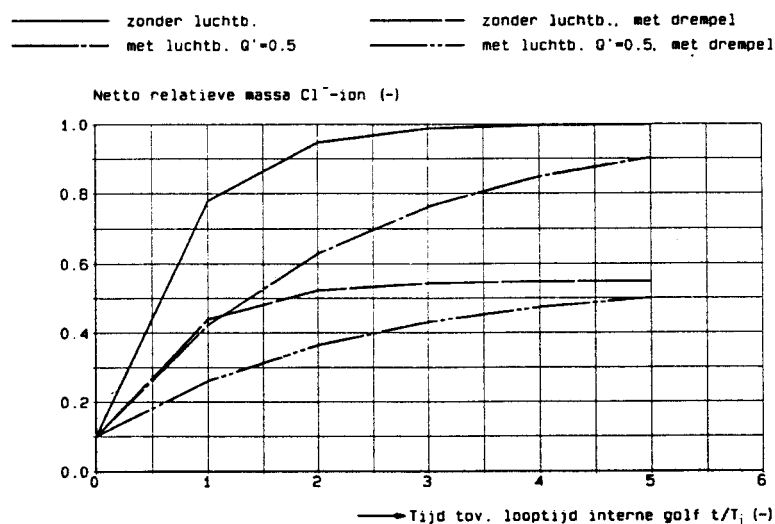
21.4.2.1 Werking van het systeem

Bij een drempel voor de binnendeur wisselt het zoute water in de kolk boven de kruin van de drempel uit met het zoete water van de binnenvoorhaven. Het zoute water in de kolk onder het niveau van de kruin blijft achter in de kolk, hoe lang de binnendeur ook open staat. Wel hebben scheepsbewegingen en schroefstralen hier invloed op.

Het uitwisselingsdebiet door de opening boven de kruin neemt ten opzichte van de situatie zonder drempel af en wel (ongeveer) evenredig met de macht $^{3/2}$ met de waterdiepte boven de kruin. Dit komt

omdat de stroomsnelheid in de opening nauwelijks verandert aangezien deze vooral bepaald wordt door het dichtheidsverschil en de waterdiepte in de kolk. De interne periode van de kolk wijzigt nagenoeg niet. De uitwisseling is daarom te behandelen alsof de kolkbodem zich op de kruinhoogte bevindt. Alleen de uitwisselingsnelheid hoort bij de volledige waterdiepte in de kolk.

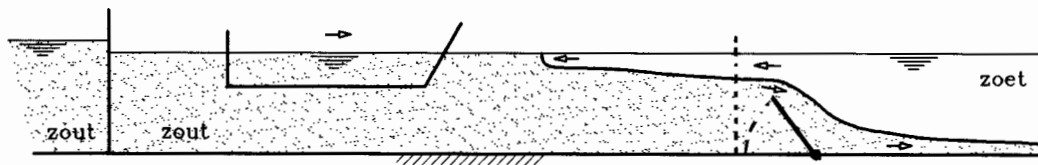
Wanneer een luchtbellenscherm wordt aangebracht op de kruin van de drempel zal, net zoals bij een situatie waarbij het luchtbellenscherm zich op de kolkbodem bevindt, het uitwisselingsdebiet afnemen en het uitwisselingsproces vertraagd worden. Door de hoge plaatsing wordt de werking van het scherm versterkt. Als de binnendeur zo kort mogelijk openstaat, neemt de zoutbelasting van de binnenvoorhaven verder af. Als bovendien bij de deur aan de buitenzijde een luchtbellenscherm gebruikt wordt, terwijl deze deur steeds snel gesloten wordt, zal de zoutbelasting van de binnenvoorhaven nog verder afnemen.



Figuur 21.14 Relatieve massa Cl^- -ion op de binnenvoorhaven bij een zoutdrempel

In Fig. 21.14 is het resultaat weergegeven van de uitwisseling van een kolk met de binnenvoorhaven met een aandeel van het ledigingsvolume van 10% in het totale, initiële volume zoutwater in de kolk. Voor de situatie met drempel is de kruinhoogte halverwege de waterdiepte. In de figuur staat (dimensieloos) de zoutbelasting van de voorhaven uitgezet tegen de tijd en wel voor vier situaties zonder en met luchtbellenscherm, alsmede met en zonder drempel. Geen luchtbellenscherm en geen drempel geeft de grootste zoutbelasting van de binnenvoorhaven, luchtbellenscherm en drempel de kleinste zoutbelasting.

21.4.2.2 Toepassing



Figuur 21.15: Verstelbare zoutdrempel

Voor het zo effectief mogelijk functioneren van een drempel moet deze zo dicht mogelijk geplaatst worden bij de scheiding van zout- en zoetwater, dus bij de beplating van de binnendeur. De kruinhoogte zal bij voorkeur instelbaar zijn zodat een kielspeling van (bijvoorbeeld) 1 m ontstaat.

De beste uitvoering van een zoutdrempel is die waarbij deze in een verticale sleuf in de bodem wegzakt en in hoogte verstelbaar is: een soort zakdeur. De drempel kan ook als een klep uitgevoerd worden die

draaibaar is om horizontale scharnieren op de bodem waarmee een groot deel van de waterdiepte bestreken kan worden. Om tijdens het bewegen van de klep niet te veel hinderlijke stroming in de kolk te genereren kan de klep beter aan de voorhavenszijde van de binnendeur worden aangebracht. Het scharnier van de klep ligt aan de voorhavenszijde, om het zoute water minder gemakkelijk over de klep te laten stromen.

Daarnaast is het denkbaar de binnendeur zelf uit te voeren als een klep met horizontale scharnieren aan de bodem. De stand van de deur hangt af van de diepgang van het passerende schip. In de wanden worden sponningen aangebracht waarbij de klep in de verticale stand zijn vervalkrachten direct kan overdragen naar de wanden (of via stempels bij omgekeerd verval) en goed afdicht.

Drukverschillen in het water aan weerszijden van de drempel als gevolg van de dichtheidsverschillen en de langsvarende schepen, zullen op de drempel een horizontale belasting uitoefenen die deze moet kunnen opnemen. Meting van de diepgang van de passerende schepen op enige afstand voor de drempel moet voorkómen dat de drempel geraakt wordt. Door het aanbrengen van breekbouten bij onverhoopt aanvaren van de drempel kan de schade aan schip en drempel beperkt blijven; de werking van breekbouten is echter onbetrouwbaar.

Dat het systeem (nog) niet uitgevoerd is, komt omdat men huiverig is voor een beweegbare drempel onder water in een scheepvaartroute en ook van werktuigbouwkundige zijde zijn er twijfels.

21.4.3 Verwijderen zoute schuttschijf

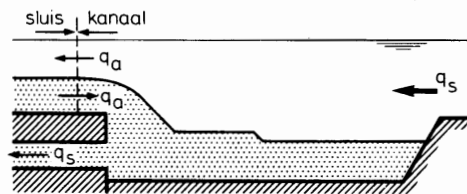
Bij het ledigen van de kolk om gelijkwater te maken met de binnenvoorhaven, wordt het zoute water afgevoerd naar een bekken of reservoir waarna dit - over langere tijd gespreid - naar de buitenvoorhaven wordt teruggesompt of tijdens eb teruggespuid. Het zoute water kan ook direct teruggesompt worden naar de buitenvoorhaven met behulp van pompen met grote capaciteit, waarbij de leidingen om of onder de buitendeur heen lopen. Bij voldoende capaciteit hoeft het systeem geen extra wachttijd voor de schepen te betekenen. Om de opbrengst te vergroten kan het ledigen nog iets worden doorgezet tot onder het kanaalpeil, waarna de kolk door de binnendeur gevuld wordt, mits de in de kolk liggende schepen niet aan de grond lopen.

Bij dit systeem is het belangrijk dat het water zo diep mogelijk uit de kolk afgevoerd wordt omdat zich daar het zoutste water bevindt. Dit kan door wandopeningen waarvan de onderkant op het niveau van de kolkvloer ligt. Bij het afvoeren van het water vanuit een enkel, laaggelegen punt in de kolk moet rekening gehouden worden met de langskrachten op de schepen zoals die behoren bij een normale lediging vanuit een hoofd. Wordt het water over meer, laaggelegen punten in de kolk afgevoerd, dan is alleen de maximumdaalsnelheid van het water in de kolk voor de schepen van belang.

Het systeem is alleen rendabel wanneer het kanaalpeil meestal lager is dan de buitenwaterstand. Met dit systeem wordt slechts een deel van de zoutbelasting voorkomen, aangezien de uitwisseling niet hiermee beperkt wordt. Voor de hand ligt daarom dit systeem te combineren met andere, eenvoudige systemen die de uitwisseling juist wel beperken (bijvoorbeeld luchtbellenschermen of drempel). In een voorkomend geval is het mogelijk dat door de gezamenlijke inzet van de systemen een echt zout/zoetscheidingsysteem juist overbodig wordt. Tot nu toe is het systeem nog niet uitgevoerd.

21.4.4 Terugspoelen zoutwater uit diepe put in voorhaven

21.4.4.1 Werking van het systeem



Figuur 21.16 Continu terugspoelen uit diepe put

Het zoute water afkomstig van de uitwisseling van de kolk heeft bij het instromen in de binnenvoorhaven nog vrijwel zijn oorspronkelijke dichtheid, doordat de uitwisselingsstroom bij de geopende deur met lage stroomsnelheden gepaard gaat zonder veel menging. Door de toegenomen breedte in de voorhaven neemt de laagdikte sterk af en verspreidt zich als een soort olievlek, maar dan over de bodem van de binnenvoorhaven. Het zoute water van het ledigen van de kolk dat in de binnenvoorhaven terecht komt is door de hoge stroomsnelheden van de ledigingsstralen veel meer gemengd over de verticaal, maar is qua totale hoeveelheid zout veel minder dan van het uitwisselen.

Het naar een diepe put leiden van het water en vervolgens terugvoeren naar de buitenvoorhaven, is dus vooral bedoeld voor het uitwisselingsvolume. Het systeem functioneert het beste wanneer het zoute water met zo groot mogelijke dichtheid, dus zo ongemengd mogelijk, in de zoute put terecht komt. De hoeveelheid water om dit zout terug te brengen naar de buitenvoorhaven, is dan zo klein mogelijk. De hoeveelheid toe te voeren zoetwater om het kanaal op peil te houden is eveneens zo klein mogelijk. Op zich ontstaat er altijd menging als het water in een put stroomt; een "blokvormige" zoutverticaal wordt min of meer driehoekig, dus alleen bij de bodem heeft het zoutgehalte nog zijn oude waarde.

Een luchtbellenscherm bij de geopende binnendeur geeft tijdens de uitwisseling veel menging en vermindert daardoor een deel van het effect van de zoutput. Daarmee is echter niet gezegd dat het gezamenlijke effect van luchtbellenscherm en zoutput minder is dan van de zoutput alleen. Ook schepen boven het grensvlak veroorzaken menging, waardoor het water in de zoutput relatief gezien minder zout bevat dan dat in de buitenvoorhaven.

Om water in de zoutput te verkrijgen met zo groot mogelijk dichtheid, moet de uitwisselingsstroom uit de kolk over korte afstand, zonder dat de breedte van de zoutlaag veel toeneemt, naar de zoutput geleid worden. Dit kan gerealiseerd worden door de zoutput direct aan te sluiten op het binnenhoofd van de sluis of, aansluitend op de kolk in de voorhaven, een soort naar beneden hellend kanaal van beperkte breedte naar de zoutput te maken. Het verdient aanbeveling de zoutput buiten de vaarroute te leggen.

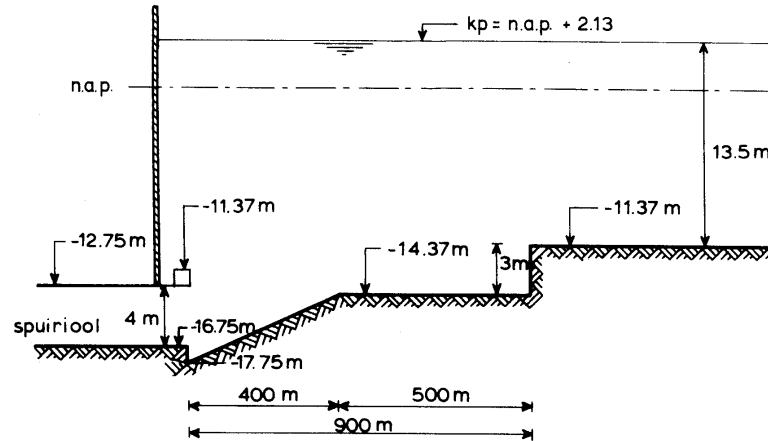
Het water dat in de zoutput terecht komt, moet zo diep mogelijk en met lage stroomsnelheid weggezogen worden. Dit voorkomt dat veel zoetwater uit de bovenlaag meegezogen wordt. Een horizontale, spleetvormige zuigmond waarvan de bovenkant ver onder het grensvlak in de put ligt, is het meest aangewezen. Bij het zogenaamd selectief afzuigen wordt een verticaal "zoutscher" met een spleetvormige opening aan de onderzijde toegepast (Fig. 21.18).

De plaats waar het zoute water uit de zoutput weggezogen wordt, hangt mede samen met de scheepvaart. Wanneer de zuigmond nabij het binnenhoofd van de sluis wordt geplaatst, kan dit hinder opleveren voor passerende schepen. Het is beter om de zuigmond op enige afstand van de scheepvaartroute te leggen.

De afmetingen van de zoutput moeten op een aantal zaken worden afgestemd. Aan de ene kant betreft dit het uitwisselingsvolume zoutwater dat per schutcyclus in de zoutput komt, de mate van menging tijdens het stromen naar de zoutput, het aantal schutcycli per dag en het eventueel aansluiten van nog

meer sluizen op de zoutput. Aan de andere kant staat de capaciteit van de afzuiginstallatie en of deze continu dan wel alleen tijdens eb of zonder scheepvaartverkeer gebruikt kan worden. Voorkomen moet worden dat de zoutput overloopt en het zoute water het kanaal in gaat lopen; dat gedeelte van het zout is moeilijk weg te krijgen.

21.4.4.2 Toepassing



Figuur 21.17 Langsdoorsnede zoutvangput Terneuzen

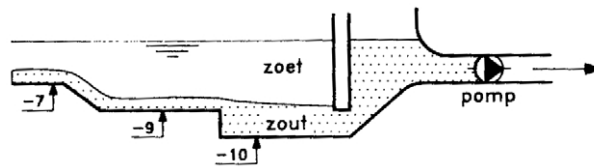


Foto 21.7 Laaggelegen zuigmond bij binnenhoofd, Zeesluis Terneuzen

Bij de zeesluis Terneuzen sluit de zoutput direct aan op het binnenhoofd van de sluis en is een onderdeel van de vaarweg. Het voordeel van de directe aansluiting is dat de weg voor het zoute water zeer kort is zodat de menging bij de instroming van de put beperkt blijft. Het nadeel is dat overvarende schepen voor menging in de zoutput zorgen. De sluisdrempel bij het binnenhoofd ligt op NAP $-12,75$ m, het diepste punt van de zoutput ligt op NAP $-17,75$ m.

De plaats van de zuigmond is onder het binnenhoofd; dit is dus direct bij de zoutbron en bevindt zich tussen NAP $-12,75$ m en $-16,75$ m. In principe kan vrijwel continu onder vrij verval gespuid worden omdat de kanaalwaterstand boven hoogwater ligt. Dit gebeurt echter met een beperkt debiet, enerzijds om het scheepvaartverkeer niet te hinderen (de zuigmond bevindt zich juist onder de sluisingang) en anderzijds omdat er vaak een tekort aan zoetwater in het kanaal is.

De zoutvangput bij Terneuzen heeft een inhoud van tweemaal het kolkvolume van de zeesluis. Bij deze grootte heeft meegespeeld dat een deel van het uitwisselingsvolume van de kolk direct kan worden afgezogen (zie volgende paragraaf) en dat een deel van het uitwisselingsvolume van de binnenvaartsluizen opgevangen kan worden, al is de afstand erg groot.

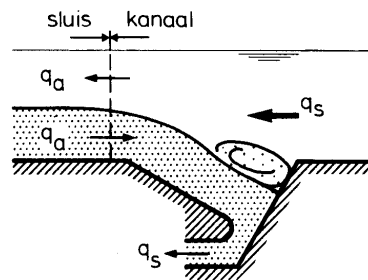


Figuur 21.18 Langsdoorsnede zoutvangput Den Helder met zoutscherm

Bij Den Helder is een zoutput gerealiseerd naast de grootste zoutbron, de Koopvaardersschutsluis. Het zoute water uit de sluis stroomt volgens een soort naar beneden hellend zijkanaal naar de zoutput die buiten de scheepvaartroute ligt. Het bodemniveau van de Koopvaardersschutsluis is NAP -7,00 m, het diepste punt van de zoutput is NAP -10,00 m. De afzuiging vindt plaats onder een verticaal zoutscherm naar een gemaal dat in principe continu het water kan uitslaan. Na verloop van tijd is de put deels dichtgeslibd. Omdat er echter vrij veel water geloosd wordt, blijft het kanalenstelsel vrij van zout.

21.4.5 Afzuigen zouttong bij binnendeur

21.4.5.1 Werking van het systeem



Figuur 21.19a Direct afzuigen zouttong

Tijdens de uitwisseling van het water van de kolk met dat van de voorhaven zijn de stroomsnelheden in de zoute onderlaag en de zoete bovenlaag niet echt groot (ongeveer 0,5 tot 1 m/s). De uitwisselingsdebieten zijn echter wel groot omdat het stroomvoerend oppervlak ongeveer de helft van het dwarsprofiel bij de geopende deur beslaat. Het uitwisselingsdebiet komt snel op gang (afhankelijk van de deursnelheid, van 0 tot maximaal bij open deur), is vervolgens gedurende lange tijd constant en neemt dan weer vrij snel af.

Bij het systeem van direct afzuigen van de zouttong wordt het zoute water uit de sluis, dat tijdens het uitwisselen richting binnenvoorhaven stroomt, direct bij de slusingang teruggespuid via een laaggelegen zuigmond naar de buitenvoorhaven. Van belang is dat deel van de zuigmond waar de snelheden groter zijn, zich zo ver mogelijk onder het grensvlak van het zoute en het zoete water bevindt, om te voorkomen dat veel zoetwater meegevoerd wordt.

Tussen de sluiswanden nabij de geopende binnendeur ligt het grensvlak nog halverwege de waterdiepte, zodat het op die plaats gunstig is het zoute water af te voeren via bijvoorbeeld openingen in de bodem of wandopeningen bij de sluisbodem. Door het afvoeren van het zoute water daalt het grensvlak in de richting van de binnenvoorhaven, waardoor het grensvlak nog voor het einde van de sluis dichtbij de bodem ligt. Het hier afvoeren van water gaat gepaard met het meevoeren van veel zoetwater uit de bovenlaag.

Wordt de zuigmond net buiten de sluiswanden aangebracht, dan moet de zuigmond óf dieper liggen (beneden de kolkvloer) óf breder zijn omdat hier het grensvlak sterk naar beneden gaat door de toeneemende breedte. Wordt een te smalle zuigmond net buiten de sluis beneden de sluisvloer aangebracht,

dan ontstaat een naar beneden gerichte stroming van het zoute water, wat veel menging met het zoete water veroorzaakt, waardoor veel zoetwater meegevoerd wordt.

Geconcludeerd kan worden dat, gezien de menging van het zoute met het zoete water, het met dit systeem niet mogelijk is het gehele uitwisselingsdebiet, maar slechts een deel ervan af te zuigen tenzij het verbruik van extra zoetwater geen probleem oplevert. Bovendien is het moeilijk door de snelle op- en afbouw van het uitwisselingsdebiet precies parallel hieraan het zoute water af te zuigen.

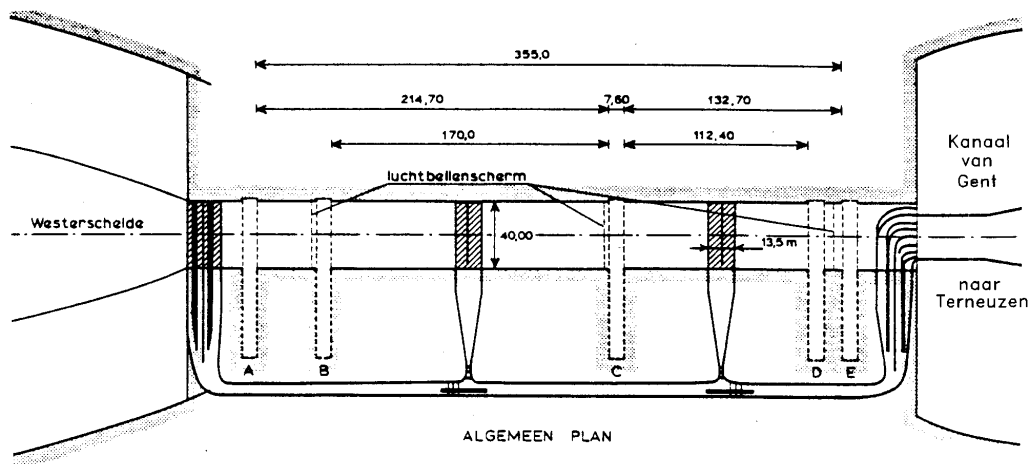
Voor de scheepvaart die de sluis in- en uitvaart, vormt het een probleem wanneer vrij plotseling grote debieten afgevoerd worden.

21.4.5.2 Toepassing

Het systeem is tot nu toe alleen voor de Zeesluis Terneuzen toegepast in combinatie met het systeem van terugspoelen van zoutwater uit een diepe put in de voorhaven (par. 21.4.4). Aan de kanaalzijde bij de sluismond direct onder de sluisbodem is een zuigmond aangebracht (Fig. 21.17). Om het volledige uitwisselingsdebiet ($170 \text{ m}^3/\text{s}$) met al het zout hierin af te voeren is het vanwege menging nodig een bijna dubbel zo groot debiet af te voeren. In de praktijk wordt vanwege de menging en vanwege de scheepvaart hooguit 20% van het uitwisselingsdebiet ($35 \text{ m}^3/\text{s}$) geloosd.

21.4.6 Combinatie afzuigen zouttong bij binnendeur en terugspoelen zoutwater uit diepe put (Systeem Terneuzen)

De combinatie van de systemen direct afzuigen zouttong (par. 21.4.5) en terugspoelen zoutwater uit een diepe put in voorhaven wordt wel het systeem Terneuzen genoemd (WL-verslag M667) naar de Zeesluis (of Westsluis) Terneuzen waar dit toegepast is.



Figuur 21.19b Algemeen plan van Zeesluis Terneuzen

In Fig. 21.36 is een overzicht gegeven van de schutfasen van de Zeesluis Terneuzen bij gebruik van dit systeem. In fase 1 wordt, alvorens de buitendeur wordt geopend, de kolk (met zoetwater) geledigd. In fase 2 wordt de buitendeur geopend en wisselt het zoete water in de kolk uit voor zoutwater van de buitenvoorhaven. Tijdens fase 3 wordt de kolk (met zoutwater) gevuld met zoetwater uit het kanaal. Bij fase 4 wordt de binnendeur geopend en stroomt het zoute water van de kolk deels naar de zoutput en wordt deels direct afgezogen naar de buitenvoorhaven. Nadat de kolk uitgewisseld is (waardoor deze dan zoetwater bevat) wordt de zoutput met zoutwater met een beperkt debiet teruggespoeld naar de buitenvoorhaven.

Naderhand zijn in de Zeesluis luchtbellenschermen geplaatst die voorkomen dat de kolk volledig uitwisselt met de voorhavens.



Foto 21.8 Zeesluis Terneuzen op voorgrond, rechtsonder binnenhoofd met aansluitend kanaaldeel met zoutput, bij buitenhoofd werkend luchtbellenscherm

21.5 Zout/zoetscheidingssystemen met gesloten deuren tijdens nivelleren en uitwisselen

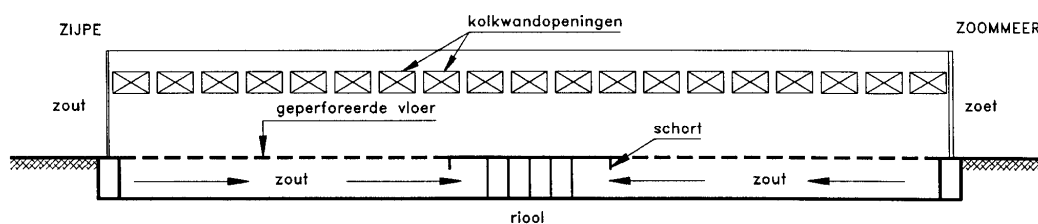
21.5.1 Nivelleren en uitwisselen overdwars, systeem Duinkerken

In deze paragraaf wordt het systeem Duinkerken beschreven in de uitvoering zoals die geldt voor de duwvaartsluizen van de Krammersluizen. In de verdere tekst van deze paragraaf wordt dit steeds als het systeem aangeduid. Varianten op het systeem worden in par. 21.5.1.7 gegeven. Met buitenwater wordt steeds de zoute zijde bedoeld en met binnenwater de zoete zijde. Er bestaat literatuur over het systeem (Lit. [21.10]).

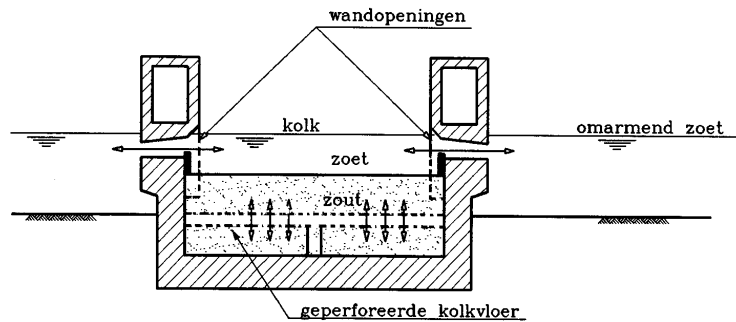
21.5.1.1 Fasen van uitwisselen en nivelleren



Foto 21.9 Overzicht Krammersluizencomplex met 2 duwvaart- en 2 jachtensluizen



Figuur 21.20a Langdoorsnede Krammer duwvaartsluizen



Figuur 21.20b Dwarsdoorsnede Krammer duwvaartsluizen

Bij dit systeem wordt het zoute water in de kolk aan- of afgevoerd via een geperforeerde kolkvloer en het zoete water wordt aan- of afgevoerd via hooggelegen openingen in de wanden.

Alvorens de schepen de binnendeur kunnen passeren (vaarrichting naar binnenpand) wordt de kolk met zoutwater eerst kunstmatig genivelleerd (namelijk met zoutwater) en daarna uitgewisseld voor zoetwater. Eerst vindt dus het nivelleren plaats door zoutwater, via de geperforeerde kolkvloer aan of af te voeren, naar gelang de kolk gevuld of geleegd moet worden. Daarna wordt de kolk uitgewisseld waarbij tegelijkertijd zoutwater uit de kolk wordt afgevoerd via de geperforeerde kolkvloer en zoetwater de kolk wordt ingebracht via de hooggelegen wandopeningen. Het grensvlak tussen zout en zoetwater daalt daarbij ("neerwaarts uitwisselen") en wordt tot onder de geperforeerde kolkvloer gebracht om te voorkomen dat zoutwater na openen van de binnendeur de binnenvoorhaven in loopt. Zie de fasen 1, 2, 3 en 4 van Fig. 21.37.

Voordat de schepen de buitendeur kunnen passeren (vaarrichting naar buitenpand) wordt de kolk met zoetwater eerst uitgewisseld voor zoutwater en daarna genivelleerd met zoutwater. Eerst wordt dus de kolk uitgewisseld door tegelijkertijd zoetwater in de kolk af te voeren via de hooggelegen wandopeningen, en zoutwater de kolk in te brengen via de geperforeerde kolkvloer ("opwaarts uitwisselen"). Het grensvlak tussen zout en zoetwater stijgt daarbij tot aan de onderkant van de schepen en niet verder om te voorkomen dat zout via de hooggelegen openingen wordt afgevoerd. (NB. Als er toch genoeg zoetwater is wordt de fase "opwaarts uitwisselen" overgeslagen hetgeen voor schutten tijdswinst oplevert). Vervolgens wordt genivelleerd door zoutwater via de geperforeerde kolkvloer af of aan te voeren naar gelang de kolk geleegd of gevuld moet worden. Zie de fasen 4, 5, 6 en 7 van Fig. 21.37.

De benodigde tijd voor het nivelleer- en uitwisselingsproces van het systeem is meer dan de nivelleertijd van een conventionele sluis met openingen in de deuren. Hoewel het nivelleren bij het systeem iets minder tijd kost doordat gevuld wordt via de geperforeerde kolkvloer, veroorzaakt de tijd voor het uitwisselen extra oponthoud. Deze extra tijd voor het uitwisselen wordt vooral bepaald door eisen ten aanzien van de zo weinig mogelijke menging van het zoute en het zoete water bij de wandopeningen en vanwege de maximum dwarskrachten op de schepen.

21.5.1.2 Grensvlak en menging

De effectiviteit van het systeem loopt terug als het grensvlak niet horizontaal gehouden wordt en als er veel menging optreedt. Wanneer het grensvlak niet horizontaal gehouden kan worden, kunnen de debieten met zout en zoetwater niet goed gestuurd worden. Als teveel menging optreedt vervaagt het grensvlak waardoor zout op het zoete pand terecht komt. De hier verder genoemde zaken gaan de grensvlakverstoringen en de menging tegen.

De perforaties van de kolkvloer en de hooggelegen wandopeningen zijn gelijkmatig over de lengte van de kolk verdeeld. Het water stroomt daarbij in een verticaal dwarsoppervlak van de sluis en niet in langsricting van de sluis. Het grensvlak tussen het zoute en zoete water wordt daarmee in langsricting van de sluis zo horizontaal mogelijk gehouden.

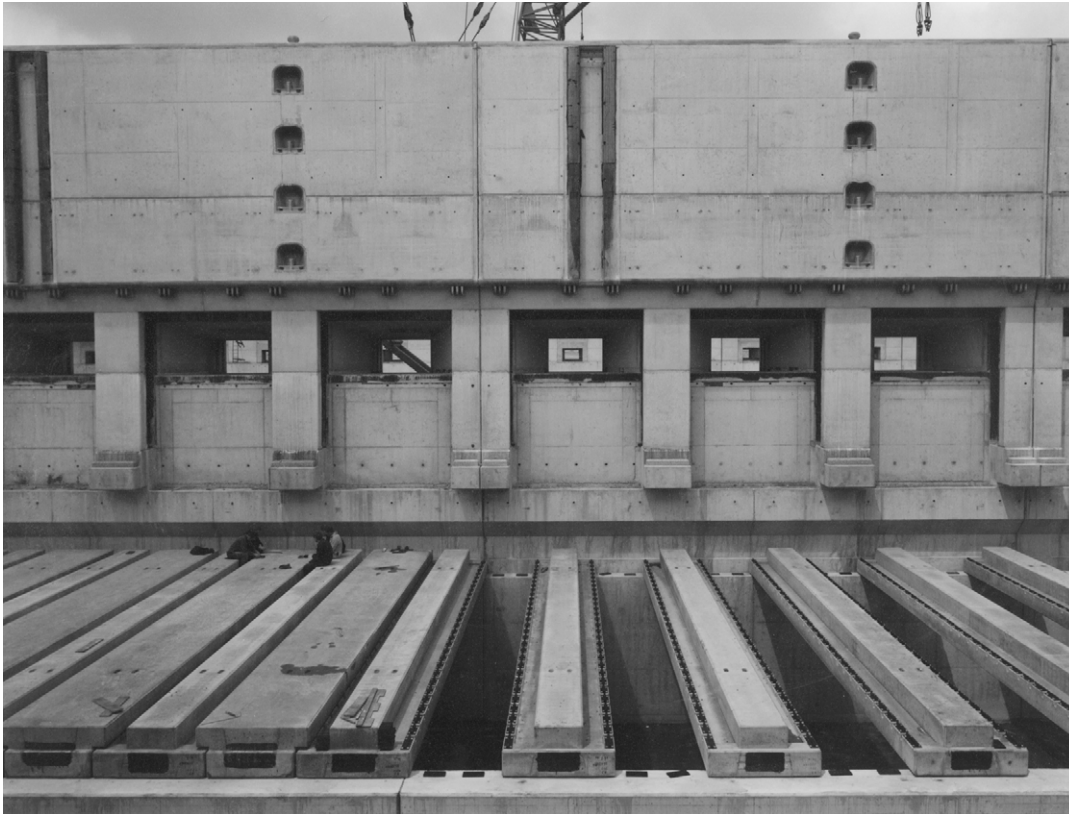
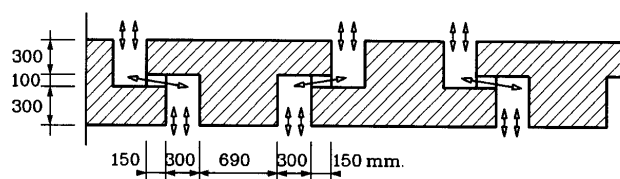


Foto 21.10 Aanzicht wandopeningen en geperforeerde vloer tijdens de bouw (wandschuiven, remmingwerken en enige vloerbalken ontbreken nog), Krammer duwvaartsluizen

Ook in dwarsrichting van de sluis wordt het grensvlak zo horizontaal mogelijk gehouden. Dit gebeurt door aan beide wanden het zoete water toe of af te voeren via hooggelegen wandopeningen en het zoute water af of toe te voeren over de gehele sluisbreedte ter hoogte van de kolkvloer. Gemeend liggende schepen zullen dit horizontale grensvlak deels verstoren wanneer het grensvlak de schepen passeert; dit is het geval bij het begin van het neerwaarts uitwisselen (zie par. 21.5.1.5, dwarskrachten op de schepen).



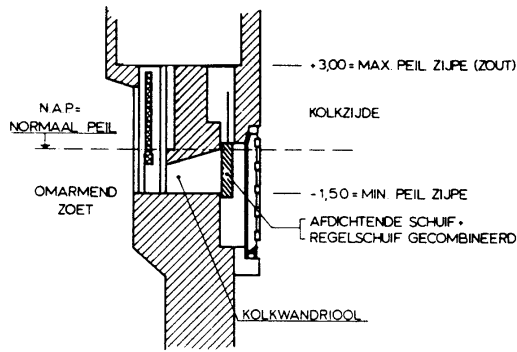
Figuur 21.21 Geperforeerde vloer

Het zoute water wordt verticaal aan- of afgevoerd via de geperforeerde kolkvloer. Deze geperforeerde vloer heeft een drietal functies.

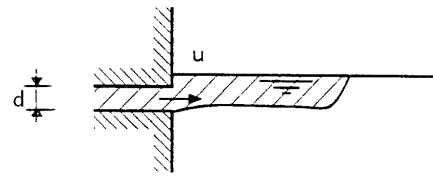
Ten eerste zijn in de vloer een groot aantal, kleine gaatjes aangebracht (gatpercentage ruim 1%) waarmee - zoals gezegd - een gelijkmatige verticale in- en uitstroming over het horizontale kolkoppervlak verkregen wordt.

Ten tweede monden de gaatjes in de kolk uit in een sleuf die dienst doet als woelkamer zodat het zoute water met een lage snelheid de kolk in- of uitstroomt, wat de menging tegengaat. Het passeren van de geperforeerde vloer door het grensvlak geeft zodoende weinig verstoringen op het grensvlak.

Ten derde zorgt de geperforeerde kolkvloer ervoor dat bij een openstaande binnendeur de in- en uitvarende schepen het grensvlak dat zich dan onder de vloer bevindt, niet verstoren.



Figuur 21.22
Verticale doorsnede wandopeningen



Minimale menging:

$$F_i = \frac{u}{\sqrt{\epsilon g d}} = 1$$

(ϵ is relatief dichtheidsverschil)

Figuur 21.23
Minimale menging bij instroming

Het zoete water wordt horizontaal en dwars op de sluisas ingebracht of afgevoerd via wandopeningen. De wandopeningen liggen zo hoog mogelijk (net onder de waterspiegel) en zijn van beperkte hoogte om zo goed mogelijk water van zo laag mogelijke dichtheid (zoet dus) uit de kolk af te voeren en hierbij geen zoutwater uit de onderlaag mee te trekken. Bij de instroming van zoetwater in de kolk via de wandopeningen wordt voor zo weinig mogelijk menging gezorgd door de speciale vormgeving van de openingen en door de sturing van het zoetwaterdebiet. Dit debiet wordt zo gestuurd dat de stroomsnelheid laag is terwijl toch geen onderstroom zoutwater de openingen ingaat (F_i = intern Froudegetal = 1). Het zoete water vormt een interne zoetgolf die zich in dwarsrichting van de sluis voortplant en in het midden reflecteert tegen de andere interne zoetgolf; zodoende wordt laagsgewijs een zoetlaag opgebouwd.

De toe- of afvoer van de wandopeningen wordt geregeld via de wandschuiven die op een gewenst niveau gebracht kunnen worden (afhankelijk van de waterstand en de fase van uitwisseling) en tevens kunnen afdichten (zogenoemde afdichtende regelschuiven).

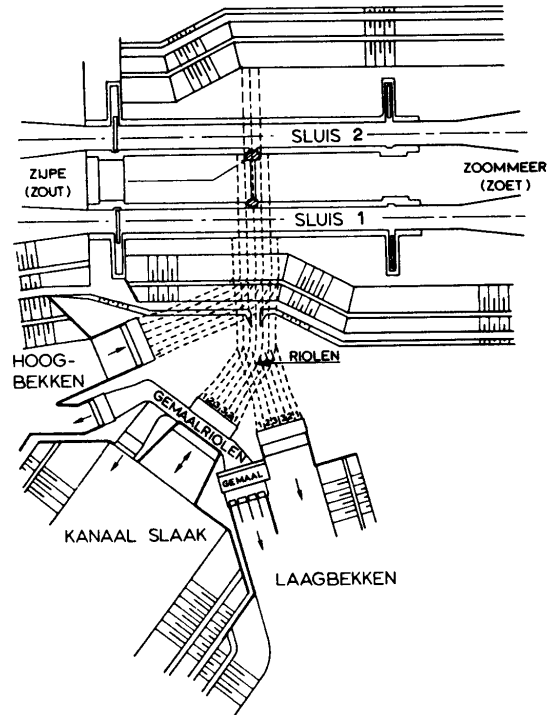


Foto 21.11 Drooggezette kolk tijdens het verwijderen van mosselaangroei, Krammer duwvaartsluizen

Tijdens het nivelleren en uitwisselen is het de schepen niet toegestaan de schroef te gebruiken om menging en verstoring van het grensvlak te voorkomen.

De roldeuren worden aangedrukt in de richting van de kolk, de een door, en de ander tegen het niveauverschil. Daarmee wordt voorkomen dat het water in de deurkassen mede uitgewisseld zou moeten worden. Het uitwisselen zou door de vormgeving van de deur en kas slecht verlopen.

21.5.1.3 Aan- en afvoer van het water in de sluis



Figuur 21.24 Plattegrond Krammerduwvaartsluizen



Foto 21.12 Riolensysteem in aanbouw,
Krammer duwvaartsluizen



Foto 21.13 Bekkens en omarmend zoet water,
Krammer duwvaartsluizen

De wandopeningen staan via korte dwarsriolen in verbinding met het zoete water dat de sluis omarmt wat op zijn beurt weer aansluit op de binnenvoorhaven.

Onder de geperforeerde kolkvloer bevindt zich de echte sluisbodem. De ruimte tussen geperforeerde kolkvloer en sluisbodem staat halverwege de sluis in verbinding met zoutwaterriolen. Via deze riolen wordt het benodigde zoute water aangevoerd vanuit een hoog bufferbekken en het overtollige zoute

water wordt afgevoerd naar een laag bufferbekken. Met schuiven in de riolen wordt deze zoutwatertoe- of -afvoer geregeld. De bufferbekkens worden op peil gehouden met gemalen die in verbinding staan met de buitenvoorhaven.

Kenmerkend voor het systeem is dat het aan- en afvoeren van het zoute water actief geregeld wordt. Het zoetwaterdebiet volgt passief, dat wil zeggen dat er over de zoetwateropeningen een natuurlijk verval staat dat nodig is om bij het ingestelde debiet de hydraulische weerstand van de openingen te overwinnen.

21.5.1.4 Zoetwaterverlies

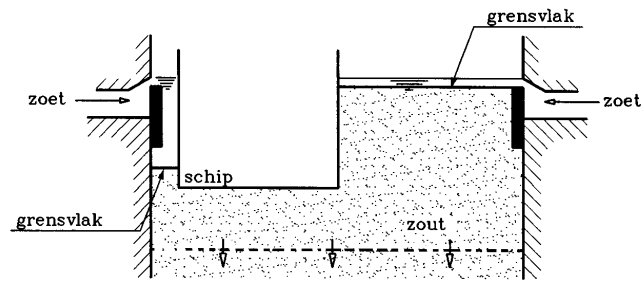
Voordat de buitendeur wordt geopend, wordt (indien opwaarts uitwisselen wordt toegepast) tijdens dit uitwisselen het grensvlak tot aan de onderkant van de schepen opgetrokken (dus niet tot aan het wateroppervlak). Daarna wordt met het uitwisselen gestopt. Zodoende wordt voorkomen dat zoutwater via de wandopeningen waarvoor schepen liggen, snel wordt afgevoerd naar het omarmende zoete water. Het zoete water dat zich dan nog in de kolk bevindt stroomt, na het openen van de buitendeur af naar de buitenvoorhaven (zie Fig. 21.37, fase 7). Hiermee wordt een bepaald zoetwaterverlies geaccepteerd om te voorkomen dat zoutwater op het zoete pand terecht komt. Het zoetwaterverlies kan, afhankelijk of opwaarts uitwisselen wordt toegepast, variëren tussen 30 en 80% van het kolkvolume.

21.5.1.5 Dwarskrachten op de schepen



Foto 21.14 Schepen in de kolk tijdens het uitwisselen, Krammer duwvaartsluizen

Om te voorkomen dat de (hooggelegen) wandopeningen geblokkeerd worden door afgemeerde schepen, worden de schepen door middel van een open remmingwerk op een bepaalde, minimum afstand van de wand (minimumwandspeling) gehouden. Ondanks deze wandspeling zal een aan de wand afgemeerd schip in de sluis leiden tot een asymmetrische blokkering van het dwarsprofiel (fig. 21.25). De zoetwaterdebieten door de wandopeningen zijn aan beide sluiswanden gelijk. De asymmetrische opstelling en de gelijke debieten aan weerszijden leiden tot een ongelijk niveau van het grensvlak in dwarsrichting van de sluis, vooral wanneer het grensvlak tussen zout en zoetwater zich op het niveau van het schip bevindt.



Figuur 21.25 Grensvlakken aan weerszijden van een schip

Het grensvlak op het niveau van het schip doet zich vooral voor aan het begin van het neerwaarts uitwisselen waarbij zoetwater via de wandopeningen de kolk instroomt terwijl zoutwater via de kolkvloer afgevoerd wordt. In deze situatie daalt het grensvlak aan de zijde waar het schip vastligt, veel lager dan aan de andere zijde. Omdat de kracht op het schip gericht is naar de zoutste verticaal wordt het schip van de sluiswand af gedrukt. Bovendien treedt extra menging op als zoetwater zich vanaf de sluiswand waar het schip ligt, onder het schip door verplaatst naar de andere kant. Het gevolg is dat het uitwisselingsdebiet bij het begin van neerwaarts uitwisselen beperkt moet blijven.

Een omgekeerde situatie treedt op wanneer het opwaarts uitwisselen te lang doorgezet wordt. Het zoute water bereikt dan de wandopeningen waar het schip voor ligt zodat zoutwater afgevoerd wordt door de wandopeningen. Het schip wordt nu naar de wand gedrukt. Zoals reeds vermeld, wordt daarom het opwaarts uitwisselen gestopt wanneer het grensvlak de bodem van de schepen bereikt, zodat het probleem van de dwarskrachten zich hier nauwelijks voordoet.

Doordat er zich nauwelijks langsstromingen in de sluis voordoen, zijn de langskrachten op de schepen bij dit systeem gering.

21.5.1.6 Resultierend

Het hier beschreven systeem is hydraulisch gezien zeer goed en levert daarom een zeer grote reductie op van de zoutbelasting op het zoete pand (90 tot 98%). Het systeem leidt tot een zoetwaterverlies van 30 tot 80% van het kolkvolume, wat meestal acceptabel is. Nadelen van het systeem zijn de hoge bouwen en exploitatiekosten, de extra tijd voor de schutcyclus, de dwarskrachten op de schepen, het verpompen van veel water en de gecompliceerde besturing.

21.5.1.7 Toepassingen

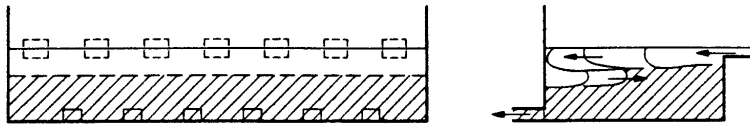
Het systeem is op een aantal plaatsen toegepast maar verschilt daarbij op een aantal essentiële details van de hiervoor genoemde uitwerking van de Krammerduwvaartsluizen.

De eerste toepassing van het systeem was de Zeesluis bij Duinkerken (het systeem is oorspronkelijk door de Fransen ontwikkeld). Het zoute water uit de sluis wordt met zoutwaterriolen die aangesloten zijn op pompen (met regelbaar debiet) teruggevoerd naar de buitenvoorhaven in plaats van dat bufferbekkens toegepast zijn. Hiervoor is gekozen omdat de sluis vrij klein is. Er zijn twee hooggelegen zoetwaterriolen parallel aan de kolk aangebracht, elk afgesloten door een rioolschuif en verbonden met de wandopeningen. Dit komt in de plaats van omarmend zoetwater met wandopeningen afgesloten door evenzo veel wandschuiven. De Duinkerkenoplossing is goedkoper maar levert een minder goede debietverdeling van het zoete water over de lengte van de kolk op. Doordat langer opwaarts uitgewisseld wordt is het zoutbezwaar iets groter maar het zoetwaterverlies minder.

Bij de Kreekraksluizen in de Schelde-Rijnverbinding zijn twee duwvaartsluizen eveneens uitgevoerd met het systeem. De wandschuiven voor de hooggelegen openingen zijn uitgevoerd door middel van een open/dichtschuif en een niveauschuif achter elkaar. Bij een zoute kolk kan dit leiden tot zoutwater tussen deze schuiven in. Dit zoute water komt op omarmend zoetwater terecht en geeft dus een zoutlast (2%). Het open water tussen de kolken is veel ruimer dan het gesloten riool te Duinkerken, waardoor

het debiet door de wand veel gelijkmatiger over de lengte verspreid wordt. Het zoute water dat de kolk instroomt is afkomstig van de buitenvoorhaven in plaats van een hooggelegen bekken. Door het kleine dichtheidsverschil over de sluizen is het systeem maar gedeeltelijk in functie, waarbij alleen neerwaarts uitgewisseld wordt tot een bepaald grensvlakniveau (NAP -2,20 m). Er zijn plannen het systeem geheel te verlaten en te nivelleren met schuiven in deuren.

De Philipsdam vormt de scheiding tussen het zoute Zijpe en het zoete Zoommeer. In de Philipsdam zijn de Krammersluizen aangebracht die bestaan uit twee duwvaartsluizen en twee jachtensluizen. De duwvaartsluizen zijn met het systeem uitgerust zoals in deze paragraaf beschreven is en voldoen in de praktijk goed.



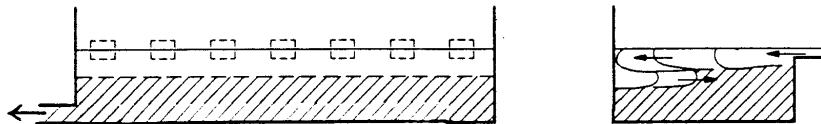
Figuur 21.26 Vereenvoudigd systeem Duinkerken

Een vereenvoudiging van het systeem is als de hooggelegen wandopeningen voor het zoete water aan één zijde worden aangebracht en de geperforeerde sluisvloer vervangen wordt door laaggelegen wandopeningen aan de andere kolkzijde voor aan- en afvoer van het zoute water. Dit gaat echter ten koste van de reductie van de zoutbelasting. Deze variant is (nog) niet toegepast.

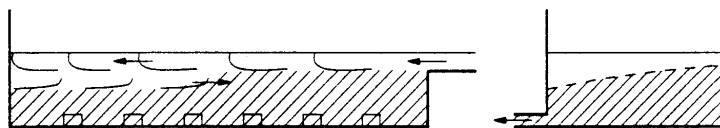
21.5.2 Nivelleren en uitwisselen in langs- en dwarsrichting

21.5.2.1 Twee systemen

In de vorige paragraaf werd het systeem Duinkerken behandeld waarbij alleen stromingen in dwars- en verticale richting van de kolk optreden. In deze paragraaf worden nu twee systemen beschreven waarbij de stromingen in langs- en dwarsrichting van de sluis plaatsvinden. De systemen zijn in feite te beschouwen als sterk vereenvoudigde uitvoeringen van het systeem Duinkerken.



Figuur 21.27 Systeem 1



Figuur 21.28 Systeem 2

De twee systemen voor uitwisselen zijn:

- Systeem 1: dwarsstroming van zoetwater en langsstroming van zoutwater. Het zoete water komt de sluis binnen door wandopeningen die zich over de hele lengte van de kolk uitstrekken en net onder het wateroppervlak liggen. Het instromende zoete water vormt interne golven die zich in dwarsrichting van de sluis voortplanten. Het zoute water verlaat ondertussen de kolk nabij de sluisbodem bij het buitenhoofd. Door de vloer diep te leggen kan de langsstroming beperkt worden gehouden.
- Systeem 2: langsstroming van zoetwater en dwarsstroming van zoutwater.

Het zoete water komt de kolk binnen net onder het wateroppervlak bij het binnenhoofd en vormt een interne golf die zich in langsrichting van de sluis voortplant. Het zoute water verlaat tegelijkertijd de kolk door laaggelegen openingen die zich over de gehele lengte van de kolk uitstrekken.

In principe is het met beide systemen mogelijk de kolk te nivelleren en uit te wisselen om zowel de zoutbelasting op het binnenwater te reduceren als het zoetwaterverlies te beperken, evenals met het systeem Duinkerken. Omdat het meestal om zoutbestrijding gaat wordt zoetwaterverlies geaccepteerd omdat dit anders een (te) duur systeem met zich meebrengt. De twee systemen zijn daarom ontwikkeld om alléén neerwaarts uit te wisselen - dat wil zeggen het vervangen van het zoute water in de kolk door zoetwater - om bij het openen van de binnendeur zoetwater in de kolk te hebben. Er wordt dus niet opwaarts uitgewisseld (vervangen zoetwater in de kolk door zoutwater) waardoor na het openen van de buitendeur het zoete water het buitenpand instroomt en verloren gaat. Beide systemen kunnen daarom beter worden aangeduid als zoutbestrijdingssystemen en niet als zout/zoetscheidingssystemen. Beide systemen zijn vooral het overwegen waard als de sluis relatief kort is.

In de regel wordt voor een dergelijk systeem gekozen om niettemin een aanzienlijke reductie van de zoutbelasting te verkrijgen en niet de hoge bouwkosten van het systeem Duinkerken in het spel zijn. Daarom worden de systemen zo eenvoudig mogelijk uitgevoerd, hoewel dit ten koste gaat van de reductie van de zoutbelasting. Deze vereenvoudigingen zijn:

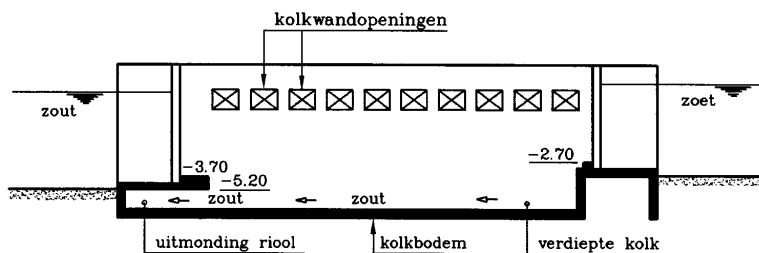
- **Sluisbodem**
Voor beide systemen wordt geen geperforeerde kolkvloer aangebracht. Wel is een diepe sluisbodem nodig om het zoute water zó laag af te voeren dat het achter een drempel bij de binnendeur blijft staan wanneer deze wordt geopend. Dit komt omdat verwijderen van al het zoute water uit de kolk (te) veel zoetwater kost.
- **Eénzijdige wandopeningen**
De openingen die zich over de gehele kolk lengte uitstrekken, worden aan één zijde aangebracht. Dat betekent dat de hooggelegen wandopeningen van het eerste systeem (aanvoer zoetwater) en de laaggelegen wandopeningen van het tweede systeem (afvoer zoutwater) steeds aan één wand worden aangebracht.
- **Openingen bij het sluishoofd**
De openingen bij het sluishoofd zijn eenvoudig van opzet en strekken zich over de breedte van de kolk uit. Bij het eerste systeem is er een laaggelegen rioolmond bij de buitendeur voor het aan- of afzuigen van het zoute water. Bij het tweede systeem is er een hooggelegen opening bij de binnendeur om het zoete water in de kolk te laten.

Aan de lengte van de sluizen worden grenzen gesteld omdat het water aan één hoofd onttrokken of ingebracht wordt, waardoor bij grote kolk lengten de grensvlakniveaus over de kolk lengte te veel verschillen. Een variant zou zijn beide hoofden te gebruiken om dit bezwaar tegen te gaan.

In Lit. [21.10] is het systeem Hansweert beschreven dat in model is onderzocht maar niet toegepast. Dit systeem is te beschouwen als een systeem 2.

Systeem 1 is toegepast voor de beide Krammerjachtensluizen (in de Philipsdam) en systeem 2 voor de Bergsedielsluis (in de Oesterdam). Aan de hand van deze twee sluizen worden de systemen in de volgende paragrafen nader beschreven.

21.5.2.2 Systeem 1: dwarsstroming van zoetwater en langsstroming van zoutwater

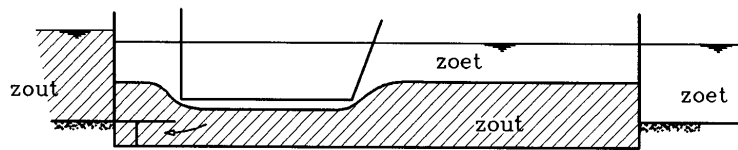


Figuur 21.29 Lengtedoorsnede Krammerjachtensluizen

De aan- en afvoer van het zoute water in de kolk geschiedt via de laaggelegen rioolmond die gesitueerd is bij het buitenhoofd vlak boven de (verdiepte) sluisbodem. Het zoete water wordt aangevoerd via de hooggelegen wandopeningen die aan één wand over de gehele sluislengte zijn aangebracht.

Alvorens de schepen de binnendeur kunnen passeren (vaarrichting naar binnenpand) wordt de kolk die zoutwater bevat eerst geleidigd door zoutwater af te voeren (of gevuld door zoutwater aan te voeren) via de laaggelegen rioolmond. Vervolgens wordt de kolk neerwaarts uitgewisseld (dalen grensvlak) door tegelijkertijd afvoeren van zoutwater via de laaggelegen rioolmond en aanvoeren van zoetwater via de hooggelegen wandopeningen. Er wordt uitgewisseld totdat het grensvlak zich 0,5 m onder het drempelniveau van het binnenhoofd bevindt. Ten slotte wordt de binnendeur geopend (zie Fig. 21.38, fasen 1 t/m 4).

Voordat de schepen de buitendeur kunnen passeren wordt de dan nog zoete kolk via de laaggelegen rioolmond eerst genivelleerd tot het niveau van de buitenvoorhaven. Daarna wordt de buitendeur geopend waarbij het in de kolk resterende zoete water zich aan het wateroppervlak van de buitenvoorhaven verspreidt (zie Fig. 21.38, fasen 4 t/m 6).



Figuur 21.30 Afzuigen zoutwater tijdens neerwaarts uitwisselen

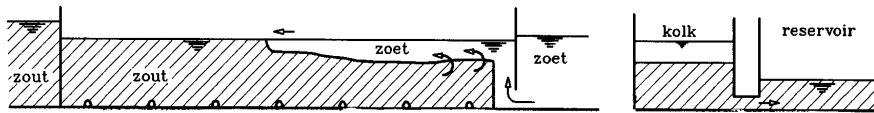
Bij dit systeem moet ervoor gezorgd worden dat het grensvlak over de gehele kolk lengte niet te scheef komt te liggen. Dit is alleen te bereiken bij lage instroomsnelheden van de diepgelegen rioolmond en een diepgelegen kolkvloer. Sterk blokkerende schepen (dus geen pleziervaart) achter in de kolk kunnen de stroming van het zoute water naar de rioolmond voor een deel blokkeren omdat het grensvlak hier lager ligt, waardoor ook zoetwater wordt afgevoerd.

Het instromen van zoetwater aan het wateroppervlak moet met een zodanige stroomsnelheid plaatsvinden dat dit weinig menging met het zoute water geeft (niet te hoge snelheid) terwijl geen zoutwater via de wandopeningen de kolk verlaat (niet te lage snelheid). Het eenzijdig instromen van het zoete water en de blokkering door gemeerd liggende schepen, geeft een ongelijk grensvlak over de breedte van de kolk waardoor dwarskrachten op de schepen ontstaan (par. 21.5.1.5). Door de schepen af te meren aan de wand waar zich geen openingen bevinden, vormen dwarskrachten geen probleem en worden de schepen nog een beetje naar deze wand toegedrukt.

De laaggelegen rioolmond is aangesloten op een met een pomp aangedreven zoutwaterriool. Het riool staat in verbinding met het buitenwater. De pomp moet in twee richtingen kunnen draaien om zoutwater de kolk in te brengen (vullen kolk) of zoutwater uit de kolk te voeren (ledigen kolk en uitwisselen) en de pomp moet een grote capaciteit hebben. Bij het aan- en afslaan van de pomp moet erop gelet worden dat niet te veel debietslingeringen ontstaan die het grensvlak verstoren. Bij lage buitenwatersstanden kan de kolk onder vrij verval geleidigd en uitgewisseld worden via hetzelfde zoutwaterriool. In plaats van een pomp in het zoutwaterriool kan ook een bufferbekken toegepast worden, aangesloten op een gemaal.

De hooggelegen wandopeningen zijn verbonden met omringend zoetwater dat op zijn beurt in verbinding staat met het binnenwater. In plaats van omarmend zoetwater kan ook een hooggelegen zoetwaterriool parallel aan de sluiswand aangelegd worden.

21.5.2.3 Systeem 2: langsstroming van zoetwater en dwarstroming van zoutwater



Figuur 21.31 Schematische lengte- en dwarsdoorsnede Bergsediepsluis

Het zoete water wordt aangevoerd via openingen in de binnendeur met een drempel achter deze openingen (Fig. 21.31). Hiermee wordt bereikt dat het zoete water als een horizontale langsstroming aan het oppervlak de sluis inkomt. Dit zoete water vormt een interne golf die zich in langsrichting van de sluis voortplant.

De afvoer van het zoute water uit de kolk geschiedt via de wandopeningen nabij de sluisbodem aan één zijde van de kolk. De stroming van het zoute water vindt voornamelijk in dwarsrichting van de kolk plaats.

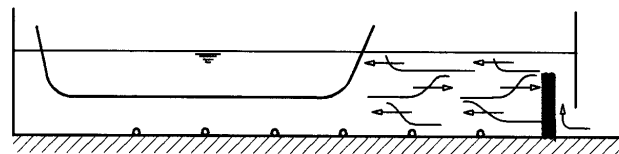
In de buitendeur zijn normale nivelleeropeningen aangebracht.

Bij hoge buitenwaterstanden wordt - alvorens de schepen de binnendeur kunnen passeren - de kolk met zoutwater eerst geledigd door zoutwater af te voeren via de laaggelegen wandopeningen. Hierna wordt de kolk neerwaarts uitgewisseld (dalen grensvlak) door tegelijkertijd het afvoeren van zoutwater via de laaggelegen wandopeningen en het aanvoeren van zoetwater via de openingen van de binnendeur. Maximaal wordt een volume gelijk aan de kolkinhoud uitgewisseld. Bij lage buitenwaterstanden wordt de kolk tegelijkertijd gevuld en uitgewisseld. Ten slotte wordt de binnendeur geopend (zie Fig. 21.39, fasen 1 t/m 4).

Voordat de schepen de buitendeur kunnen passeren wordt de dan zoete kolk via de (normale) openingen in de buitendeur genivelleerd met het buitenwater, waarna de buitendeur wordt geopend. Het in de kolk resterende zoete water stroomt weg naar de buitenvoorhaven (zie Fig. 21.39, fasen 4 t/m 6).

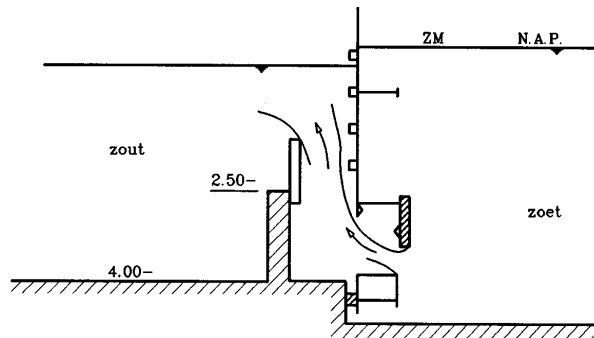
Bij dit systeem is het belangrijk dat het zoete water dat bij de binnendeur aan het oppervlak de kolk inkomt, zich over de gehele kolklengthe verspreidt (Fig. 21.28, systeem 2). Het zoete water vormt een interne golf die zich in langsrichting van de kolk voortplant, tegen de buitendeur reflecteert en vervolgens als verstoring van het grensvlak teruggaat naar de binnendeur. De hiervoor benodigde tijd is gelijk aan de periode van de interne golf in de kolk. Het zoetwaterdebiet (uitwisselingsdebiet) wordt zodanig gestuurd dat dit gedurende lange tijd constant en gelijk is aan het uitwisselingsdebiet voor dezelfde sluisopening maar dan zonder systeem. Hiermee wordt bereikt dat in deze eerste periode het grootste deel van de kolk uitgewisseld is.

Het zoete water wordt via de laaggelegen wandopeningen afgevoerd en wel zo gelijkmatig mogelijk over de kolklengthe zodat geen zoetwater uit de bovenlaag wordt meegevoerd.



Figuur 21.32 Blokkering sluisprofiel

Wanneer zich een sterk blokkerend schip in de kolk bevindt, zal de interne zoetgolf tegen de boeg reflecteren en weer naar de binnendeur terugkeren. Zodoende blijft het water achter het blokkerende schip lang zout omdat de interne zoetgolf dit gebied niet kan bereiken. Dit verschijnsel kan voor een deel tegengegaan worden door het sterk blokkerende schip achterin de kolk te leggen. Verdere verbetering kan verkregen worden door de laaggelegen wandopeningen achter het blokkerende schip meer zoutwater te laten afvoeren dan die voor het schip (NB. Dit laatste wordt overigens niet toegepast). Omdat de stroming van het zoete water vooral in langsrichting optreedt, zullen hoofdzakelijk langskrachten op de schepen optreden.



Figuur 21.33 Instroming zoetwater bij toepassen van een regelbare zoutdrempel

De instroming van zoetwater aan het wateroppervlak bij de binnendeur in de kolk moet met een zodanige stroomsnelheid plaatsvinden dat op deze plaats weinig menging met het zoute water ontstaat. Evenals in Fig. 21.23 is $F_i = 1$. Bij laaggelegen openingen in de binnendeur wordt dit bereikt door het plaatsen van een hooggelegen, verstelbare en van boven afgeronde drempel achter de openingen, die zorgt voor de juiste stroomsnelheid boven de drempel en voor de spreiding over de kolkbreedte. Een variant hierop is op de deur zelf een regelbare klep aan te brengen of om hooggelegen openingen in de binnendeur aan te brengen met verstelbare schuiven.

Het zoute water stroomt via de laaggelegen buizen uit de kolk in een naast de kolk gelegen reservoir (fig. 20.9). Dit reservoir heeft een inhoud en een bodemniveau dat gelijk is aan de kolk. Het water uit het reservoir wordt met pompen met kleine capaciteit continu uitgeslagen op het buitenwater. In plaats van een reservoir kan ook een langsriool met een laaggelegen bufferbekken toegepast worden.

Het systeem wordt geregeld door het sturen van de vlinderkleppen in de laaggelegen wandopeningen. De schuiven in de binnendeur worden geopend op het moment dat de kolkwaterstand overeenkomt met de waterstand op het binnenwater. Gestuurd wordt op het vereiste uitwisselingsdebiet als functie van tijd.

21.5.2.4 Systeem 1 tegenover systeem 2

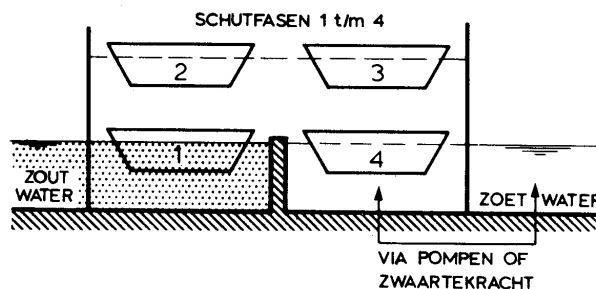
Als voornaamste kenmerken en verschillen van de twee systemen (systeem 1, Krammerjachtensluizen en systeem 2, Bergsediepsuis) kunnen aangemerkt worden:

- Beide systemen zorgen voor een grote reductie van de zoutbelasting op het binnenpand. Met systeem 2 zijn reducties van 80% en hoger gemeten met een zoetwaterverlies van 100%. Hoewel deze reducties minder zijn dan van het systeem Duinkerken (par. 21.5.1) staat daar tegenover dat de systemen 1 en 2 aanzienlijk eenvoudiger zijn.
- Tijdens uitwisselen geeft systeem 1 minder menging bij de instroming van zoetwater dan systeem 2 omdat hetzelfde zoetwaterdebiet over de kolk lengte in plaats van over de kolk breedte ingevoerd wordt. De kans op het afvoeren van zoetwater in plaats van zoutwater is echter bij systeem 1 groter dan bij systeem 2 omdat hetzelfde zoutwaterdebiet bij systeem 1 over de kolk breedte en bij systeem 2 over de kolk lengte afgevoerd wordt. Welk systeem beter is, kan daarom niet op voorhand worden gezegd.
- Wanneer een blokkerend schip in de kolk aanwezig is zal de reductie van de zoutbelasting teruglopen. Dit geldt vooral voor systeem 2 (in mindere mate ook systeem 1) wanneer dit type schip niet achterin wordt gelegd, aangezien bij systeem 2 de langsstroming van de bovenlaag geblokkeerd wordt. Omdat beide systemen zijn toegepast voor sluizen speciaal voor de recreatievaart, leidt dit in deze gevallen nauwelijks tot afname van de effectiviteit van de zoutbestrijding.
- Voor beide systemen geldt dat de kolken niet te lang kunnen zijn.
- Systeem 1 veroorzaakt dwarskrachten op de schepen en systeem 2 langskrachten. Afgemeerde schepen kunnen beter langskrachten dan dwarskrachten opnemen, waardoor systeem 2 wat sneller mag uitwisselen dan systeem 1.
- Systeem 1 vult en wisselt uit ná elkaar, terwijl dit bij systeem 2 tegelijkertijd plaatsvindt. Dit maakt systeem 2 wat sneller dan systeem 1.

- Systeem 1 vereist een groot aantal hooggelegen wandopeningen van bijzonder vorm met schuiven ervoor, een laaggelegen rioolmond met riool en een ingewikkeld gemaal. Systeem 2 is eenvoudiger van opzet waarbij aangepaste openingen van de binnendeur, een verstelbare drempel erachter, laaggelegen wandopeningen voorzien van simpele afsluiters en een naastliggend reservoir nodig zijn.
- Systeem 2 is in een bestaande schutsluis naderhand aangebracht (Bergsediepsluis); met systeem 1 had dit niet gekund.

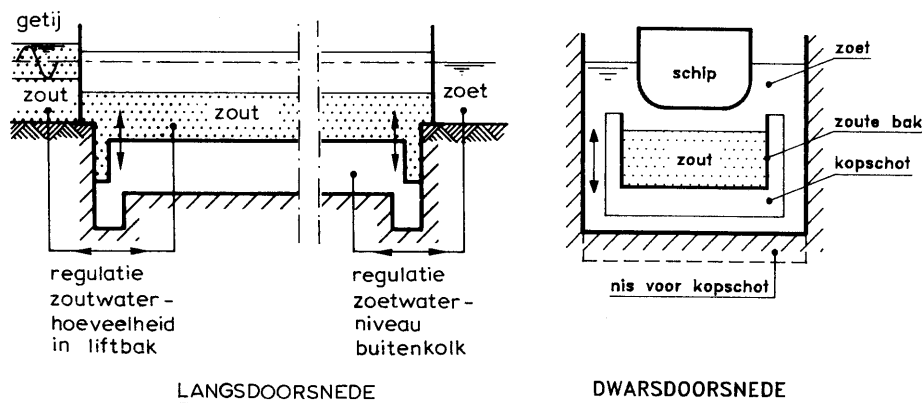
21.5.3 Zoute liftbak

Het systeem van de zoute liftbak als zout/zoetscheidingssysteem is ontwikkeld om een zo goed mogelijke scheiding van het zoute en zoete water te bereiken. De eisen waren hierbij dat de zoutpenetratie op het binnenwater gering was en dat vrijwel geen zoetwater op het buitenwater terecht mocht komen. Het systeem werd ontwikkeld voor een sluis in de Oesterdam (waar de huidige Bergsediepsluis ligt) met aan de ene zijde het zoete Zoommeer en de andere zijde de zoute Oosterschelde. Tot uitvoering van het systeem is het echter niet gekomen.



Figuur 21.34 Sluis met hoge middendrempel

Eerst is gedacht aan een sluis met dubbele hoogte en lengte en een vaste muur in het midden. In het eerste compartiment is tot de bovenkant van de vaste muur zoutwater en in het tweede compartiment is zoetwater aanwezig. Door het inpompen van zoetwater wordt het schip uit de zoutwaterbak gelicht waarna het schip naar het andere compartiment vaart. Het zoete water wordt vervolgens afgelaten tot het niveau van het binnenwater. Vanwege de hoge bouwkosten, de grote volumens water die verpompt moesten worden en omdat verslepen van schepen tijd kost, is dit idee verlaten.



Figuur 21.35 Langs- en dwarsdoorsnede zoute liftbak

Uit dit idee is de zoute liftbak ontstaan. Hierbij wordt een bak met zoutwater verticaal verplaatst in een sluiskolk met overigens zoetwater. De sluiskolk is verdiept waardoor de gehele zoute bak kan dalen tot onder de sluisdrempel. De breedte van de sluis is groter dan de breedte van de zoute bak, zodat het zoete water zijdelings langs de bakwanden kan stromen bij het verticaal verplaatsen van de bak. De lengte van de zoute bak is gelijk aan de sluislengte.

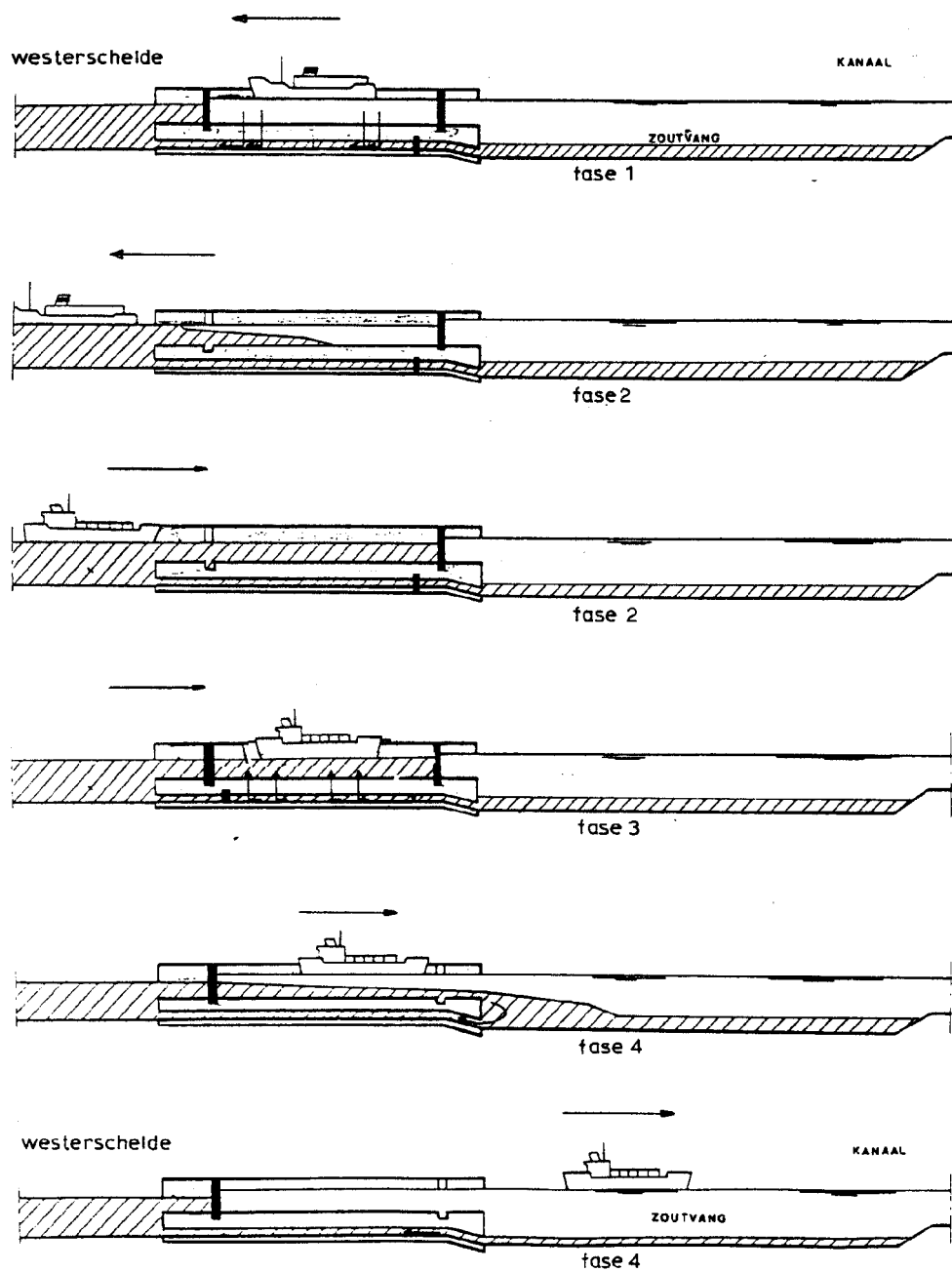
Om de binnendeur te kunnen passeren wordt eerst de kolk op het niveau van het binnenwater gebracht door de kolk met zoetwater uit de binnenvoorhaven te nivelleren, terwijl de liftbak zakt. Als de liftbak beneden is en het water in de kolk op het niveau van de binnenvoorhaven, kan de binnendeur geopend worden (Fig. 21.40, fasen 1 t/m 3). Evenzo zal om alvorens de buitendeur te kunnen openen, de kolk eerst genivelleerd worden op het niveau van het buitenwater door de aan- of afvoer van zoetwater uit de binnenvoorhaven terwijl intussen de liftbak stijgt. Als de liftbak boven is en het water in de kolk op het niveau van de buitenvoorhaven is gebracht, kan de buitendeur geopend worden (Fig. 21.40, fasen 4 t/m 6). Omdat het nivelleren en het verplaatsen van de liftbak tegelijkertijd plaatsvinden, is de extra benodigde schuttijd voor het systeem gering.

De afvoer van het zoete water van de kolk naar de binnenvoorhaven (of aanvoer van zoetwater naar de kolk uit de binnenvoorhaven) voor het nivelleren geschiedt door pompen of door de zwaartekracht.

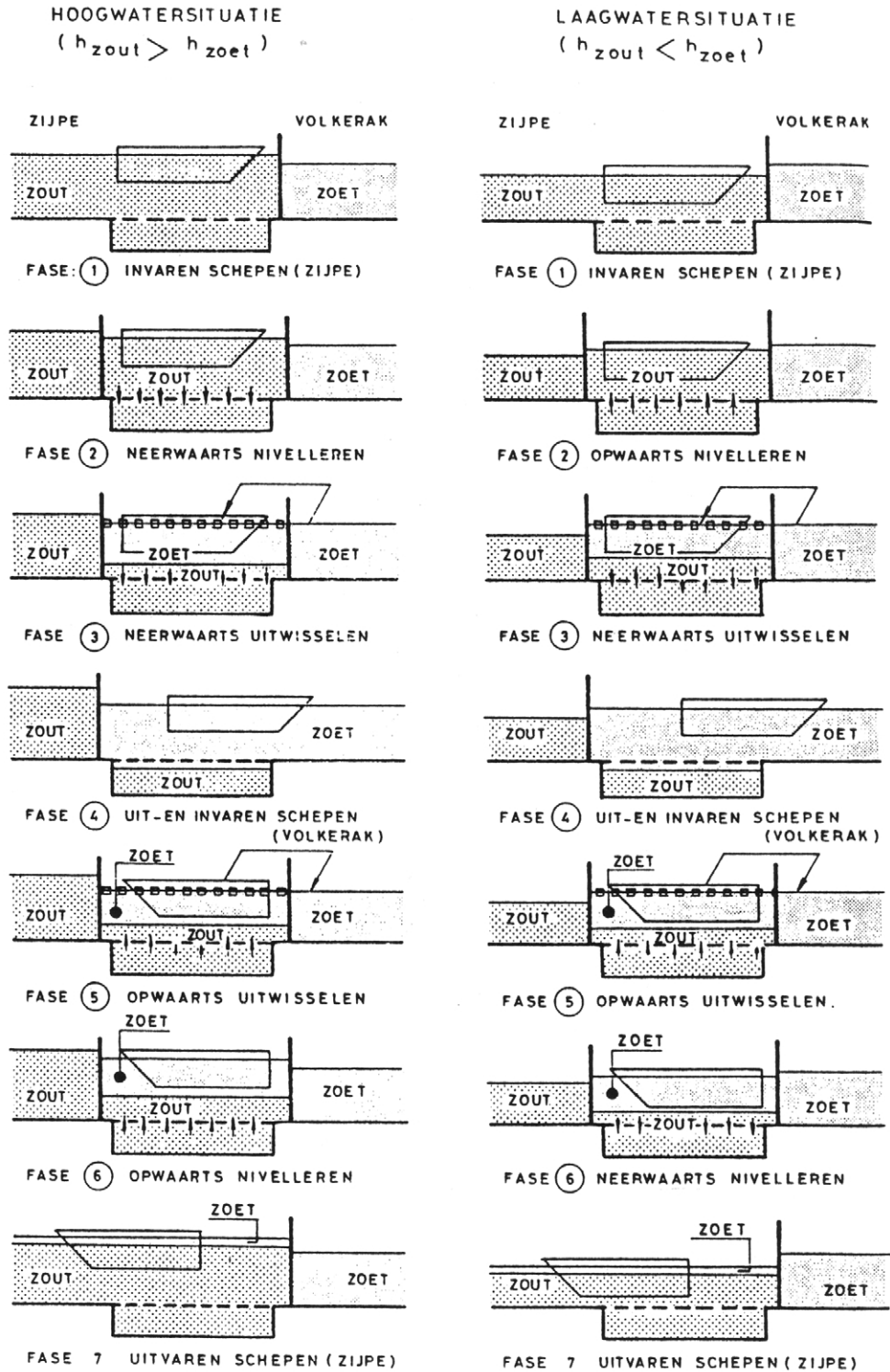
De inhoud aan zoutwater van de liftbak is variabel ten gevolge van het verschil in waterverplaatsing van de in- en uitvarende schepen en moet daarom gecompenseerd worden door zoutwater te verpompen uit de buitenvoorhaven naar de bak (of uit de bak naar de buitenvoorhaven).

Er ontstaat enige menging en er worden interne golven opgewekt door schepen die boven het grensvlak richting zoetwaterpand in- en uitvaren. Ook wanneer de zoute bak onder het schip vandaan gehaald wordt (dalen bak) of het schip juist in de zoute bak wordt gebracht (stijgen bak) ontstaat menging. Het schip ondervindt tijdens het stijgen of dalen van de bak dwarskrachten door zijn asymmetrische ligging in de bak.

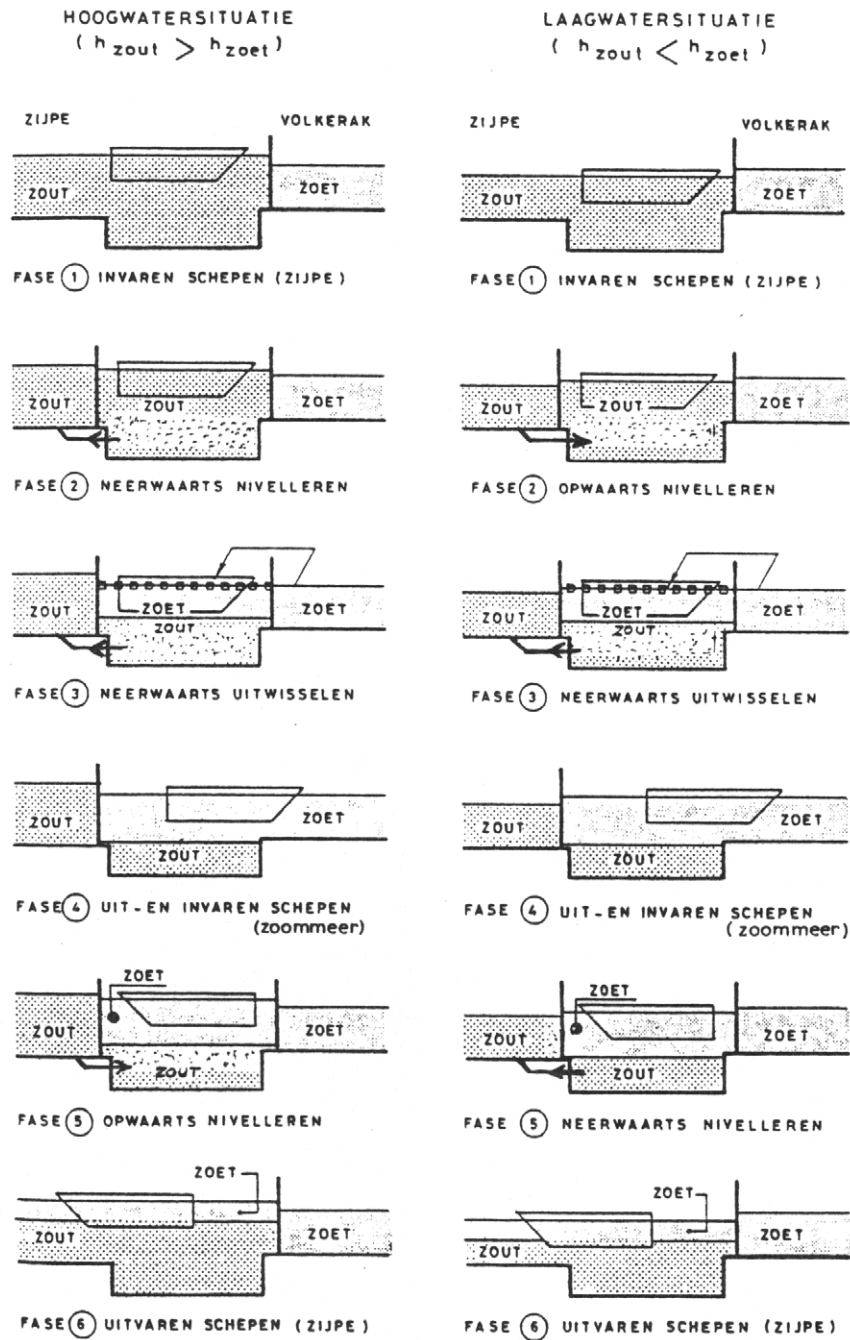
Het systeem is op dit moment te beschouwen als het beste zout/zoetscheidingssysteem en vergt nauwelijks extra tijd. In modelonderzoek zijn reducties van de zoutbelasting van 95% en hoger gemeten bij een zoetwaterverlies van 10 tot 20% van het volume van de liftbak. Tot uitvoering van het systeem voor de Oesterdam is het evenwel niet gekomen vanwege de hoge kosten. De grootte van de dwarskrachten op de schepen zijn niet exact bekend maar zijn lager dan bij de Krammersluizen.



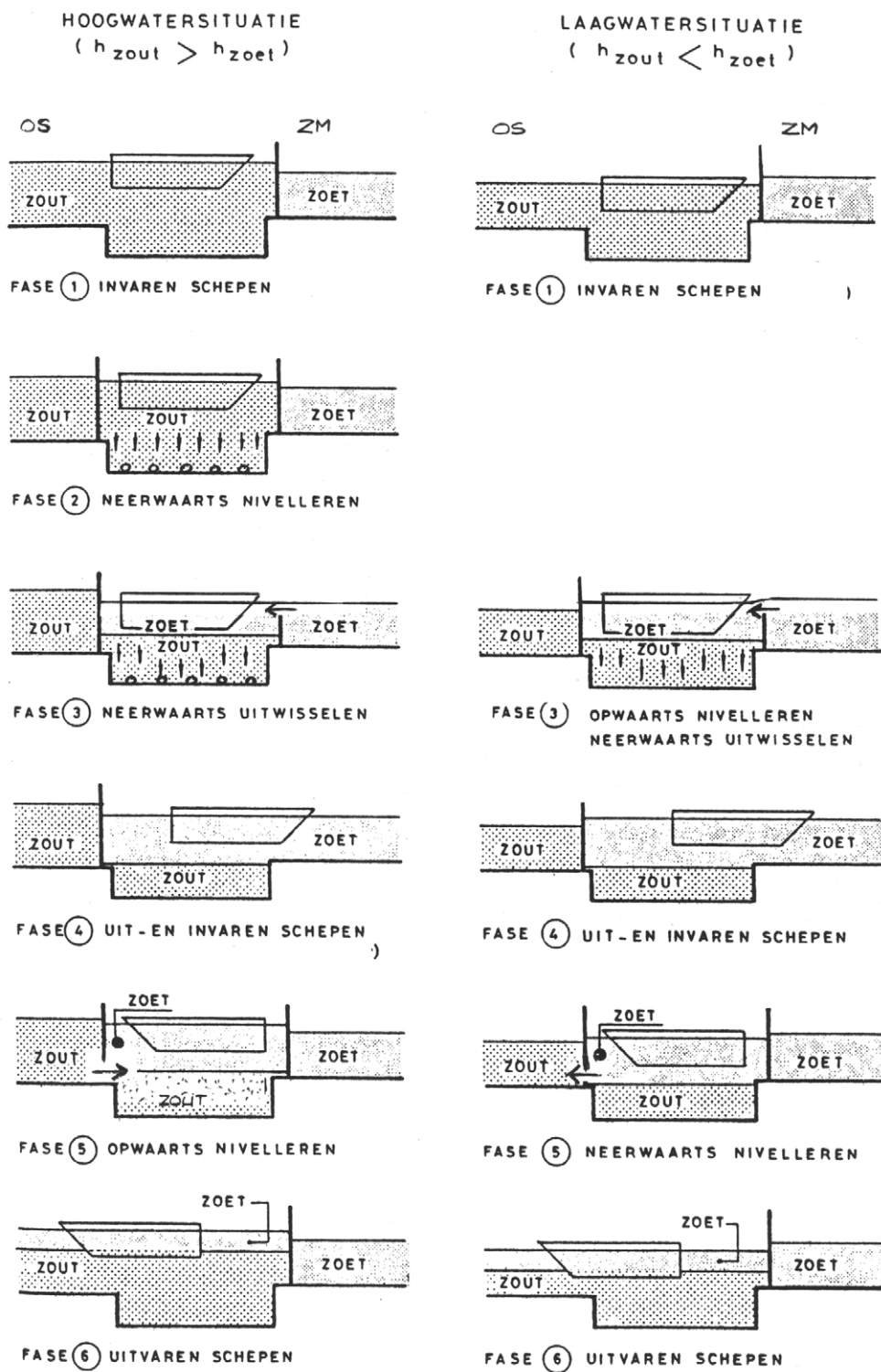
Figuur. 21.36 Schutfasen van de Zeesluis Terneuzen



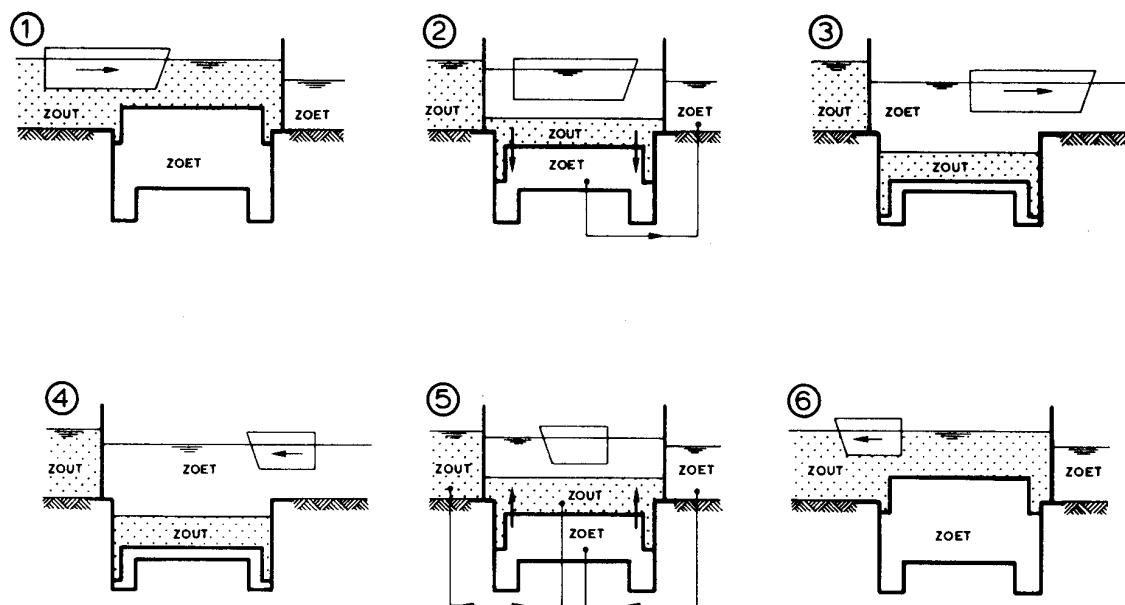
Figuur 21.37 Schutfasen van de Krammer duwvaartsluizen



Figuur 21.38 Schutfasen van de Krammer jachtensluizen



Figuur 21.39 Schutfasen van de Bergsediepsluis



Figuur 21.40 Schuttfasen van de zoute liftbaksluis

Literatuur:

- [21.1] Keulegan, G.H. (1957), 'An Experimental of the Motion of Saline Water from Locks into Fresh Water Channels', 13th Progress Report on Model Laws for Density Currents, National Bureau of Standard Report, Report No. 5178, USA.
- [21.2] Burgh, P. van der en de Vos, P. (1962), 'Luchtbellenschermen in schutsluizen', Rijkswaterstaat.
- [21.3] Abraham, G. en Burgh, P. van der (1973), 'Pneumatic Barriers to Reduce Salt Intrusion through Locks', Rijkswaterstaat Communications No. 17.
- [21.4] Kolkman, P.A. and Slagter, J.C. (1976), 'The Kreekrak Locks on the Scheldt-Rhine Connection', Rijkswaterstaat Communications No. 24.
- [21.5] Kranenburg, C. (1978), 'Internal Fronts in Two-Layer Flow', ASCE, Journal of Hydraulic Division, 104 (10), pp. 1449-1453.
- [21.6] Kranenburg, C. (1986), 'Dichtheidsstromen', Collegedictaat Technische Universiteit Delft.
- [21.7] Kolkman, P.A. (1986), 'Methods to Limit Salt Water - Fresh Water Exchange in Locks', Publication No. 364, Delft Hydraulics.
- [21.8] Kuur, P. van der (1986), 'Locks with Devices to Reduce Salt Intrusion', Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol.III, No. 6.
- [21.9] Vrijburcht, A. (1991), 'Forces on Ships in a Navigation Lock Induced by Stratified Flows', Thesis Delft University of Technology.
- [21.10] Kerstma, J., Kolkman, P.A., Regeling, H.J. en Venis, W.A. (1991), 'Zout-zoetscheiding bij schutsluizen', Rijkswaterstaat en Waterloopkundig Laboratorium, Delft (Tevens uitgebracht in Engelse versie 'Water Quality Control at Ships Locks', Uitgave Balkema, Rotterdam, 1994).

Selectie uit diverse WL-verslagen betreffende zout/zoetscheiding bij schutsluizen:

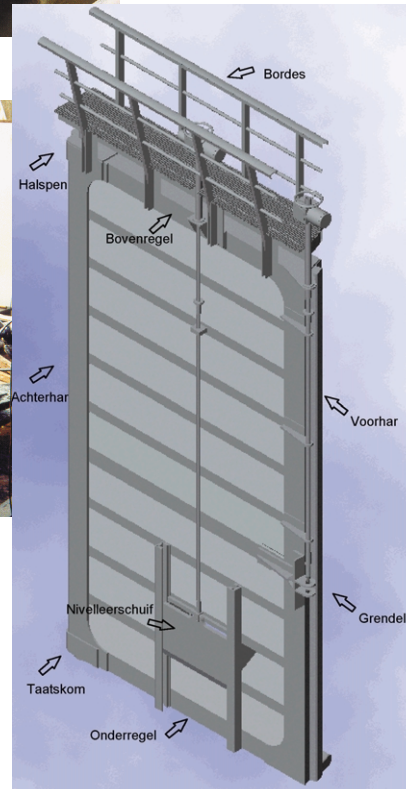
Sluizen Terneuzen (M667, M668, R1860, Q281 en Q461), Kreekraksluizen (M865), Sluizen te Hansweert met zoutbestrijding (M1128), Krammerduwvaartsluizen (M1431, M1529, M1464, M1529, R1369, R1517, R1422 en Q373), Krammerjachtensluizen (R1650), Den Helder (R1528 en R1472), Noordland (M1204), Liftsluis (M1463), Spaarndam (Q1490), Bergsediepsluis (Q1472, Q1595 en Q1850) en Den Oever (Q1784).



Uithijzen van oude houten deur



Schaven van kunststof sluisdeur



Figuur 22.1 Opzet kunststof sluisdeur in de Spieringsluis (Par. 22.3)



Foto 22.1 Kunststof sluisdeur voor de plaatsing (Spieringsluis, april 2000)



Foto 22.2 Kunststof sluisdeur in kerende stand (Spieringsluis, april 2000)

Hoofdstuk 22 **Nieuwe ontwikkelingen**

22.1 Inleiding

Met nieuwe ontwikkelingen wordt in dit hoofdstuk bedoeld wat aan het ontwerp van een schutsluis verandert ten opzichte van vroeger. Het gaat daarbij om hoe in technische zin een schutsluis verandert en wat zich wijzigt in het ontwerpproces. Welke ontwikkelingen er in de projectbehandeling zijn, valt buiten het kader van dit boek.

Technische ontwikkelingen in de sluizenbouw zijn er altijd geweest en zeker nu! Toch voltrekken de veranderingen zich langzaam, dat wil zeggen in termijnen van vele jaren. Wat meespeelt is dat een sluis zeer lang moet meegaan zodat in het ontwerp veelal wordt teruggegrepen naar een degelijke en beproefde opzet.

In verschillende hoofdstukken van dit boek zijn de technische ontwikkelingen van de afgelopen jaren al uitgebreid aan de orde geweest. Te noemen vallen het gebruik van dubbelkerende puntdeuren, hydrostatische lagers voor roldeuren, hydraulische aandrijfsystemen, nieuwe bouwmethoden (zoals het vermijden van bemalen bouwputten, pneumatisch afzinken van hoofden, toepassen van diepwanden als kolkwanden, groutankers), nieuwe materialen (minder onderhoudsgevoelige materialen), centrale bediening met nieuwe soft- en hardware, zout/zoetscheidingssystemen enz. enz.

In het ontwerpproces voltrekken de veranderingen zich sneller, mede door de snelle ontwikkeling van de rekenprogrammatuur.

Dit hoofdstuk gaat in op echt nieuwe ontwikkelingen die pas gedeeltelijk of nog niet hun waarde bewezen hebben, maar wel zo veel belovend zijn dat toepassing in het verschiet ligt. Opgemerkt wordt dat niet gestreefd is naar volledigheid, zodat de kans groot is dat achteraf zal blijken dat sommige ontwikkelingen hier niet gesignaleerd zijn. Het zij zo.

Als nieuwe technische ontwikkelingen zijn te noemen:

- nieuwe materialen voor deuren en schuiven: kunststof, hoge sterkte beton;
- glijgeleidingen;
- coatings voor staal;
- nieuwe bouwmethoden;
- besturing en bediening, verkeersafwikkeling.

In het ontwerpproces zijn vernieuwingen aanwezig in de vorm van:

- ontwerpfilosofie van de Bouwdienst;
- onderhoudsstrategieën;
- duurzaam bouwen;
- rekenmodellen.

Voor de projectbehandeling zijn ook allerlei vernieuwingsprocessen aan de gang - dit wordt niet in dit boek behandeld:

- marktbenadering (contractvormen);
- wettelijke zaken (veiligheidstoetsingen);
- productkwaliteits- en procesrisicobeheersing van het bouwproces.

In dit hoofdstuk wordt eerst in korte bewoordingen ingegaan op nieuwe technische ontwikkelingen (par. 22.2). Als voorbeeld van een ontwikkeling op technisch gebied wordt in par. 22.3 de kunststof sluisdeur behandeld. De veranderingen in het ontwerpproces komen in par. 22.4 aan de orde en als voorbeeld hiervan wordt in par. 22.5 het functioneel ontwerpproces behandeld. Appendix 22.1 omvat de verdere uitwerking van het functioneel ontwerpproces van par. 22.5.

22.2 Technische ontwikkelingen

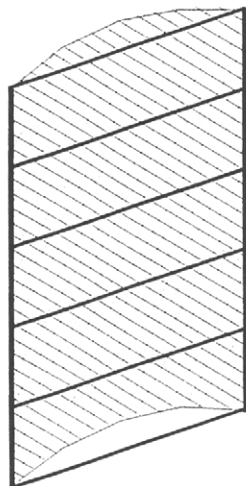
22.2.1 Nieuwe materialen voor sluisdeuren en schuiven

Als gevolg van corrosie is het onderhoud van stalen sluisdeuren aanzienlijk en de levensduur korter dan van het civiele deel van de sluis. Dit blijft dan ook een voortdurende kostenpost in het sluisbedrijf. Sluisdeuren van tropisch hardhout die voor kleinere sluisen in principe toegepast kunnen worden en weinig onderhoud vergen, zijn bezwaarlijk in verband met het kappen van tropisch regenwoud. (Opgemerkt wordt dat tropisch hardhout als zeer duurzaam en wellicht als 't minst milieubelastend materiaal mag worden gezien). Daarom wordt gezocht naar alternatieve materialen die resistent zijn tegen agressieve milieus zoals aan zee. Deze materialen zijn roestvast staal, aluminium, kunststof en hoge sterkte beton. Omdat met name de laatste drie materialen geheel andere eigenschappen bezitten dan het gebruikelijke staal, zal de opbouw van de deur daardoor sterk wijzigen.

Niet gedacht wordt aan opblaasbare keringsmiddelen zoals een balgkering met een nylon versterkt rubberdoek (balgkering Ramspol), vanwege de benodigde tijd voor openen en sluiten.

Roestvast staal

In Lit. [22.3] is het ontwerp beschreven van sluisdeuren van roestvast staal voor de Koninginnesluis te Nieuwegein. Er bleek dat roestvast staal toch gevoelig is voor een aantal corrosiemechanismen en dat dit tegengegaan kan worden door een aangepaste vormgeving (nauwe openingen en horizontale vlakken vermijden, gladde oppervlakteaafwerking) en door het aantal lassen te minimaliseren. Aanraking met koolstof stalen delen moet absoluut vermeden worden. Roestvast staal is veel duurder dan koolstof staal waardoor gestreefd moet worden naar minimaal materiaalverbruik.



Figuur 22.2 Deuropzet in roestvast staal

Het minimaliseren van de onderhouds- en fabricagekosten leidt tot een geometrievoorwaarde. Door het plaatmateriaal op trek te belasten zijn geen verstijvingen nodig. Dit kan door het toepassen van cirkelvormig gekromde beplatingen. Het ontwerp bestaat uit een rechthoekig raamwerk van een verticale voor- en achterhar en daartussen horizontale boven-, tussen- en onderregels, alle opgebouwd uit buisprofielen (fig. 22.2). De boven-, tussen- en onderregels worden op druk belast. De beplating is verbonden met de voor- en achterhar en is cirkelvormig gekromd om trek op te kunnen nemen.

Een roestvast stalen deur zal geregeld schoongemaakt moeten worden om corrosie tegen te gaan. Uit het onderzoek bleek dat als de deur om de 10 jaar wordt schoongemaakt (onderwaterdeel door duikers, de deur wordt dus niet uit het water getild), de roestvast stalen deur pas na zeer lange tijd (orde 150 jaar) goedkoper is dan de normale (koolstof-)stalen deur. Binnen zo'n termijn kunnen de omstandigheden dermate wijzigen dat de roestvast stalen deur op dit moment niet concurrerend is. Verder is er onvoldoende bekend van de corrosiebestendigheid in de diverse milieus om tot toepassing over te gaan.

Roestvast staal wordt alleen voor kleine onderdelen gebruikt zoals bij opleggingen, afdichtingen en geleidingen.

Kunststof

In Lit. [22.6] en [22.7] en par. 22.3 worden kunststof puntdeuren besproken voor een kleine sluis. Kunststof deuren vergen, naar verwachting, nauwelijks onderhoud. Het ontwerp is geheel afgestemd op de materiaaleigenschappen van kunststof en bleek uitvoerbaar en concurrerend te zijn ten opzichte van houten deuren. De deur wordt binnenkort voor een kleine sluis gerealiseerd (par. 22.3). Wel zijn de doorbuigingen groter dan die van van vergelijkbare houten of stalen deuren. Het materiaal is daarom minder geschikt voor grote positieve vervallen, maar helemaal niet voor grote negatieve vervallen. Mogelijk kunnen met carbonvezels versterkte kunststoffen uitkomst brengen. In Frankrijk zijn grote dokdeuren van kunststof (ca. 10x8 m²) toegepast.

Schuiven in deuropeningen en riolen zijn denkbaar in kunststof mits de doorbuiging door het verval niet te groot is zodat klemlopen in de sponning en veel lekkage worden voorkomen. In 1993 is voor de Kreekraksluizen een wandschuif van glasvezel-versterkte kunststof aangebracht die nog steeds (2000) in goede conditie is, Lit. [22.11].

Hoge sterkte beton

In de toekomst zijn wellicht sluisdeuren en schuiven in hoge sterkte beton (HSB) mogelijk. Het grote voordeel hiervan is de grote duurzaamheid ten opzichte van staal. Ten opzichte van normaal beton heeft hoge sterkte beton als voordelen dat veel slanker gedimensioneerd kan worden en de duurzaamheid hoger is.

Hoge sterkte beton (HSB) heeft een karakteristieke (kubus)druksterkte van 65 tot 135 Mpa (B 65 tot B 135) en is een mengsel van cement, toeslagmaterialen (gebroken steenslag, zand), silica fume (SiO₂ met zeer fijne structuur) en hulpstoffen (plastificeerders). De silica fume heeft een grote sterktebijdrage en levert een zeer dichte structuur van het beton op. In Lit. [22.16] worden ervaringen met HSB gepresenteerd en Lit. [22.2] geeft een ontwerp van schuiven in de Stormvloedkering Oosterschelde in HSB. Door het toeslagmateriaal te vervangen door lichter materiaal wordt hoge sterkte lichtbeton (HSLB) verkregen met karakteristieke kubusdruksterkten tot 85 Mpa (B 85).

Recent is ook zeer hoge sterkte beton (ZHSB) ontwikkeld waarmee echter nog weinig ervaring is opgedaan. Hierbij worden de grove toeslagmaterialen weggelaten, de pakkingsdichtheid door optimalisatie van de toeslagmaterialen vergroot, staalvezels toegevoegd en het geheel onder druk en hoge temperatuur verhard. Druksterkten boven B 200 worden gehaald (tot B 800). Zie Lit. [22.13].

Bij sluisdeuren kan gedacht worden aan roldeuren in HSB die door hydrostatische lagers of onderrolwagens ondersteund worden. Maar ook hefdeuren zijn denkbaar. Schuiven in deuren en riolen zijn eveneens mogelijk in HSB en hetzelfde geldt voor een ophaalbrug in HSB. Moeilijker is wellicht de toepassing bij punt- en draaideuren die door de grote stijfheid van het materiaal ongunstig ondersteund kunnen worden (denk aan obstakels voor de drempel tijdens sluiten; wellicht biedt een rubber ondersteuning de oplossing).

Begin 2000 zijn nog onvoldoende ervaringen met dynamische belastingen van HSB opgedaan. Onbekend is bijvoorbeeld wat de uitwerking is van een aanvaring tegen een HSB deur of het treffen van een HSB deur met een obstakel op de drempel en hoe de deur dan gerepareerd kan worden.

22.2.2 Nieuwe coatings voor sluisdeuren

De huidige verflagen op stalen deuren gaan uit van een passief beschermprincipe waarbij het onderliggende staal afgesloten wordt van het (meer of minder) corrosieve milieu. Een goede hechting van de afsluitende verflaag op het staal is een voorwaarde voor bescherming. De beschermduur is afhankelijk van het milieu waarin de deur verkeert en ligt tussen 8 en 20 jaar. Daarna moet de verflaag vervangen worden. Faalmechanismen zijn degradatie of directe beschadiging van de verflaag en ondercorrosie.

Tegenwoordig is een aluminium deklaag op staal mogelijk die veel langer meegaat dan een normale verflaag (Lit. [22.12]). Deze gaat uit van een actief beschermprincipe dat het staal kathodisch beschermt omdat aluminium onedeler is dan staal. De aluminium deklaag is poreus en bestaat uit gestolde aluminium deeltjes. De deklaag wordt op het gestraalde staal aangebracht met een autogene gasvlam of een elektrische vlamboog en op moeilijk bereikbare plaatsen met aparte spuitmonden. Door de poreuze opbouw komt het stalen substraat wel in contact met het corrosieve milieu maar wordt kathodisch beschermd. Doordat de poriën verstopt raken met aluminiumoxiden offert het aluminium zich hierbij deels op. Ook bij scheuren in de deklaag of putten onder het staaloppervlak, vindt deze afsluiting plaats. Het is dus zelfreparerend. Bij kleureisen kan over de aluminium deklaag een aparte verflaag aangebracht worden. De kosten van het aanbrengen van de aluminium deklaag zijn ca. 1,6 tot 2 keer hoger dan bij verf. De dikte van de aluminium deklaag bepaalt de levensduur van de laag omdat deze afhangt van de opoffersnelheid. De beschermduur is bijvoorbeeld 50 jaar wat overeenkomt met de levensduur van de deur.

Het systeem vereist dat de ondergrond gestraald wordt volgens dezelfde eisen die gesteld aan een deklaag van verf worden gesteld. Afrondingsstralen moeten groter dan 2 mm zijn, nauwe hoeken of gaten moeten vermeden worden. Op korte termijn worden de puntdeuren van de Zandkreeksluis met een aluminium deklaag behandeld.

22.2.3 Glijgeleidingen en -afdichtingen

Glijstrippen bij schuiven en deuren

Bij hefdeuren en schuiven in riolen en bij nivelleeropeningen worden in plaats van de vroeger gebruikte railbanen met wielgeleiding tegenwoordig de combinatie kunststof glijstrippen op de vaste baan en RVS glijloffes op het bewegende deel toegepast. Glijstrippen zorgen zowel voor geleiding, oplegging als afdichting. Afzonderlijke railbanen en afdichtingsstrippen zijn dan niet meer nodig. De beweegkracht bij deze glijstrippen blijft beperkt omdat de wrijvingscoëfficiënt van de toegepaste materiaalcombinatie gering is en het gewicht van wielen en afdrukmechanisme ontbreekt (zie Lit. [22.8]). Kunststof op kunststof is niet mogelijk door de hoge wrijving. Kunststof wordt (onder andere) vanwege de lage prijs toegepast voor het lange deel.

Bij een glijgeleiding is sprake van de kunststof UHMPE (UltraHoogMoleculair PolyEtheen) die op de baan bevestigd is en RVS of staal met corrosievaste deklaag dat aan de schuif of deur is bevestigd. UHMPE/RVS heeft een gunstige combinatie van lage wrijving en hoge slijtvastheid. De wrijvingscoëfficiënt bedraagt 0,10 - 0,16. Aangezien de slijtage kan worden berekend uit de verwachte glijweg, de vlaktedruk en het aantal bewegingen, kan de benodigde slijtdikte worden afgestemd op de verlangde levensduur. De glijgeleiding is goedkoop in aanschaf en onderhoud.

Ook voor de horizontale geleiding van roldeuren wordt kunststof toegepast. Tijdens de beweging heeft de deur een driepuntsoplegging, twee aan de onderzijde en één aan de bovenzijde. De horizontale geleiding aan de onderzijde vindt plaats met kunststof glijstrippen op de verticale randen van de sleuf in de bodem en twee RVS stalen sloffen op de deuruiteinden. Aan de bovenzijde kan in principe de geleiding ook met kunststof uitgevoerd worden door bij de ingang van de deurkas een stalen, horizontale strip te bevestigen die langs een horizontale kunststof strip op de deur schuift. Dit als alternatief voor een horizontaal rubber wiel dat langs een stalen baan op de deur loopt. Bij de deurnis wordt de deur bij binnenkomen via een soort fuik midden tussen z'n verticale opleggingen geleid door middel van kunststof wiggen om daarna bij de eindaanslag weer vrij te komen om tegen één oplegging aan te liggen.

Bij roldeuren vindt de onderafdichting plaats via een stalen, verende plaat die door de waterdruk aangedrukt wordt tegen de verticale rand van een sleuf in de bodem. De plaat is verend vanwege het verschil in doorbuiging over de lengte van de deur. Omdat soms scheurvorming in de stalen plaat optreedt wordt gedacht aan een kunststof plaat die via een rubber scharnier onder aan de deur bevestigd wordt. Deze kunststof plaat moet dan beter de verbinding tussen de doorgebogen deur en de sleuf in de bodem overbruggen.

Hydrostatische lagers bij roldeuren

Bij de verticale ondersteuning van roldeuren worden normaliter twee onderrolwagens toegepast op wielen die op een railbaan rijden. Voor de Nieuwe Oranjesluis is hiervan afgeweken en zijn hydrostatische glijlagers toegepast (Par. 23.3 en Lit. [22.8]). Over een vlakke kunststof UHMPE baan in de sleuf in de bodem ter plaatse van deur glijden twee hydrostatische lagers ("hydrovoeten") die aan de deur bevestigd zijn. Deze lagers bestaan uit grote, ronde RVS schijven die van de kunststof baan gescheiden zijn door een waterfilm. Door de lage vlaktedruk van de lagers is een glijbaan van kunststof mogelijk. De waterfilm zorgt voor een zeer lage wrijvingscoëfficiënt zodat de horizontale kracht om de deur te openen of te sluiten klein is. Mochten er toch onvlakheden in de baan voorkomen of krassen of deuken hierin zijn ontstaan, dan verdwijnen de uitsteeksels in de kunststof baan na enkele passages van de deur met de hydrovoeten. De wrijving zal in de loop der tijd afnemen en uiteindelijk een factor 100 kleiner zijn dan zonder waterfilm (alleen kunststof op staal).

In de toekomst wordt een verdere toepassing van hydrostatische lagers voorzien. De huidige hydrostatische lagers voor rol-/glijdeuren kunnen wellicht eenvoudiger van vorm uitgevoerd worden (nu is er sprake van 4 aparte kamers). Schuiven en hefdeuren kunnen langs hun kunststof glijstrippen misschien voorzien worden van hydrostatische lagers om de beweegkrachten te verminderen of de schuiven of deuren met een groter verval te kunnen openen.

Taats en halsbeugel bij punt- en draaideuren

Bij een puntdeur of een enkele draaideur wordt voor de glijvlakken op de taats en de taatskom mangaanstaal gebruikt. De glijlagers zijn echter moeilijk bereikbaar voor een smeermiddel terwijl de smeermiddeelfilm zelden stand houdt door de lage snelheid, de geringe draaihoek en het bij stilstand zwaar belaste glijvlak. Daardoor maken de metalen glijvlakken rechtstreeks contact en vormen zich abrasieve metaaldeeltjes. Na verloop van tijd ontstaat er schroefdraadvormige slijtage waarbij de wrijving toeneemt.

Bij toepassing van een met kunststof beklede taatskom in combinatie met een taats van RVS of staal met corrosievaste deklaag is geen smeermiddeelfilm nodig (Lit. [22.9]). Hoewel ook bij kunststoffen door het glijdend contact slijtdeeltjes ontstaan zijn deze door hun geringe hardheid niet abrasief, en beperken de slijtage doordat de slijtdeeltjes de glijvlakken van elkaar scheiden. Met slijtageformules kan worden berekend dat de met kunststof beklede taatskom de bedrijfsduur van de gehele constructie kan halen. Als kunststof is mogelijk UHMPE voor vlaktedrukken tot 15 N/mm^2 of het product HAWE (Hard Weefsel) voor hoge vlaktedrukken, zie het voorbeeld van de Krabbersgatsluizen (par. 12.2.1.5).

Bij het bovendraaipunt is een combinatie van een smeedstalen halspen en een halsbeugel met een aluminium-bronzen voering gebruikelijk. Ook hier treedt na verloop van tijd slijtage op door gebrek aan smering. Als alternatieve oplossing voor de puntdeuren van de Krabbersgatsluizen is gekozen voor een RVS halspen en een met HAWE beklede halsbeugel (par. 12.2.1.5). De combinatie van een halspen van staal met corrosievaste deklaag en met UHMPE beklede halsbeugel is ook mogelijk.

De vormgeving van taatskom/taatskap en halsbeugel/halspen voor de kunststof uitvoering is identiek met de conventionele oplossing. Mocht zich toch overmatige slijtage voordoen dan kan het kunststof-deel gemakkelijk vervangen worden door de traditionele materialen.

Glijlagers in draaipunten

Glijlagers worden veelvuldig toegepast zoals in wielen van onderrolwagens van roldeuren, in wielgeleidingen, als scharnierpunten in aandrijfstanden van schuiven enzovoort. Tegenwoordig worden standaard lageringen van UHMPE gebruikt in combinatie met een stalen as die voorzien is van een ingesmolten corrosievaste deklaag. Dit vanwege de lage wrijving, de hoge slijtvastheid en de lage prijs. Indien de visco-elastische vervorming van UHMPE te groot is en indien de vlaktedruk te groot is, wordt HAWE gebruikt, hoewel HAWE een iets ongunstigere wrijvingscoëfficiënt bezit dan UHMPE. Zie ook Lit. [22.9].

22.2.4 Nieuwe bouwmethoden

Sluiskolk

Diepwanden vinden al ruime toepassing in de sluisenbouw. Bij de 2e sluis te Lith (par. 23.2) bestaan de kolkwanden uit (gewapende) diepwanden, die bekleed zijn met betonnen schorten. De diepwanden zijn

met schuin aangebrachte groutankers verankerd aan de naastgelegen grond. Na ontgraving tussen de diepwanden en het heien van trekpalen, is een (ongewapende) onderwaterbeton vloer aangebracht. De onderwaterbetonvloer, verankerd aan de trekpalen, moet een bepaalde waterspiegelverlaging in de kolk aankunnen.

In plaats van trekpalen kunnen in de onderwaterbetonvloer ook drains worden aangebracht om het drukverschil boven en onder de vloer te verminderen en de vloerdikte te beperken (zie fig. 9.1 bij par. 9.3.2). De drains bestaan uit gaten gevuld met stortsteen. In plaats van het aanbrengen van een onderwaterbetonvloer met trekpalen zou chemisch injecteren van de grond wellicht een mogelijkheid vormen als afsluitende laag van de vloer, mits de geïnjecteerde vakken goed tegen elkaar aansluiten.

De betonnen schorten kunnen mogelijk uitgevoerd worden als hoge sterkte beton met een zeer dichte structuur en goed bestand tegen agressieve milieus (par. 22.2.1) zodat gedurende de levensduur geen onderhoud aan de kolkwand nodig is. De betonnen schorten kunnen wellicht als prefab elementen geplaatst worden, met steunpunten aan de diepwanden.

Sluishoofden

Mogelijk kunnen diepwanden gebruikt worden voor het maken van een bouwkuip ten behoeve van het sluishoofd en tevens een constructief onderdeel hiervan vormen. Na het aanbrengen van de diepwanden met de benodigde verankering (bijvoorbeeld groutankers) wordt de grond ertussen ontgraven. Na het (eventueel) heien van trekpalen of aanbrengen van verticale groutankers wordt de onderwaterbetonvloer gestort. De bouwkuip kan drooggezet worden en hierbinnen wordt het betreffende hoofd met sponningen, bewegingswerkkelders enz. verder opgebouwd. De vloer van het hoofd wordt via trekpalen of groutankers verbonden met de ondergrond terwijl de wanden van het hoofd verbonden worden met de diepwanden. De laatste verbinding komt tot stand met stekeinden die naderhand in geboorde gaten in de diepwand verlijmd zijn.

De onderwaterbetonvloer kan mogelijk een constructief onderdeel vormen van de vloer van het sluishoofd. Voordat het onderwaterbeton wordt gestort, wordt een wapeningsnet met naar boven uitstekende stekeinden geplaatst. Na het storten van het onderwaterbeton en het droogmaken van de bouwput wordt de verdere wapening aangebracht, het bovenste deel van de vloer gestort en afgewerkt met drempels, sparingen, leidingkokers enz.

De aangestorte delen van de wanden en de vloer kunnen mogelijk uitgevoerd worden in hoge sterkte beton met een zeer dichte structuur die bestand is tegen agressieve milieus zodat de betonconstructie geen onderhoud vergt (par. 22.2.1).

Onder- en achterloopsheidschermen

Als onder- en achterloopsheidschermen kunnen in principe in plaats van stalen damwanden ook (ongewapende) cement-bentonietwanden toegepast worden mits de constructie geen grondkerende functie heeft en tot een diepte reikt zoals berekend is met een grondwaterstromingsmodel. Cement-bentoniet is een mengsel van cement, bentoniet (kleimineraal) en water dat verhardt. In plaats van cement-bentoniet kunnen ook eco-schermen in kunststof of prefab betonnen damwandplanken gebruikt worden mits deze waterafsluitend zijn. Wanneer de wanden grondkerend moeten zijn waarbij een buigend moment in het scherm optreedt, zal overgegaan moeten worden op gewapende betonnen diepwanden of stalen damwanden.

Bij het Naviduct Krabbersgat (par. 23.4) zouden aanvankelijk (ongewapende) cement-bentonietwanden toegepast worden om het horizontaal toestromen van water naar de kunstmatige polder tegen te gaan. De panelen bij het Naviduct zouden 0,80 m dik zijn en reiken tot in de afsluitende lagen. Uiteindelijk is hiervoor niet gekozen, maar voor stalen damwanden vanwege mogelijke zettingsverschillen van het grondmassief aan weerszijden van het scherm.

22.2.5 Besturing en bediening

Het besturingssysteem gaat in de regel uit van het openen van schuiven met een vaste schuifsnelheid die behoort bij het maatgevende initiële verval en het grootste schip. Een betere afstemming van de schuifsnelheid op het aanwezige initiële verval en (mogelijk) de in de kolk aanwezige vloot zal de nivelleertijd kunnen verkorten. Door het direct meten van waterstanden en het hiermee met een rekenmodel berekenen van de optimale schuifheffing, kan de besturing van de schuiven momentaan hierop afgestemd worden.

Door weg-meetsystemen en hydraulische aandrijvingen kunnen schuiven tegenwoordig volgens een willekeurig op te geven wijze nauwkeurig en met lage snelheden aangestuurd worden. Dit geeft de mogelijkheid om ingewikkelde hefprogramma's op te geven die een optimale sluisnivellering garanderen. Ook deuren kunnen nu beter worden aangestuurd waarmee dus ingewikkelde deurprogramma's mogelijk zijn. Te denken valt om de sluisdeur aan het einde van het nivelleerproces al eerder met lage snelheid te openen om het nivelleerproces te bekorten. Na gelijk water kan de deursnelheid dan opgevoerd worden.

De bediening van sluizen is tegenwoordig gecentraliseerd, dat wil zeggen dat vanuit één punt op het sluiscomplex de sluis met eventueel brug, stuw of spuiinrichting bediend wordt. Vanuit de ramen van het bedieningsgebouw en via CCTV-camera's en radar bereiken de beelden de bedienaar van het sluiscomplex. In de toekomst worden wellicht meerdere sluiscomplexen vanuit één bedieningsgebouw bediend, zonder dat er direct zicht is op de sluizen.

De verkeersafwikkeling van de te schutten schepen kan voor drukke sluizen geoptimaliseerd worden met rekenprogramma's waarbij de doorstroming maximaal is en het gemiddelde oponthoud voor de schepen minimaal.

22.3 Kunststof sluisdeuren in de Spieringsluis

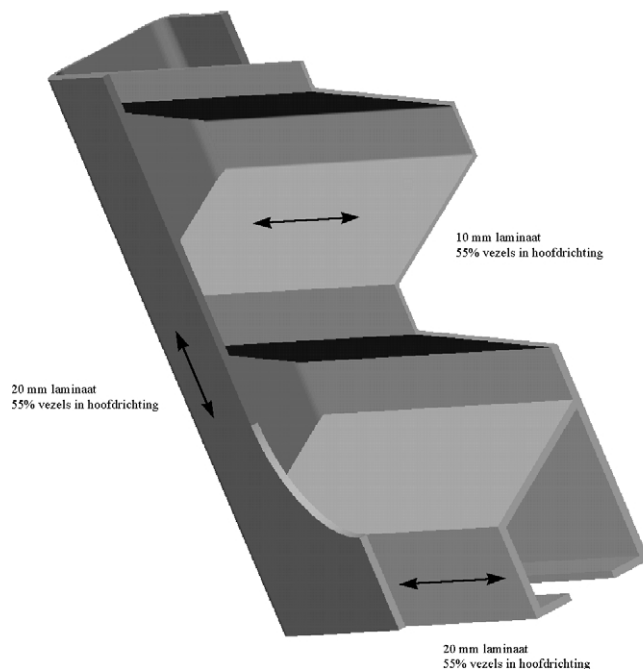
22.3.1 Omschrijving situatie en constructie

De Spieringsluis nabij Werkendam in de Biesbosch is een schutsluis met houten puntdeuren. De sluiskolk is 6 m breed en 45 m lang. Het maximum positieve verval is 1,30 m, het negatieve verval ca. 0,25 m. In deze sluis zijn in april 2000 kunststof sluisdeuren aangebracht met afmetingen van 6,7 x 3,7 x 0,37 m (hoogte x lengte x dikte). Zie foto's 22.1 en 22.2

Het ontwerp van de puntdeuren wordt enerzijds bepaald door de gebruikelijke belastingtoestand (het positieve verval) en anderzijds door het optreden van uitzonderlijke belastingen zoals het negatieve verval en - als bijzondere belasting - een object voor de drempel tijdens het sluiten. Deze belastingtoestanden stellen hun specifieke eisen aan de constructie.

De globale constructie in kunststof kan het beste gekarakteriseerd worden als een omgezette (corrugated) plaat die rondom is opgenomen in een rechthoekig frame (fig. 22.1 en 22.4). Bij positief verval is de deur aan de zijkanten opgelegd, waardoor de doorbuiging zich over de lengte van de deur afspeelt. De omzettingen van de plaat (corrugations) bepalen de buigstijfheid. Bij negatief verval zijn de deuren slechts op een paar discrete punten ondersteund en bepalen met name de voor- en achterhar en onder- en bovenregel de buigstijfheid.

De omringende civiele constructie bepaalt de constructiehoogte van de voor- en achterhar van maximaal 370 mm (= deurdikte). Hieruit volgt tevens de maximale constructiehoogte van de corrugated plaat. Het toepassen van verschillende laminaatdikten voor gordingen en lijfplaten en een verlopende dikte over de lengte van de deur leidt slechts tot een geringe gewichtsbesparing. Er wordt vanwege productietechnische eenvoud gekozen voor een constante dikte van de corrugated plaat. Een optimalisatie naar vervormingen/rekken leidt tot een gordingbreedte van 130 mm en een corrugation hoek van 60°. Het laminaat dat hierbij is toegepast heeft 55% vezels (zie par. 22.3.2) in lengterichting van de deur. De vereiste buigstijfheid leidt tot een laminaatdikte van 10 mm. De inwendige afrondingsstraal van alle hoeken bedraagt 10 mm (fig.22.3).

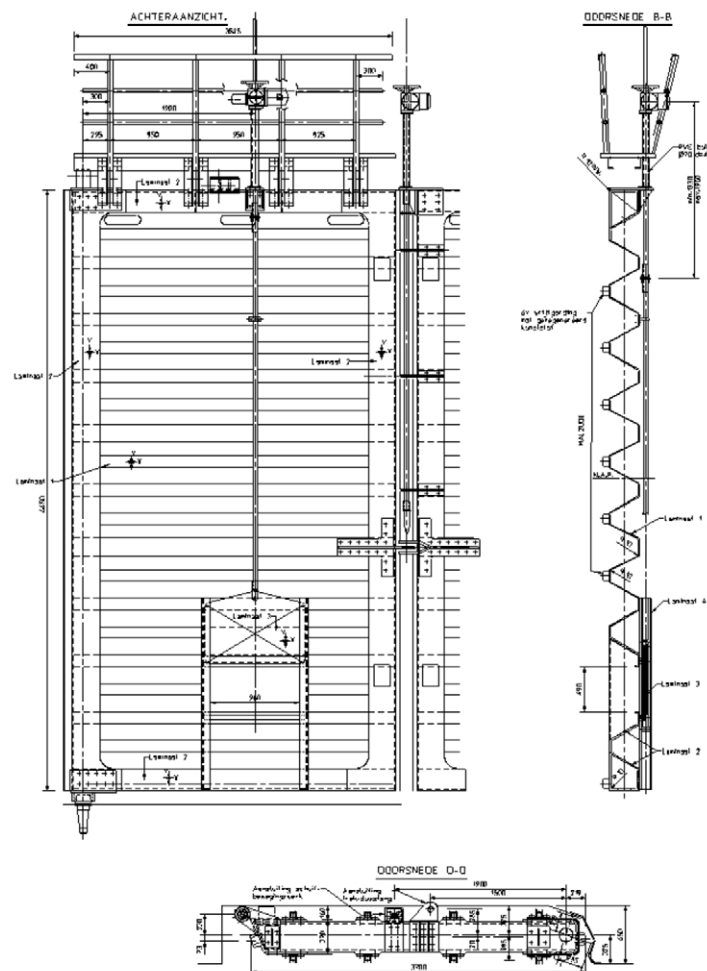


Figuur 22.3 Laminaathoofdrichtingen en dikten

De U-vormige voor- en achterhar worden om de corrugations verlijmd. Hier is een gelijke procentuele opbouw gehanteerd als bij de corrugations. De hoofdrichting met de hoogste stijfheid loopt in dit geval in de hoogterichting van de deur. De vereiste buigstijfheid leidt tot een dikte van 20 mm.

Voor de onder- en bovenregel is een gelijk laminaat toegepast als voor de voor- en achterhar, waarbij de hoofdrichting van het laminaat in de lengterichting van de deur ligt. De regels worden lokaal hoog belast door het bordes, de afdichting op de drempel en de schuifgeleidingen.

Voor de lijmverbinding van corrugations en harren wordt gebruik gemaakt van doosjes. De optredende spanningsoverdracht in de gordingen vereist een minimale lijmlaagdikte van 2 mm. Hierdoor komt een lamineerverbinding niet in aanmerking.



Figuur 22.4 Ontwerptekening van de deuren

22.3.2 Hars, versterkingsvezels en laminaatopbouw

Bij het bepalen van de verschillende laminaatopbouwen wordt gebruikgemaakt van een soort "15% regel": in elke richting waarin aanzienlijke spanningen optreden, dient minimaal 15% vezels te worden aangebracht. De waterbelasting op de deur veroorzaakt veelal een meerassige spanningstoestand, wat een redelijk gebalanceerde lay-up vereist. Bij het toepassen van de hiervoor genoemde regel voor een $0^\circ/90^\circ/+45^\circ/-45^\circ$ laminaat met rekken in alle vier de richtingen blijft in principe nog 40% (=100-4x15) vezels over om te optimaliseren. Voor de deuren wordt, met uitzondering van de schuifgeleiding, gebruikgemaakt van één type laminaat. De 40% vezels waarmee geoptimaliseerd kan worden, wordt hierbij in de hoogst belaste richting aangebracht. Voor de corrugated plaat is bijvoorbeeld in lengterichting van de deur 55% (=40+15) vezels aanwezig.

De keuze van materialen is zodanig dat aan de gestelde levensduur en onderhoudseisen kan worden voldaan. Voor het opbouwen van het laminaat wordt gebruik gemaakt van 800 grams E-glas legfels (mul-

tiaxiale versterking) met oriëntaties: UD, 0/90° en $\pm 45^\circ$. Er is gekozen voor legfels in plaats van weefsels in verband met de betere mechanische eigenschappen.

De toegepaste hars is een isohtaazure polyesterhars die bij uitstek geschikt is voor toepassing in constructies waarbij een goede bestandheid tegen een natte omgeving vereist is.

Aangezien gebruik wordt gemaakt van handlamineren voor de productie van de deur, wordt gerekend met een relatief laag vezelvolumepercentage van 32% (wat overeenkomt met een gewichtspercentage van 50%).

22.3.3 Breukcriterium

Om zo snel en eenvoudig mogelijk te kunnen ontwerpen, is gekozen voor het toepassen van één criterium, namelijk een rek criterium op laminaatniveau. Als karakteristieke waarde voor de breukrek van de laminaten wordt op basis van eerder onderzoek een waarde van 1,2% aangehouden. Op deze breukrek worden de materiaalfactoren verdisconteerd, wat bij een factor van 4,35 leidt tot een ontwerprek van 0,276%. Bij dit rekniveau zal het aantal wisselingen dat de deur ondergaat niet tot vermoeiingsschade leiden.

Bij het toepassen van dit criterium worden meerassige rekken niet gecombineerd. Enige voorwaarde voor dit criterium is dat voldaan moet worden aan de 15% regel zoals hiervoor reeds is toegelicht. Het criterium wordt zowel toegepast op trek en druk (door normaalkrachten en buiging) als op afschuiving.

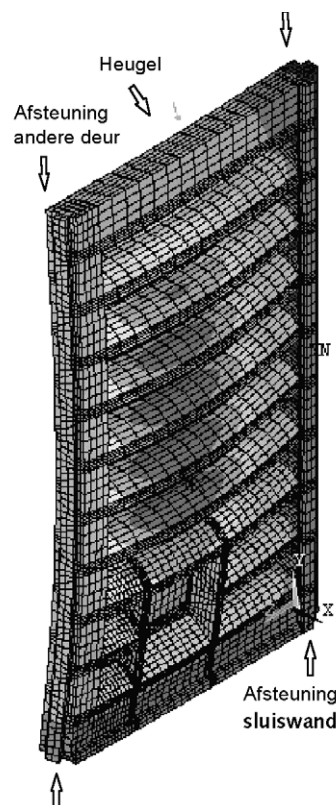
Het hier beschreven criterium is dan wel zeer eenvoudig te hanteren, maar is waarschijnlijk een te sterke vereenvoudiging van de werkelijkheid. Het gehanteerde rek criterium op laminaatniveau wordt daarom gecontroleerd met behulp van het maximale spanningscriterium op lamelniveau. Voor een opbouw uit UD lamellen worden voor elke lamel de volgende materiaaleigenschappen aangehouden:

$\sigma_{Lt} = 550 \text{ MPa}$ (trek/druksterkte in vezelrichting)

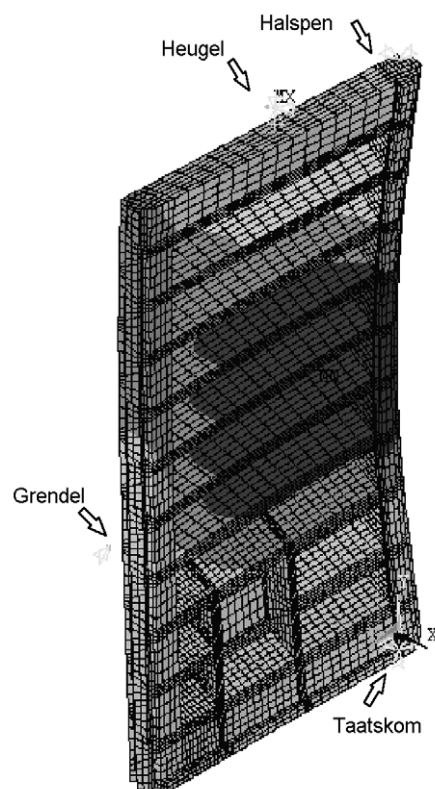
$\sigma_{Tt} = 28 \text{ MPa}$ (trek/druksterkte loodrecht op de vezelrichting)

$\tau_{Lt} = 25 \text{ MPa}$ (afschuifsterkte)

22.3.4 Globale vervormingen



Figuur 22.5 Doorbuiging bij positief verval



Figuur 22.6 Doorbuiging bij negatief verval

De maximale doorbuiging bij positief verval met een belastingfactor van 1,25 bedraagt 10,2 mm (fig. 22.5). Zonder belastingfactor en met een reductiefactor op de stijfheid van 2,05 wordt voldaan aan de doorbuigingseis van 1/200 van de deurlengte. Doordat de deuren bij positief verval aan beide zijden zijn opgelegd, speelt de doorbuiging zich met name af over de lengte van de deuren. De voorhar, de zijde waar de deuren tegen elkaar komen, vervormt ook gering over de hoogte.

De maximale doorbuiging bij negatief verval met een belastingfactor van 1,25 bedraagt 26,6 mm (fig. 22.6). Zonder belastingfactor en met een reductiefactor op de stijfheid van 1,65 wordt voldaan aan de doorbuigingseis van 1/200 deel van de hoogte. De plaatsing van de grendel is zodanig dat de doorbuiging en daardoor het lekverlies minimaal zijn.

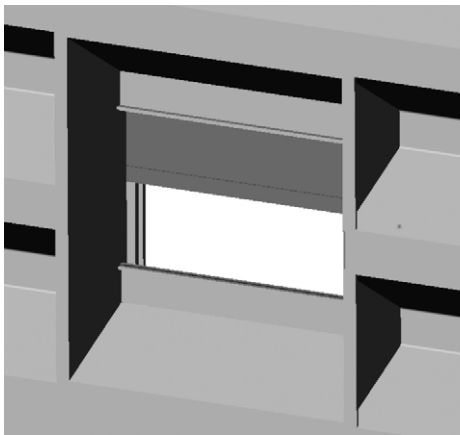
22.3.5 Constructiedetails

Krachtsoverdracht

Op een aantal punten in de constructie moeten hoge lokale krachten worden overgedragen. Het is mogelijk dit te doen met een volledige composietconstructie, maar dit zou onvermijdelijk tot zeer hoge kosten leiden. Daarom is gekozen voor het aanbrengen van RVS beslagen (kwaliteit A4 klasse 316L) op de composietconstructie om deze krachten in te leiden en over te dragen. Er worden dus extra constructiedelen geïntroduceerd die met elkaar verbonden moeten worden. Voor het verbinden van de staal en het composiet is gekozen voor een gecombineerde bout-lijmverbinding en voor krachtdoorleiding op wrijving.

Op het contactvlak is een vullende lijm aangebracht. Deze lijm dient slechts als vulpasta voor het goed op elkaar kunnen aanbrengen van de verbindingdelen. Gebruik wordt gemaakt van voorspanbouten waarbij de belasting door wrijving op het contactvlak wordt overgebracht. De verbinding is ontworpen als wrijfverbinding, waarbij ook de lijmverbinding zodanig gedimensioneerd is dat deze gedurende een groot deel van de levensduur zal dragen.

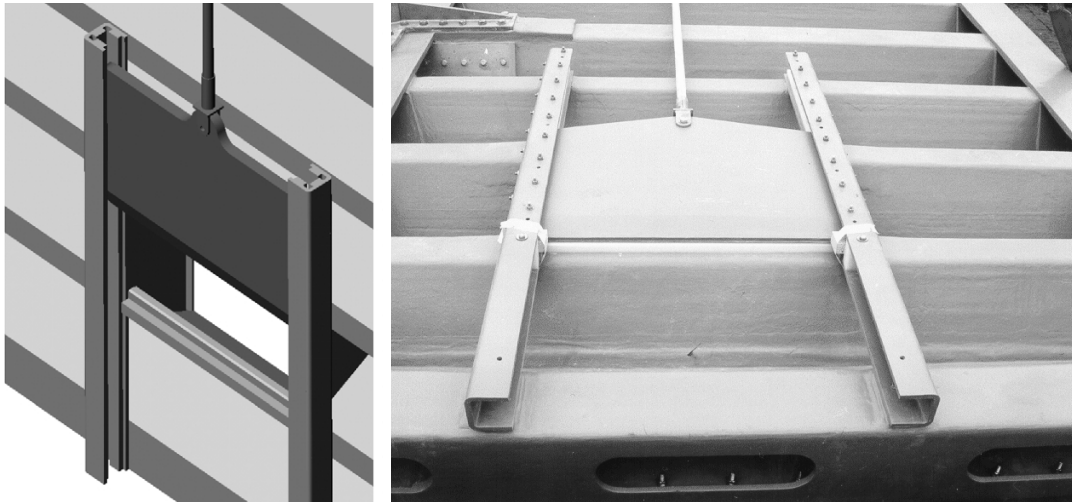
Schuifopening en schuif



Figuur 22.7 Schuifopening

De plaatsing van de schuifopening is zodanig dat slechts een enkele corrugation onderbroken wordt (fig. 22.7). De hoogte van de schuif ligt hierdoor grotendeels vast. De breedte is zodanig gekozen dat de opening gelijk is aan de opening bij de houten deuren. De constructie is aan de zijkanten van de schuif versterkt met behulp van ribben. Aan de boven- en onderkant van de schuifopening zijn de vrije plaatinden omgezet. De schuif is in verband met eenvoud en robuustheid als massieve plaat uitgevoerd. Aan de onderzijde is in verband met de stroming onder de schuif een afschuining aangebracht.

Schuifgeleiding en aandrijfstang



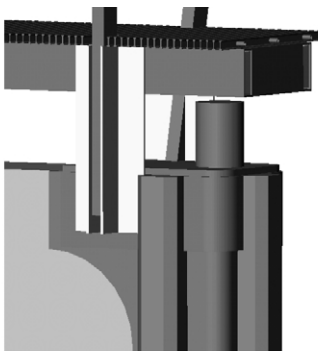
Figuur 22.8. De schuifgeleiding en aandrijfstang

De vereiste geometrie van de C-vormige schuifgeleidingen is niet beschikbaar als standaard pultrusieprofiel. Er is dan ook gekozen voor een handgelamineerd profiel (fig. 22.8). Hiervoor wordt gebruikgemaakt van een epoxy- in plaats van een polyesterhars in verband met de vereiste maatvastheid. De grotere krimp van polyester zou voor dit niet volledig symmetrische profiel tot een getordeerd/gebogen product kunnen leiden. De geleidingen zijn met behulp van boutverbindingen aan de deur bevestigd.

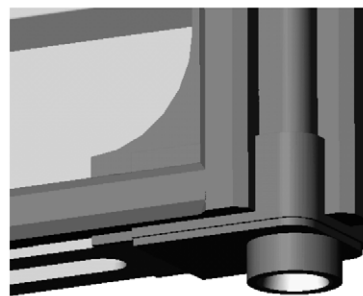
Als duurzame en slijtvaste materiaalcombinatie voor de glijvlakken van de schuifgeleiding is gekozen voor de combinatie RVS-UHMPE. De RVS vlakken zijn verlijmd op de schuif en de UHMPE blokken zijn met bouten (PE is moeilijk te verlijmen) op de geleidingen bevestigd.

De aandrijfstang van de schuif is uitgevoerd als dunwandig pultrusieprofiel. Deze aandrijfstang wordt met de schuif en de spindel verbonden met behulp van verlijmd RVS beslagen. De stang loopt door een PE geleiding die met bouten op de deur is bevestigd.

Taatskom en halspen



Figuur 22.9 Halspen



Figuur 22.10 Taatskom

De taatskom die om de taatspen draait (fig. 22.10) en de halspen die binnen de halsbeugel draait (fig. 22.9) vormen de draaipunten van een deur. De bestaande taatspen en halsbeugel blijven gehandhaafd, zodat alleen de op de deur verbonden delen vervangen worden.

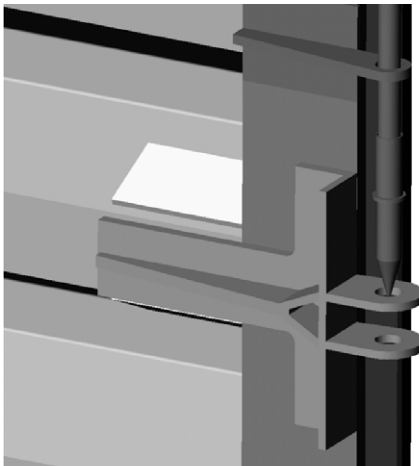
De verticale reactie als gevolg van het gewicht van de deur en de bordesbelasting, wordt volledig door de taats opgenomen. Het gewicht van de deur is zodanig dat deze door de opwaartse waterkracht niet zal opdrijven.

De stalen beslagen die zijn gebruikt om deze lokale krachten in te leiden in de composietconstructie, hebben een ongeveer gelijke uitvoering als bij houten deuren. Ze zijn uitgevoerd als RVS schoenen die om de composietconstructie worden geschoven. De geringe vrije ruimte bij het openen van de deur heeft

geleid tot het aanbrengen van een afronding in het beslag. Aan de binnenzijde van boven- en onderregel zijn stalen contrabeslagen aangebracht. De belastingoverdracht heeft plaats met behulp van een gecombineerde bout-lijm verbinding.

In verband met corrosie en slijtage is gekozen voor het toepassen van de duurzame en slijtvaste materiaalcombinatie Feroform-RVS. Feroform is een glasvezelversterkte kunststof met een fenol hars. Bij de taats is het materiaal aan de binnenzijde van de kom aangebracht. Hierbij is gebruikgemaakt van een standaard leverbaar cilindrisch deel en een plaatdeel. Bij de halspen/halsbeugel is gekozen voor het vervangen van de bronzen voering in de halsbeugel door een Feroform voering.

Grendel



Figuur 22.11 Grendelbeslag

De grendel wordt gebruikt voor het vergrendelen van de puntdeuren (fig. 22.11) zodat negatief verval niet tot het openen van de deuren of een ongewenste belasting op het bewegingswerk leidt. De grendelpen en stang worden bewogen met behulp van een mechanische spindelaandrijving.

De grendelbeslagen zijn op ongeveer gelijke wijze uitgevoerd als de beslagen bij houten deuren. Op de ene deur is een beslag aangebracht met een enkele lijfplaat en op de andere deur met een dubbele lijfplaat. De verbinding wordt gerealiseerd door een stalen pen door de in de lijfplaten aangebrachte gaten te schuiven.

Naast een belasting in het vlak van de deur veroorzaakt de grendelkracht ook een belasting loodrecht op het vlak van de deur. Om deze loodrechte belasting op te kunnen nemen is een contrabeslag aangebracht dat met de lijfplaten van de corrugation is verbonden. Indien de deuren niet volledig juist zijn gesloten, kan het aanbrengen van de grendelpen tot een verticale belasting op het beslag leiden. Om deze belasting te kunnen opnemen is ook over de hoogte van het beslag een rij bouten aangebracht.

Aanslagen, afdichtingen en wrijfbalken

Op de voor- en achterhar moeten balken worden aangebracht die als aanslag en (bij positief verval) als afdichting functioneren. De balk op de onderregel verzorgt de afdichting tegen de drempel.

Bij het installeren van de deuren moet de constructie op de bouwlocatie passend gemaakt kunnen worden. Bij houten deuren gebeurt dit eenvoudig met behulp van schaven. Bij de composiet deuren dienen afdichtingen te worden aangebracht die het mogelijk maken om de deur op dergelijke wijze te bewerken.

Als mogelijke materialen is zowel gekeken naar hout als kunststof (PE). Kunststof afdichtingen passen vanzelfsprekend beter binnen het concept van een composietdeur. De stijfheid van de houten afdichtingen is relatief hoog, waardoor deze veel belasting zouden opnemen. Dit zou echter tot te hoge spanningen in de verbinding leiden. Gekozen is voor recycled PE afdichtingen. De aanslagen zijn met behulp van bouten aan de composietconstructie bevestigd.

Op 6 corrugations zijn re-PE wrijfbalken aangebracht om de constructie te beschermen tegen langschampende schepen. De balken zijn met boutverbindingen aan de deur bevestigd.

22.3.6 Nabeschouwing van het ontwerp

Programma van eisen

Dat het hier een vezelversterkte kunststof deur betreft is in het programma van eisen slechts terug te vinden in het feit dat er expliciete (relatief soepele) doorbuigingseisen zijn opgenomen. De deur voldoet verder aan dezelfde eisen als een gelijke deur uitgevoerd in hout of staal.

Laminaatopbouw en breukcriterium

De gekozen filosofie voor het bepalen van een laminaatopbouw en het gehanteerde rekriterium hebben geleid tot een vereenvoudiging van het ontwerpproces. Betere normering op dit gebied zou echter nog tot een grotere efficiëntie kunnen leiden.

Ontwerp op hoofdlijnen

De geringe grootte van de deuren en de geringe belasting maken de Spieringsluis tot een goed proefproject voor het toepassen van vezelversterkte kunststoffen. Grotere afmetingen en een grotere belasting (met name negatief verval) zouden tot een aanzienlijk zwaardere en mogelijk minder haalbare constructie leiden.

Aangezien het hier een vervanging van deuren betrof, zijn specifieke eisen aan de constructie gesteld. Voor een nieuwbouwproject had een grotere vrijheid op dit gebied mogelijk ook tot een efficiëntere constructie geleid.

Ontwerp van details en verbindingen

Het ontwerp van constructieve details, rekening houdend met produceerbaarheid en krachtsoverdracht, vraagt bij composietconstructies over het algemeen veel inspanning. Zo ook bijvoorbeeld het ontwerp van de schuif en de schuifopening.

De keuze van stalen beslagen voor het inleiden van relatief hoge belastingen is een juiste geweest. De optimale verbindingsmethode (lijmen, bouten of een combinatie) bij dit type constructies vereist nog nadere aandacht.

22.4 Ontwerpproces

22.4.1 Ontwerpfilosofie Bouwdienst

Inleiding

In het ontwerpproces wordt op basis van een aantal functionele eisen een conceptueel model gerealiseerd van het te realiseren kunstwerk. Het model wordt vastgelegd door middel van omschrijvingen, berekeningen en tekeningen. In het laatste deel van het ontwerpproces wordt dit model veelal tot in detail uitgewerkt met een bestek als eindproduct.

In het ontwerpproces wordt gebruikgemaakt van veel hulpmiddelen. Deze hulpmiddelen variëren van complexe rekenmodellen en harde randvoorwaarden tot eenvoudige vuistregels. Veel randvoorwaarden zijn vastgelegd door regelgeving waarvan een deel een bindend, wettelijk karakter heeft. Een ander deel is niet wettelijk vastgelegd maar heeft een bindend beleidskarakter, terwijl een derde deel bestaat uit regels en gewoonten binnen de ontwerpdienst. Het overgrote deel van de regelgeving is toetsend. Het zorgt ervoor dat het ontwerp voldoet aan veiligheid, betrouwbaarheid enz.

Bij het ontwerpen van hydraulische kunstwerken zoals bij schutsluizen, schiet de regelgeving tekort en moet de Bouwdienst Rijkswaterstaat zelf regels opstellen die ervoor zorgen dat aan de algemene eisen wordt voldaan. Daarom is bij de Bouwdienst een ontwerpfilosofie opgesteld die het mogelijk maakt deze regels objectief vast te stellen. Maar ontwerpen is meer dan alleen voldoen aan de randvoorwaarden. Een ontwerpfilosofie beantwoordt ook de vraag naar welk doel de ontwerper streeft. Zie Lit. [22.5], Ontwerpfilosofie Bouwdienst.

Ontwerpfilosofie

"Optimaal ontwerpen" is de beoogde ontwerpfilosofie van de Bouwdienst. Met een "optimaal ontwerp" krijgt de opdrachtgever de beste waar voor zijn geld. Hierin liggen de twee belangrijkste elementen van de ontwerpfilosofie besloten:

- 1 *Het ontwerp voldoet zo goed mogelijk aan de gestelde functionele eisen en aan het economisch optimum, met inachtneming van de maatschappelijke verantwoordelijkheid en de in acht te nemen randvoorwaarden.*

Onder het economisch optimum wordt verstaan:

- 2 *Een kunstwerk is economisch optimaal ontworpen indien het tenminste aan de gestelde eisen voldoet en indien de toegevoegde waarde, het nut, voor de maatschappij maximaal is. Het nut kan worden uitgedrukt in de gekapitaliseerde baten minus de som van de stichtingskosten en de verdisconteerde verwachte kosten.*

De verwachte kosten behelzen de inspectie-, reparatie-, onderhouds- en exploitatiekosten, inclusief de bijbehorende maatschappelijke kosten, die noodzakelijk zijn om gedurende de totale geplande levensduur aan de gestelde eisen te blijven voldoen, alsmede de kosten van sloop na de gebruiksfase. De begrippen kosten en baten moeten overigens ruim opgevat worden en kunnen niet altijd in geld worden uitgedrukt, zoals bij milieu en vormgeving.

In de regel kan ervan uitgaan worden dat voordat het ontwerpproces start, de eerste afweging tussen kosten en maatschappelijke baten reeds is gemaakt als resultaat van een verkenningsfase. De keuze omtrent de wenselijkheid van het kunstwerk is vrijwel altijd een politieke keuze. De functionele eisen aan het te ontwerpen kunstwerk zijn een afspiegeling van deze besluitvorming. Toch kan het ontwerpproces niet altijd beperkt blijven tot het optimaliseren binnen deze functionele eisen. Als het te bouwen kunstwerk deel uitmaakt van een groter systeem, kunnen deze functionele eisen nader worden bezien. Als voorbeeld kan het ontwerp van een schutsluis in een scheepvaartroute genoemd worden.

Voor een optimaal ontwerp is creativiteit en innovatief denken noodzakelijk. Daarnaast worden randvoorwaarden aan het ontwerp gesteld zoals wettelijke randvoorwaarden op het gebied van veiligheid. Deze randvoorwaarden spelen vaak een dominante rol in de ontwerppraktijk.

Verwachte kosten

Het economisch optimum omvat niet alleen de stichtingskosten maar beschouwt de gehele levenscyclus van het kunstwerk, ook wel life-cycle costing genoemd.

Het kunstwerk wordt ontworpen voor de gestelde levensduur die door de opdrachtgever is bepaald. Het onderhoud (inspectie, reparatie, vervanging) dat gedurende de levensduur moet worden verricht, wordt begroot en verdisconteerd. De sloopkosten worden eveneens verdisconteerd. Indien de kans op falen groot is worden ook hiervan de consequenties getaxeerd. Het verdisconteren van toekomstige kosten gebeurt met een algemeen geaccepteerd rentepercentage. Deze werkwijze betekent dat al in het ontwerpproces beheer- en onderhoudsplannen worden opgesteld.

Rekening houden met kosten voor de toekomst betekent verder dat voor onderdelen van het kunstwerk die relatief veel onderhoud vergen (bijvoorbeeld bewegingswerken en installaties), het rendabel is deze gemakkelijk onderhoudbaar en gebruiksvriendelijk te ontwerpen. Het streven om duurzaam te bouwen kan ook beschouwd worden vanuit de gedachte om toekomstige (milieu-)kosten in rekening te brengen.

Niet-beschikbaarheid

Voor bepaalde onderdelen van het kunstwerk zoals sluisdeuren, bewegingswerken en de installatie, is het onrendabel - zo niet onmogelijk - deze zo te ontwerpen dat gedurende de gehele levensduur aan alle functionele eisen wordt voldaan. Deze onderdelen moeten zo nu en dan uit bedrijf worden genomen. De mate waarin dat acceptabel is wordt weer door het economisch optimum bepaald. Naast de onderhoudskosten worden alle kosten die gemoeid zijn met het tijdelijk niet functioneren geschat en verdisconteerd. Te denken valt aan stremmingskosten, kosten van alternatief transport of alternatieve routes enz. Dit worden vaak maatschappelijke kosten genoemd. Belangrijk uitgangspunt is dat het niet van belang is wie de kosten betaalt. Alle kosten worden macro-economisch beschouwd.

Voor schutsluizen heeft dit tijdelijk niet functioneren geleid tot een formulering van het optimale percentage niet-beschikbaarheid, afhankelijk van de diverse parameters. In voorkomende gevallen wordt dit percentage niet-beschikbaarheid gehanteerd als randvoorwaarde.

Faalmechanismen

Voor het in rekening brengen van de kosten die gepaard gaan met het niet functioneren dienen alle manieren waarop de sluis niet kan functioneren bij de ontwerper bekend te zijn. Hierbij moet expliciet de vraag gesteld worden of afwijkende belastingen of bijzondere materiaalfenomenen ook niet tot een faalmechanisme leiden.

Trendanalyse

Bij nogal wat ontwerpen is sprake van belastingen waarvan de gemiddelde waarde verandert in de tijd, met name zal toenemen. Bij belasting moet gedacht worden aan bijvoorbeeld de toename van de gemiddelde zeewaterstand, toename van de scheepvaart op een vaarweg enz. Indien de gemiddelde belasting groter wordt moet een trendanalyse uitgevoerd worden. Door middel van historische gegevens en expertmeningen zal een schatting gemaakt worden gedurende de geplande levensduur, zo nodig met een veiligheidsfactor of, in probabilistische termen, met een gemiddelde en een betrouwbaarheidsmarge daaromheen. Indien veiligheid een dominante randvoorwaarde is, wordt ontworpen op het laatste jaar van de geplande levensduur.

Invloed opdrachtgever

Het ontwerpproces is zodanig ingericht dat het ontwerp tegen minimale kosten voldoet aan de functionele eisen. De functionele eisen worden samen met de opdrachtgever opgesteld. In het proces om te komen tot het optimale ontwerp heeft de opdrachtgever het laatste woord. Indien de opdrachtgever een ontwerp verlangt dat niet optimaal is, zal het ontwerp daarop worden aangepast tenzij wettelijke veiligheidseisen geweld worden aangedaan.

Randvoorwaarden aan het ontwerp

Nationale regelgeving stelt voorwaarden aan het ontwerp. De belangrijkste daarvan zijn de wetten die de veiligheid waarborgen. Daarnaast zijn er wettelijke randvoorwaarden die het milieu ontzien. Europese regelgeving neemt meer en meer de plaats in van de huidige nationale regelgeving.

Met betrekking tot de veiligheid van de bouwwerken kunnen het Bouwbesluit en de Wet op de Waterkering genoemd worden. Het Bouwbesluit stelt eisen aan de constructieve veiligheid en de Wet op de Waterkering stelt eisen aan het waterkerend vermogen van het kunstwerk.

Bij het Bouwbesluit is dat de TGB-serie (Technische grondslagen voor bouwconstructies) met als algemene basiseis dat bouwconstructies moeten voldoen aan een, vooraf vastgestelde, mate van betrouwbaarheid, gedurende een vooraf gestelde referentieperiode. De mate van betrouwbaarheid en bruikbaarheid wordt uitgedrukt in een kans dat de uiterste grenstoestand of de bruikbaarheidsgrenstoestand wordt overschreden.

In de Wet op de Waterkering met de TAW-leidraden (Technische Adviescommissie Waterkeringen) worden de waterkerende hoogte en de toelaatbare faalkans van het kunstwerk bepaald (zie ook par. 2.3.2 en 4.5).

Andere eisen betreffen gebruiks- en brandveiligheid, alsmede de gezondheid. Verder zijn er juridische randvoorwaarden (o.a. Bouwstoffenbesluit, Wet milieubeheer, Wet bodembescherming, Wet verontreiniging oppervlaktewateren, Wet geluidshinder, Grondwaterwet en Milieu-Effect Rapportages, zie ook par. 2.8).

Vigerend beleid

Bij het ontwerpen moet rekening worden gehouden met het vigerende overheidsbeleid. Op dit moment zijn dat Duurzaam Bouwen (DuBo), Structuurschema Verkeer en Vervoer II (SVV II), Duurzaam Veilig Bouwen en Risico-Normering Vervoer Gevaarlijke Stoffen (RNVGS). Vooral duurzaam bouwen heeft invloed op het ontwerpproces. Bij duurzaam bouwen (par. 22.4.3) zijn vier thema's van belang: grondstoffengebruik, energie, afval en vormgeving / ruimtegebruik. Het doel is infrastructuur te realiseren die niet alleen qua ontwerp en realisatie voldoet aan de kwalificaties van duurzaam bouwen maar ook in de periode van gebruik en sloop.

Verder hanteert de Bouwdienst een eigen vormgevingsbeleid, wat eruit bestaat dat voor beeldbepalende objecten in een zo vroeg mogelijk stadium een vormgevingsadvies gevraagd wordt aan een gerenommeerd architect.

Prioriteit

In het voorgaande zijn veel aspecten van het ontwerpproces genoemd. Het is denkbaar dat sommige aspecten strijdig zijn in één ontwerp. De hoogste prioriteit hebben de veiligheidsrandvoorwaarden en de overige wettelijke randvoorwaarden. Daarna komt de uitdrukkelijke wens van de opdrachtgever waarin ook de functionele eisen zijn vervat. Vervolgens volgt het vigerende nationale beleid en als laatste het eigen beleid van de Bouwdienst.

Voorbeeld

Een sluis werd tot nu toe ontworpen naar de gestelde eisen ten aanzien van constructieve en waterkerende veiligheid tegen zo laag mogelijke stichtingskosten. Tegenwoordig stelt de opdrachtgever een aantal functies vast waar de sluis tegelijkertijd aan moet voldoen en hij verwacht een ontwerp met een economisch optimum over de gehele levensduur. Naast de waterkerende functie zijn er functies als schutten, peilbeheer en oeververbinding. Voor de laatstgenoemde functies ontbreekt het tot nu toe aan een compleet stelsel betrouwbaarheidseisen dat op integrale wijze meegenomen kan worden in het ontwerpproces. In par. 22.5 wordt een voorbeeld gegeven van het ontwerpproces van een sluis volgens de hier gepresenteerde ontwerpfilosofie.

22.4.2 Beheer- en onderhoudsplannen

Inleiding

Een Beheer- en Onderhoudsplan (B&O-plan) is een document dat de noodzakelijke informatie bevat voor het beheren en in stand houden van een constructie (par.19.5). Het plan wordt voor nieuwe kunstwerken opgesteld tijdens het ontwerpproces en voor bestaande kunstwerken bij reconstructieplannen. Vooral bij complexe kunstwerken - zoals een schutsluis - is het van belang met behulp van een B&O-plan invloed op het ontwerp uit te oefenen en daarmee het onderhoud aan het kunstwerk te vereenvoudigen. Het belangrijkste onderdeel van het plan is het Instandhoudingsplan. De bijlagen van het B&O-plan

fungeren als informatiebron en om de inspectie- en onderhoudsplanning in het Instandhoudingsplan te onderbouwen. Bij standaard kunstwerken of bestaande kunstwerken is een compleet B&O-plan meestal niet nodig en kan volstaan worden met het schrijven van een Instandhoudingsplan (IHP).

Voor de bij Rijkswaterstaat in beheer zijnde infrastructuur is een nieuwe onderhoudssystematiek gewenst waarmee de noodzaak van onderhoud wordt aangetoond. De geplande maatregelen moeten onderbouwd worden door een analyse van het verouderingsgedrag van materialen en constructies. Voor deze nieuwe manier van onderhouden, gebaseerd op functioneel onderhoud, is het voorspellende karakter van de inspecties van belang. Om het toekomstige onderhoud van de infrastructuur zo goed mogelijk te voorspellen, zijn in de periode 1995-1999 door de Bouwdienst binnen het Project Bureau Kunstwerken (PBOK) diverse instrumenten ontwikkeld die het Beheer en Onderhoud ondersteunen. In de Documentatiemap Beheer- en Onderhoudssystematiek voor Kunstwerken (Lit. [22.23]) is een Leidraad Instandhoudingsplannen opgenomen.

10-stappenplan

Voor de natte infrastructuur onder beheer van Rijkswaterstaat, zoals opgesteld in het Beheersplan Nat (BPN), wordt uitgegaan van een 10-stappenplan. De 10 stappen in het Beheersplan zijn:

Naar een functionele indeling:

- Stap 1: Verdeel het watersysteem in watersysteemdelen met homogene functies
- Stap 2: Verdeel het watersysteemdeel in homogene beheersobjecten

Naar streefbeeld (doelen) en functie-eisen:

- Stap 3: Bepaal vanuit een integrale benadering van alle functies het streefbeeld per functie
- Stap 4: Bepaal per beheersobject de functie-eisen

Op weg naar het streefbeeld (aanleg, herstel):

- Stap 5: Vergelijk de huidige situatie met het streefbeeld en bepaal de benodigde maatregelen om de streefbeelden te bereiken, en definieer mijlpalen op het traject er naar toe

Instandhouden van de streefbeelden:

- Stap 6: Maak een systeemanalyse van het beheersobject en bepaal per onderdeel de kritieke onderdelen
- Stap 7: Bepaal het interventie-niveau
- Stap 8: Ga na wat de invloed is van vast onderhoud op de levensduur van kritieke onderdelen
- Stap 9: Formuleer de inspectie- en onderhoudsstrategie voor de onderdelen van het object
- Stap 10: Formuleer het onderhouds- en inspectieplan voor het object (incl. interventiejaren)

Het beheersobject is bijvoorbeeld een schutsluis. De basis voor de nieuwe onderhoudssystematiek voor bestaande kunstwerken wordt gevormd door de stappen 6 t/m 10, dat wil zeggen het instandhouden van de streefbeelden.

Opm. Met interventieniveau wordt dat niveau bedoeld waarop moet worden ingegrepen omdat de kans op functieverlies een van tevoren vastgestelde waarde heeft bereikt.

Instandhoudingsplannen

De kernvraag is: "Hoe kan een kunstwerk - zoals de schutsluis - aan de gestelde functionele eisen blijven voldoen?". Het antwoord luidt: "Door op een onderbouwde manier onderhoud te plegen". Voor een nieuw gebouwd complex kunstwerk wordt een compleet B&O-plan geschreven. Als onderdeel van dit plan of voor een bestaand of standaard kunstwerk, is een Instandhoudingsplan nodig. Het Instandhoudingsplan is een instrument waarin het beheer en onderhoud van een kunstwerk is vastgelegd en het plan wordt voortdurend bijgesteld. Op grond van informatie uit het Instandhoudingsplan doet de beheerder van een kunstwerk een begrotingsaanvraag om het onderhoud te kunnen bekostigen.

Een Instandhoudingsplan bestaat uit een verzameling onderbouwde onderhouds- en inspectiemaatregelen voor een kunstwerk in een vooraf gestelde periode met bijbehorende kosten. De in de documentatiemap Beheer- en Onderhoudssystematiek opgenomen Leidraad Instandhoudingsplannen (Lit. [22.23]) beschrijft hoe een instandhoudingsplan tot stand komt met gebruikmaking van diverse zaken zoals hulpmiddelen, referentiedocumenten en inspecties.

Om eenduidige instandhoudingsplannen te kunnen maken zijn *hulpmiddelen* beschikbaar:

- Standaard-decomposities worden gebruikt om een kunstwerk op te delen in onderdelen waarop verschillende onderhoudsmaatregelen van toepassing zijn;
- De standaarduitgangspuntenlijst is een lijst waarin informatie staat over onderhouds-, inspectie- en vervangingsmaatregelen;
- Rekenmodellen worden toegepast om een optimaal onderhoudsinterval te bepalen. Deze modellen betreffen een onderhoudsmodel ter bepaling van interventieniveaus, een levensduurmodel, een conditiemodel en een simulatiemodel voor levensduurverlengend onderhoud.

Laatstgenoemd model voor levensduurverlengend onderhoud, kan behulpzaam zijn bij de volgende vragen:

- Kan het ontwerp beter overgedimensioneerd worden voor een langere duurzaamheid of is meer technisch onderhoud economisch voordeliger;
- Wat is het optimale onderhoudsinterval voor een bepaald onderdeel;
- Hoe gevoelig is het kostenplaatje bij uitstel van onderhoud.

In de *referentiedocumenten* zijn gegevens opgenomen die het mogelijk maken op grond van de waargenomen toestand van een kunstwerk, een voorspelling te doen over het tijdstip en de omvang van de benodigde onderhouds- en inspectiemaatregelen. De documenten bevatten een visie aangaande onderhoud en inspectie van de toegepaste materialen, van een onderdeel van het kunstwerk of van een bij een kunstwerk behorende installatie. Voor de verschillende technische disciplines en materialen (beton-, metselwerk-, staal- en houtconstructies, hydraulische en mechanische aandrijvingen, energielevering enz.) zijn referentiedocumenten beschikbaar.

Het gedeelte *inspecties* bevat documenten over inspectiebeleid en inspectievormen. De inspecties moeten nu het onderhoud kunnen voorspellen, terwijl voorheen alleen schade werd geregistreerd. Van belang zijn de keuze tussen de mogelijke inspectievormen (Nulinspectie, Totaal Technische Inspectie, Gerichte Technische Inspectie en Functioneringsinspectie) en de logische planning ervan. Afhankelijk van de gekozen onderhoudsstrategie (Storings-, Gebruiksduur- of Toestands-Afhankelijk Onderhoud) zijn bepaalde inspecties van toepassing.

22.4.3 Duurzaam bouwen

Algemeen

Duurzame ontwikkeling richt zich in hoofdzaak op een ontwikkeling die voorziet in de behoeften van de huidige generatie zonder door diens handelen voor toekomstige generaties de mogelijkheid in gevaar te brengen eveneens in hun behoeften te voorzien. Mede uit zulke gedachten is in 1991 het Nationaal Milieubeleidsplan Plus (NMP+) opgesteld. Het begrip "Duurzaam Bouwen" wordt hierin als belangrijk item genoemd. Als vervolg hierop heeft Rijkswaterstaat duurzaam bouwen in de eigen beleidsvisie opgenomen.

Duurzaam bouwen betekent aandacht en zorg voor het milieu en ruimte in alle fasen van het bouwproces. Het is daarmee een vorm van werken aan kwaliteitsverbetering van bouwprojecten en een middel om het milieuaspect in alle fasen in de grond-, weg- en waterbouw te integreren. Door niet automatisch te kiezen voor standaardoplossingen, maar creatief na te denken, komen duurzamere oplossingen naar voren waarmee uiteindelijk een verantwoord product tot stand komt. Het project kan in veel gevallen duurzamer, kwalitatief beter, milieuvriendelijker en goedkoper worden en soms een langere levensduur verkrijgen.

Duurzaam bouwen richt zich bij Rijkswaterstaat vooral op vier thema's. Het zijn:

1. duurzaam gebruik van grondstoffen
2. verminderen van de afvalstroom
3. beperken van het energieverbruik
4. extra aandacht voor vormgeving en ruimtegebruik van de infrastructuur.

De thema's met de daaraan gekoppelde doelstellingen staan in het rapport "Leidraad duurzaam bouwen", 1997 ([Lit. 22.17]). Voorbeelden van duurzaam bouwen staan in het boek "Bouwen met meerwaarde", 1999 (Lit. [22.18]).

Voor bouwgrondstoffen zijn de doelstellingen er zo zuinig mogelijk mee omgaan, het bevorderen van hergebruik van grondstoffen en het toepassen van vernieuwbare grondstoffen, naast het vermijden van materialen met ernstige milieueffecten. Voor het thema afval zijn de taakstellingen preventie van afvalstoffen, selectief slopen, verantwoord afvoeren van afvalstoffen en hergebruik van bouw- en sloopafval. Wat betreft energie wordt gestreefd naar energiezuinig ontwerpen en energiebesparing bij realisatie van het bouwwerk. Het thema vormgeving en ruimte betreft beperking van het ruimtegebruik, een goede landschappelijke inpassing, behoud van toekomstpotentie, beperken van effecten op de omgeving en natuurvriendelijk ontwerpen.

Binnen elke fase van het project behoort een invulling gegeven te worden aan de zorg voor milieu, natuur en landschap. Deze fasen worden benoemd als de verkenningsfase (incl. nut en noodzaak), de planfase (initiatie en definitie project), de ontwerpfase (voorontwerp en ontwerp), de voorbereidingsfase (incl. bestek), de realisatiefase (bouw), de gebruiks- & beheerfase en de sloopfase. In de verkennings- en planfasen wordt de basis voor het duurzaamheidsgehalte van het project gelegd, in de verdere fasen van het project worden de zaken steeds concreter ingevuld.

Voorbeeld Tweede sluis Lith

Voor de bouw van de Tweede schutsluis te Lith (par. 23.2 en Lit. [22.22]) is gestructureerd inhoud gegeven aan het begrip Duurzaam bouwen. Daarbij zijn alle disciplines betrokken geweest in diverse fasen van het project. Er zijn afwegingen gemaakt tussen functionaliteit, economie, milieu en natuur en landschap. Een overzicht van de voornaamste maatregelen, gerangschikt naar de vier thema's, ziet er als volgt uit.

- Gebruik grondstoffen

Voor het *besparen van hoeveelheden primaire grondstoffen* is gestreefd naar beperkte afmetingen en het gebruik van hoogwaardige materialen. Bij de betonconstructies is puingranulaat in het beton toegepast. Voor het onderwaterbeton is fijn zand in plaats van betonzand gebruikt.

Wat betreft het *gebruik van secundaire grondstoffen* is de verontreinigde baggerspecie uit de voorhavens gereinigd, waarna het afgescheiden zand (cat. 1) elders is hergebruikt.

- Afval

Vanwege de *preventie van afvalstoffen* wordt het conserveren van de staalconstructies beperkt. Voor de sluisdeuren is een conserveringssysteem toegepast waarbij onderhoud beperkt blijft tot eenmaal in de 15 jaar en er wordt uitgegaan van oplosmiddelarme producten. Voor de remmingwerken is uitgegaan van het eenmalig aanbrengen van een conservering tijdens de fabricage. Onderhoud behoeft niet plaats te vinden. Gerekend is met een bepaalde levensduur van de conservering waarna afroesting mag plaatsvinden. Damwanden en remmingwerken zijn zo gedimensioneerd dat deze in principe onbehandeld mogen blijven (afroesting mag optreden), mits de functionaliteit gewaarborgd blijft gedurende de gehele levensduur. Draaipunten van deuren zijn onderhoudsvrij gemaakt zonder toepassing van vet of olie. Voor de hydraulische installatie wordt afbreekbare olie gebruikt. De voorhavens zijn zo vormgegeven dat in de toekomst een minimale slibafzetting plaatsvindt.

Wat betreft *hergebruik* is het hardhout van de oorspronkelijk aanwezige meerstoelen toegepast in de nieuwe recreatiesteigers. Voor de overige remmingwerken is regeneraat kunststof gebruikt in plaats van hardhout. De uit het werk afkomstige stort- en zetsteen is gereinigd en opnieuw in het werk verwerkt. De Leidraad Afvalstoffen Rijkswaterstaat (Lit. [22.21]) is toegepast, wat inhoudt dat vrijkomende materialen voor direct hergebruik worden bestemd dan wel aangeboden worden aan een recyclingbedrijf.

- Energieverbruik

Uitgangspunt voor de werktuigbouwkundige en elektrotechnische installatie is het *energiezuinig ontwerpen* van de installaties waarbij de Leidraad Energiezuinig Ontwerpen (CUR 1999, (Lit. [22.20])) als voorwaarde geldt.

- Vormgeving en ruimte

Bij de afweging van de hoofdvarianten en het ontwerp van de sluis is zorgvuldig gekeken naar de omgeving en de *landschappelijke inpassing*. De hoofdvariant is gekozen op basis van *beperking ruimtebeslag* en het minste verlies aan landbouwgrond.

Om de *toekomstpotentie* te behouden is de diepgang van de sluis afgestemd op toekomstige ontwikkelingen.

Voor het beperken van de *effecten op de omgeving* is een bouwmethode gekozen waarbij grote bemalingen voorkomen werden en geluidsoverlast en verkeershinder beperkt bleven. De bouwmethode bestaat uit het pneumatisch afzinken van de hoofden en diepwanden voor de sluiskolk. Damwanden zijn getrild in plaats van geheid. Bouwverkeer is om de dorpskern van Lith heengeleid en grote transporten vonden zoveel mogelijk over water plaats.

Om *natuurvriendelijk te ontwerpen* wordt de aansluitende uiterwaard als natuurgebied ingericht en worden natuurvriendelijke oevers aangelegd.

22.4.4 Rekenprogramma's voor civiele techniek

Bij de afdeling Natte Infrastructuur Constructieve Waterbouw (NIC) van Bouwdienst Rijkswaterstaat worden (in 2000) rekenregels ontwikkeld voor waterbouwkundige constructies. Dit betreft de vakgebieden beton-, staal- en metselwerkconstructies, grondmechanica, hydraulica en belastingfactoren. De resultaten zullen op termijn gepubliceerd worden.

Er zijn een aantal rekenprogramma's die specifiek voor de afdeling NIC ontwikkeld zijn en onderhouden worden voor het ontwerp van schutsluizen. Genoemd kunnen worden:

SIVAK:	Capaciteit van het sluiscomplex als afgeleide van het verkeersaanbod
LOCKFILL:	Nivelleersysteem van de sluis met bijbehorende krachten op de schepen
LOCKDENS:	Krachten op schepen door uitwisselen kolk
LOCKGATE:	Krachten op sluisdeuren
LOCKAIR:	Effectiviteit luchtbellenschermen
WAROS:	Toelaatbare diepgang van schepen
BOTS/TILLY:	Dynamische botskrachten op remmingwerken
VEILKUNWAT:	Belastingfactoren voor de vervalbelasting over de sluis
GLIJTEMP:	Temperatuurstijging in glijvlakken

Verder worden door afdeling de NIC tal van rekenprogramma's uit de marktsector gebruikt die een veel ruimer toepassingsgebied hebben. Voor het civiele deel van de schutsluis worden nu toegepast:

MATCAD:	Wiskundig pakket voor het oplossen van vergelijkingen, bijvoorbeeld voor dynamica.
DIANA:	Eindig elementen model voor gecompliceerde staal- en betonconstructies, event. met dynamica en vloeistofmodule, berekening betonwapening.
ANSYS:	idem DIANA, ook voor kunststof en rubber constructies.
ESA-PRIMA WIN:	Mechanica van liggers, portalen, platen, e.d. (ook statisch onbepaald) met uitvoer van momenten, dwarskrachten, vervormingen.
SCIA W+B:	Voorloper van ESA-PRIMA WIN.
PLAXIS:	Eindig elementen model voor gecompliceerde geotechnische constructies (ook kist-dammen), incl. spanningen, vervormingen, zettingen, consolidatie en grondwaterstroming.
MPILE:	Paalfunderingen (voor het berekenen van een paal of paalgroepen). Variabelen zijn willekeurig aan te brengen belastingen, de palen worden horizontaal elastisch ondersteund door grondlagen en verticaal door schachtwrijving en paalpuntweerstand, vervormingen palen worden meegenomen.
PAALFU:	Paalfunderingen (paalgroep onder oneindig stijve plaat, simpel beschouwd als portalen).
MFOUNDATION (vh. NENGEO):	Drukpalen (toelaatbare belasting paalpunt) en Funderingen op staal (oneindig stijve plaat) en Trekpalen.
MGEO:	Standaard 2D geometrie file en grondparameters.
MSEEP:	Stationaire grondwaterstroming (bijv. onderloopsheid).
MSETTLE:	Zettingen van de grond.
MSHEET:	Dam- en diepwanden, ducdalven (stabiliteit, momenten).
MSTAB:	Stabiliteit van grondmassieven (dijkprofielen met glijprofielen, e.d.).

MTENSION:	Trekpalen in groepen.
SOBEK:	1-dimensionale waterbewegingen in stelsels van waterlopen.
WAQUA:	2-dimensionale stroombeelden in rivieren, voorhavens, kanalen.
SHIPMA:	Scheepsmanoeuvres incl. invloed wind en stroming.
DIPRO:	Oeverbescherming, schroefstralen.

22.5 Functioneel Ontwerpen

22.5.1 Inleiding

In par. 2.4.10.1 "Beschikbaarheid" wordt gesteld dat in het Programma van Eisen gestreefd wordt naar een optimale niet-beschikbaarheid van de schutsluis, waarbij tegelijkertijd voldaan wordt aan alle andere relevante eisen. De eis voor niet-beschikbaarheid is min of meer het sluitstuk van het Programma van Eisen. Gezien het effect van de niet-beschikbaarheid op de kosten in de levensduur, is dat niet terecht. Om dit te ondervangen is een nieuwe ontwerpmethodode ontwikkeld: Functioneel Ontwerpen. Deze methode haakt aan bij par. 2.3 "Functionele eisen". Verder is Functioneel Ontwerpen van invloed op hoofdstuk 3, "Ontwerpproces".

22.5.2 Functioneel Ontwerpen

De traditionele aanpak van het ontwerpen van kunstwerken in de natte infrastructuur is in belangrijke mate gericht op het tegen zo laag mogelijke stichtingskosten te voldoen aan de eisen van constructieve veiligheid en waterkerende veiligheid. Deze eisen zijn vastgelegd in respectievelijk de diverse technische normen en de verschillende TAW-leidraden.

Naast een eventuele waterkerende functie kunnen kunstwerken in de natte infrastructuur andere functies vervullen, zoals schutten, peilbeheer en oeververbinding. Voor deze functies ontbreekt het tot nu toe aan een compleet stelsel van formele betrouwbaarheidseisen. Daarnaast ontbreekt het aan de hulpmiddelen om deze vast te stellen en op integrale wijze mee te nemen in het ontwerpproces. Als gevolg hiervan is het ontwerp op deze functies voor een belangrijk deel gebaseerd op ervaring. Deze op ervaring gebaseerde wijze van ontwerpen leidt in het algemeen tot kunstwerken met een acceptabele betrouwbaarheid qua schutten, peilbeheer enz. Het is echter de vraag of deze betrouwbaarheid in alle gevallen optimaal is.

De geschetste aanpak gaat uit van de functies die een kunstwerk moet vervullen en zoekt daarbij naar een economisch optimum over de gehele levensduur. Zie ook "Ontwerpfilosofie Bouwdienst" (Lit. [22.5]). Op voorhand wordt daarbij geen onderscheid in belangrijkheid van de functies gemaakt: water keren is niet belangrijker dan niet-beschikbaar. De functies worden uitgedrukt in betrouwbaarheidseisen en elk sluisonderdeel wordt gedimensioneerd op de maatgevende betrouwbaarheidseis. Zie ook de "Richtlijn Waterkerings- en Beschikbaarheidseisen" (Lit. [22.14]).

Als voorbeeld een sluis met één stel hoogwaterkerende deuren. De functie water keren is van invloed op de sterkte van de deur en op de betrouwbaarheid van het bewegingswerk: de deuren moeten namelijk tijdig gesloten zijn. De functie *schutten van schepen* stelt onder meer ook eisen aan de betrouwbaarheid van het bewegingswerk, uitgedrukt in percentages niet-beschikbaarheid ten gevolge van falen en onderhoud. De maatgevende van de twee eisen moet worden gebruikt voor het ontwerpen van het bewegingswerk.

22.5.3 Plaats van Functioneel Ontwerpen in het ontwerpproces

Het doel van het ontwerpproces is het maken van een technische beschrijving van een constructie, die voldoet aan de functionele eisen van de opdrachtgever. Deze technische beschrijving is dan later de basis voor het contract met de aannemer.

In de fase van het Programma van Eisen worden de eisen van de opdrachtgever geïnventariseerd, vertaald en teruggekoppeld met de opdrachtgever. Aangezien de opdrachtgever eisen stelt waarbij verschillende oplossingen mogelijk zijn, worden bij het uitwerken vaak diverse alternatieven ontwikkeld. Het uitwerken gebeurt in het voorontwerp op hoofdlijnen en gedetailleerder in het definitieve ontwerp. De varianten kunnen met elkaar worden vergeleken door de kosten en baten te kapitaliseren over de levensduur.

Tijdens het ontwerpproces is nog niet alles met zekerheid vast te stellen. Een aantal aspecten kan alleen op een verantwoorde manier worden meegenomen in een risico-beschouwing. Het gaat daarbij zowel om onzekerheid bij de opdrachtgever als bij de opdrachtnemer. Bijvoorbeeld:

- wat is de toekomstige vlootontwikkeling: hoe belangrijker en drukker de vaarweg is, hoe erger als deze gestremd is (onzekerheid opdrachtgever);
- wat zijn veilige sterktes en belastingen (onzekerheid van de ontwerper; maar er zijn vastomschreven regels in de technische normen voor het omgaan met deze onzekerheden);
- wat is de te verwachten betrouwbaarheid van onderdelen: hoe vaak gaat iets stuk en hoe lang duurt de reparatietijd (onzekerheid ontwerper);
- wat zijn de te verwachten kosten en de levensduur van onderdelen (onzekerheid ontwerper voor het bepalen van de kosten van verschillende alternatieven over de levensduur van een kunstwerk).

22.5.4 Stappenplan

Voor het op een uniforme wijze betrekken van de ontwerp-onzekerheden bij het ontwerpen op functies, is een stappenplan ontwikkeld. Dit stappenplan is uitgewerkt voor de functies water keren en schutten van schepen (zie tabellen 22.2 en 22.3). Dit stappenplan is nog niet geïntegreerd in het huidige ontwerpproces en staat als een apart stappenplan naast hoofdstuk 2, "Programma van Eisen" en hoofdstuk 3, "Ontwerpproces". In grote lijnen omvat het stappenplan de volgende elementen:

- Het opstellen van betrouwbaarheidseisen in het Programma van Eisen (tabel 22.2);
 - vaststellen functies;
 - vaststellen planperiode/levensduur: de planperiode is belangrijk voor het kapitaliseren van de kosten en baten van verschillende varianten over de levensduur;
 - vaststellen eisen opdrachtgever/beheerder: het is niet in alle gevallen gewenst om een economisch optimum te bereiken. De doorvaarthoogte bij een sluis kan bijvoorbeeld beperkt worden in verband met de aanwezigheid van lagere bruggen in een traject;
 - keren: opstellen en uitwerken van eisen, zoals een keringshoogte en betrouwbaarheid van de sluitingsoperatie;
 - schutten: opstellen en uitwerken betrouwbaarheidseisen, zoals percentage niet-beschikbaarheid. In deze fase kan al een voorzet worden gegeven voor een verdeling van de eisen over de disciplines Civiel, Staal, Werktuigbouw en Installaties;
- Vertalen van betrouwbaarheidseisen in het (voor)ontwerp (tabel 22.3);
 - opstellen varianten;
 - vaststellen geometrie;
 - keren: nader uitwerken van de benodigde sterkte (Civiel en Staal) en betrouwbaarheid van de sluitingsoperatie (Werktuigbouw en Installaties);
 - schutten: bepalen van de effecten van niet-beschikbaarheid, zoals de maatschappelijke kosten met behulp van een filemodel en de directe kosten. De maatschappelijke kosten zijn hier de wachturen voor de scheepvaart. De directe kosten zijn reparatie- of onderhoudskosten;
 - toetsen van de varianten aan de eisen;
 - vaststellen van de totale kosten over de levensduur met behulp van de Netto Contante Waardemethode. De totale kosten zijn de som van de stichtingskosten, de maatschappelijke kosten en de directe kosten;
 - keuze van de variant. De kosten van de varianten kunnen meegenomen worden in de keuzematrices van par. 7.3 "Keuze sluisdeuren" en 7.4.2.5 "Keuze type bewegingswerk".

Enkele aspecten van de functies *keren* en *schutten* uit het stappenplan zijn nader uitgewerkt.

22.5.5 Functie keren van water

Met behulp van de "TAW-Leidraad Kunstwerken", Lit. [22.15] is uit de Wet op de Waterkering een waterkeringseis voor een kunstwerk af te leiden. Deze eis bepaalt in eerste plaats de benodigde hoogte van het kunstwerk. Daarnaast zijn er eisen af te leiden voor de benodigde sterkte en de benodigde betrouwbaarheid van de sluitingsoperatie.

Bij de benodigde sterkte moet men tevens rekening houden met de eisen uit het Bouwbesluit en de daaraan gekoppelde NEN-normen. Aangezien constructies meestal worden ontworpen met de systematiek uit de NEN-normen, ligt het voor de hand de TAW-veiligheid daar in te passen. Dit kan eenvoudig door het invoeren van een partiële belastingfactor van 1,25 op het Maatgevend Hoog Water.

Het is alleen nodig de betrouwbaarheid van de sluitingsoperatie te beoordelen als het een sluis betreft met slechts één stel hoogwaterkerende deuren: in geval van hoogwater zullen deze daadwerkelijk gesloten moeten worden, terwijl bij een sluis met even hoge deuren er altijd één stel gesloten is. Het beoordelen van de sluitingsoperatie kan met behulp van de methode uit de TAW-Leidraad Kunstwerken en het daarbij behorende Basisrapport Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies, waarin onderscheid wordt gemaakt naar menselijk handelen (alarmeringssysteem, mobilisatie en bedieningsprocedures) (zie ook het voorbeeld van foto 11.1 van hoofdstuk 11) en de betrouwbaarheid van de bewegingsinstallaties.

22.5.6 Functie schutten van schepen

Als het schutproces faalt treden er zowel directe kosten op als kosten voor de scheepvaart. De directe kosten kunnen bijvoorbeeld bestaan uit herstel- of reparatiekosten. Voor het bepalen van de maatschappelijke kosten van stremmingen is een filemodel ontwikkeld. Dit model bepaalt voor een enkele sluiskolk een schade aan de hand van de wachtkosten van schepen, vermenigvuldigd met de som van de totale hoeveelheid wachturen per stremming. Als een sluis gestremd raakt, zal de file met een bepaalde intensiteit aangroeien. Als de stremming is opgeheven, wordt de file afhankelijk van de capaciteit van de sluis weggeschut, terwijl de file aan de achterkant nog steeds gevoed wordt met nieuwe schepen. De wachtkosten zijn op deze manier evenredig met de stremmingsduur in het kwadraat. Het verdient daarom voorkeur de wachtkosten in verschillende tijds categorieën te bepalen. Het aanhouden van uniforme categorieën maakt het mogelijk niet-beschikbaarheid uit te wisselen tussen disciplines, zoals werktuigbouw en installatietechniek. Verder wordt aangenomen dat het filemodel niet meer opgaat bij stremmingen van meer dan twee dagen, aangezien men dan wellicht omvaart, of overgaat op andere transportmogelijkheden.

Het filemodel in formulevorm:

$$K = 0,5 * N * \frac{I}{(1 - I/C)} * t^2 * w \quad [22.1]$$

met:

K = maatschappelijke kosten, door wachten van schepen, per stremmingscategorie	[gulden]
N = aantal stremmingen per jaar in een stremmingscategorie	[1/uur]
I = intensiteit	[schepen/uur]
C = capaciteit	[schepen/uur]
t = gemiddelde tijdsduur van een stremmingscategorie	[uur]
w = wachtkosten van een schip	[gulden/uur]

Voor de gemiddelde duur per duur per tijds categorie kan worden aangehouden:

Stremmingscategorie	Gemiddelde stremmingsduur
[0-2] uur	1 uur
[2-6] uur	4 uur
[6-24] uur	15 uur
[>24] uur	36 uur

De gebeurtenissen kunnen onderscheiden worden in de volgende soorten, X, Y en Z:

- categorie X: natuurlijke randvoorwaarden, zoals waterstanden en ijsvorming. De niet-beschikbaarheid van X wordt bepaald door keuze voor geometrie en kan in de levensduur moeilijk gewijzigd worden;

- categorie Y: niet-geplande stremmingen ten gevolge van storingen of aanvaringen;
- categorie Z: geplande stremmingen als gevolg van inspecties en onderhoud. Voor geplande gebeurtenissen is het gebruikelijk om de intensiteit in de formule te halveren: na aankondiging van de stremming zal het uit ervaring slechts half zo druk zijn als normaal.

Het verkrijgen van de juiste niet-beschikbaarheidsgegevens is niet altijd eenvoudig. Storings- en stremmingsgegevens worden namelijk niet systematisch vastgelegd. In de studie "Optimalisatie beschikbaarheid van sluizen" (Lit. [22.1]) zijn gegevens opgesteld door praktijkdata van negen sluizen te combineren met de ervaringen van drieëntwintig ontwerpers. Tabel 22.1 geeft faalkansgegevens voor de ongeplande gebeurtenissen.

	Stremmingsduurklasse			
	0-2 uur	2-6 uur	6-24 uur	24-48 uur
Faalfrequentie per schutting				
Aanvaring sluisdeur	2,81E-05	2,28E-05	2,15E-05	1,40E-05
Vuil tussen sluisdeur (drijvend)	1,50E-05	1,10E-05	7,28E-06	7,28E-06
Obstakel tussen sluisdeur (gezonken)	3,31E-05	1,91E-05	1,46E-05	9,35E-06
Bewegingswerk deur faalt	4,10E-05	2,24E-05	9,80E-06	4,98E-06
Bewegingswerk nivelleerschuiten faalt	2,68E-05	2,50E-05	2,32E-05	1,85E-05
Vuil tussen nivelleerschuit (drijvend)	4,00E-05	2,18E-05	9,27E-06	4,79E-06
Obstakel tussen nivelleerschuit (gezonken)	4,01E-05	2,14E-05	9,38E-06	4,82E-06
Schutten niet mogelijk doordat klap brug klemt	7,28E-05	1,76E-05	9,19E-06	7,28E-06
Schutten niet mogelijk door falen bewegingswerk brug	5,70E-05	3,92E-05	9,90E-06	7,28E-06
Faalfrequentie per uur				
Besturing en bediening faalt	2,95E-04	2,89E-04	5,30E-05	1,79E-05
Stroomstoring	1,26E-05	6,91E-05	3,07E-05	1,55E-05

Tabel 22.1 Faalgegevens voor de functie schutten van schepen, voor de ongeplande gebeurtenissen

22.5.7 Voorbeeld

In Appendix 22.1 is Functioneel Ontwerpen toegelicht aan de hand van een voorbeeld. Het betreft een fictieve analyse van de sluis Engelen. Sluis Engelen ligt op het punt waar de Gekanaliseerde Dieze in de Maas uitkomt. De sluis moet tweezijdig kunnen keren en ligt in een primaire waterkering. De vaarweg is van klasse IV en er zijn 12.000 schuttingen per jaar.

In het voorbeeld zijn eerst de eisen opgesteld voor keren en schutten. In het voorontwerp blijken de varianten met enkele (dubbelkerende) deuren en met twee sets (enkelkerende) deuren beide te voldoen aan de eisen. In een analyse van de kosten tijdens de levensduur blijkt de variant met de dubbelkerende deuren licht in het voordeel te zijn.

Projectfase		Stap	Activiteiten per stap				
P.v.E.	1.	HET OPSTELLEN VAN BETROUWBAARHEIDSEISEN IN HET PROGRAMMA VAN EISEN					
	1.1	Verzamelen algemene gegevens					
	1.1.1	Bepalen te vervullen functies:					
	1.1.2	Bepalen planperiode/levensduur					
	1.1.3	Bepalen randvoorwaarden					
		- Wetten, normen, richtlijnen, bijv.	keren	schutten	spuien	oeververbinding	
			Wet op de Waterkering (W.o.W), 1996 Bouwbesluit, december 1991				
			- Normen: TGB 1990 Algemene basiseisen (NEN 6700), april 1991 TAW-Leidraad waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies				
			- Richtlijnen: Richtlijnen Vaarwegen, Commissie VaarwegBeheerders (CVB), juni 1996 Richtlijnen Waterkerings- en Beschikbaarheidseisen Kunstwerken Nl, 1998 Binnenvaart Politiereglement (BPR '84), Rijnvaart Politiereglement (RPR '83) ARBO-richtlijnen				
		- Natuurlijke randvoorwaarden, bijv.	- overschr. freq. lijn van waterstanden - bergend vermogen achterliggende watergangen - waterstands-correlaties - relatieve zeespiegelrijzing - seiches/windgolven	- onder- en overschr. duurlijn van waterstand - relatieve zeespiegelrijzing - seiches/windgolven - wind	- bergend vermogen in de polder - bergend vermogen achterland watergangen - ontwerpafvoer		
	- Omgevingsrandvoorwaarden, bijv.		- scheepvaart-intensiteit - spreiding van intensiteit in de tijd - samenstelling vloot	- al geïnstalleerde capaciteit	- verkeersaanbod (samenstelling en intensiteit) - spreiding van intensiteit in de tijd		
	1.1.4	Vaststellen eisen opdrachtgever/beheerder	- bediende tijd - minimum en/of maximum schutpeil - overige: deurtipe, type bewegingswerk, etc.				
	1.2	Opstellen en uitwerken betrouwbaarheidseisen					
	1.2.1	Keren van water	WoW TGB	hoogte $p(q>q_{\text{aantalkeren}}) < \text{norm}$	niet sluiten $\eta: P_m + P_{\text{over}} < 0,1 \text{ norm}$	sterkte/stab. $\beta_n = 3,6$ (β is de betrouwbaarheidsindex)	
	1.2.2	Schutten van de scheepvaart	TGB CVB Richtl. W&B.	$nb(X) \text{ (natuur)}$ $nb < 2\%$	$nb(Y) \text{ (niet planbaar)}$ (nb uit $\beta_n = 3,6$)	$nb(Z) \text{ (planbaar)}$	
	1.2.3	Spuien	geen richtlijnen				
	1.2.4	Oeververbinding	geen richtlijnen				

Tabel 22.2 Het opstellen van betrouwbaarheidseisen in het PvE

Projectfase	Stap	Activiteiten per stap
Voorontwerp	2	VERTALEN VAN BETROUWBAARHEIDSEISEN IN HET (VOOR)ONTWERP , b.v. ontwerp schutsluis zonder spui- en oeververbinderende functie
	2.1	Opstellen (deel)varianten
	2.2	Vaststellen geometrie
	2.2.1	capaciteit betrouwbaarheid t.a.v. kerens: kerende hoogte
	2.2.2	betrouwbaarheid t.a.v. schutten: drempeldiepte en doorvaarthoogte
	2.3	Ontwerp voor de hoofdfunctie kerens
	2.3.1	Ontwerp C+S-deel - inventarisatie van te dimensioneren grootheden - inventarisatie faalmechanismen - inventarisatie belastingssituaties - vaststellen repr. waarde belastingen - vaststellen vereiste betrouwbaarheid β_N - vaststellen partiële factoren
	2.3.2	Ontwerp WH-deel - vaststellen (toelaatbare) p_{WH} en p_{t0}
	2.4	Ontwerp voor de hoofdfunctie schutten
	2.4.1	Niet-planbare niet-beschikbaarheid door - falen C+S - falen WH - falen externe oorzaken
	2.4.2	Planbare niet-beschikbaarheid door - inspectie/onderhoud (C+S+WH)
	2.5	Controle van variant (vergelijk inschatting prestaties met prestatie-eisen en pas eventueel de variant aan)
	2.6	Variantenafweging
	2.6.1	Vaststellen levensduurkosten
	2.6.2	Vaststellen prijs/prestatieverhouding
	2.6.3	Variantkeuze

Tabel 22.3 Vertalen van betrouwbaarheidseisen in het (voor)ontwerp

Literatuur

- [22.1] Aalders, J.R.L., Beem, R.C.A., Rovers, L.H.A., 'Optimalisatie Beschikbaarheid van Sluizen - Faalkansen op Hoofcomponentenniveau', Bouwdienst Rijkswaterstaat, mei 1999.
- [22.2] Keuzenkamp, A.J.M., 'Hoge sterkte betonnen schuiven in de stormvloedkering Oosterschelde, haalbaarheidsonderzoek', Afstudeerverslag, Technische Universiteit Delft, Civiele Techniek, januari 1998.
- [22.3] Krüse, M.G., 'Het ontwerpen van een sluisdeur in roestvast staal', TU-Delft, Bouwdienst Rijkswaterstaat en TNO, augustus 1998 (incl. deelrapport 'Literatuurstudie naar roestvast staal').
- [22.4] Laken, S. van der, 'Ontwerp van schuiven van de stormvloedkering Oosterschelde in vezelversterkte kunststoffen', Afstudeerverslag, Technische Universiteit Delft, Industrieel Ontwerpen, oktober 1999.
- [22.5] Manen, S.E. van, 'Ontwerpfilosofie Bouwdienst', Rapport OF-R-99012, Bouwdienst Rijkswaterstaat, mei 1999.
- [22.6] Mudde, A., 'Een sluisdeur van glasvezel-versterkte kunststof', Rijkswaterstaat Bouwdienst NIO, februari 1997.
- [22.7] Nagtegaal, G., 'Constructief ontwerp van de glasvezel-versterkte polyester sluisdeuren', Rijkswaterstaat Bouwdienst NIW, 1999.
- [22.8] Ros, D., 'Glijdende ondersteuning', Land en Water, blz. 26-27, no. 1/2, 1999.
- [22.9] Ros, D., 'Materialen die geen smeermid behoeven', Land en Water, blz. 28-30, no. 1/2, 1999.
- [22.10] Ros, D., 'Kunststof kan hout nog beter maken', Land en Water, blz. 34-36, no. 1/2, 1999.
- [22.11] Ros, D., 'Meer toepassingen voor vezelversterkte constructies', Land en Water, blz. 38-40, no. 1/2, 1999.
- [22.12] Ros, D., 'Minder onderhoud met aluminium deklagen', Land en Water, blz. 42-43, no. 10, 1999.
- [22.13] Vergoossen, R.P.H., 'Ontwerp van een ophaalbrug in zeer hoge sterkte beton', Literatuurstudie, Afstudeerverslag, Bouwdienst Rijkswaterstaat / Technische Universiteit Delft, maart 1999.
- [22.14] 'Richtlijn Waterkerings- en Beschikbaarheidseisen', Bouwdienst Rijkswaterstaat, Fugro Ingenieursbureau B.V. en Geodelft, september 1998.
- [22.15] 'Leidraad Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies', Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, juni 1997.
- [22.16] 'Hogere sterkte beton, Ervaringen met sterketeklasse B65 en hoger', Bouwdienst Rijkswaterstaat, Rapport BSW99-20, oktober 1999.
- [22.17] 'Leidraad Duurzaam Bouwen', CUR, 1999.
- [22.18] 'Bouwen met meerwaarde, Voorbeelden van duurzaam bouwen bij Rijkswaterstaat', Rijkswaterstaat, Rapport DUBOD-R-99002, juli 1999.
- [22.19] 'Vernieuwd handboek Natuurvriendelijke Oevers', CUR, 1999.
- [22.20] 'Leidraad Energiezuinig Ontwerpen', CUR, 1999.
- [22.21] 'Leidraad Afvalstoffen', Rijkswaterstaat, 1992.
- [22.22] 'Ontwerpnota, Tweede sluis Lith', Bouwdienst Rijkswaterstaat, 1995.
- [22.23] 'Documentatiemap Beheer- en Onderhoudssystematiek voor Kunstwerken', Bouwdienst Rijkswaterstaat, Projectbureau Onderhoud Kunstwerken, maart 1999.

Appendix 22.1 **Uitwerking Voorbeeld Functioneel Ontwerpen**

Inleiding

Deze appendix licht Functioneel Ontwerpen toe, aan de hand van een voorbeeld. Het betreft een fictieve analyse van sluis Engelen. Deze sluis ligt op het punt waar de Gekanaliseerde Dieze in de Maas uitkomt. De sluis moet tweezijdig kunnen keren en ligt in een primaire waterkering. De vaarweg is van klasse IV en er zijn 12.000 schuttingen per jaar.

Dit voorbeeld volgt het stappenplan bij de Richtlijn Waterkerings- en Beschikbaarheidseisen (Lit. [22.14]). De paragraafnummers corresponderen met de stappen uit de richtlijn (zie tabellen 22.2 en 22.3). Het eerste gedeelte komt overeen met de fase Programma van Eisen en het tweede gedeelte met de fase Voorontwerp. Uit illustratief oogpunt zijn sommige stappen gedetailleerder uitgewerkt dan in een voorontwerp nodig is.

Ontwerpen is in hoge mate een iteratief proces. In dit document is het ontwerp dan wel lineair beschreven, maar soms wordt gebruikgemaakt van resultaten van stappen die nog volgen.

Alle teksten in dit document hebben betrekking op dit voorbeeld en hoeven dus niet in het algemeen geldig te zijn.

Stap 1.: Het opstellen van betrouwbaarheidseisen in het PvE (tabel 22.2)

Stap 1.1: *Het verzamelen van algemene gegevens*

Stap 1.1.1: *Bepalen van te vervullen functies*

Sluis Engelen heeft de hoofdfuncties keren en schutten. De kerende functie valt onder de Wet op de Waterkeringen. De sluis ligt in een dijkvak met een normfrequentie van 1/1250 per jaar. Er zijn geen bruggen of spui-installaties op het sluissterrein.

Stap 1.1.2: *Bepalen van planperiode/levensduur*

De beoogde levensduur van sluis Engelen is 100 jaar.

Stap 1.1.3: *Bepalen van randvoorwaarden*

Omgevingsrandvoorwaarden

Locatie: De sluis is gelegen in de Gekanaliseerde Dieze ten Noordwesten van Engelen. De sluis scheidt de Gekanaliseerde Dieze en de Maas.

Bestaande kunstwerken op de beoogde bouwlocatie: Er zijn geen bestaande kunstwerken maar er is wel scheepvaart.

Natuurlijke randvoorwaarden

Hydraulische randvoorwaarden:

Waterstanden	Maas-peil	Dieze-peil
dagelijkse situatie	NAP +0,90 m	NAP +2,20 m
hoogste stand ooit gemeten	-	NAP +4,50 m
laagste stand ooit gemeten	NAP +0,60 m	NAP +2,20 m

- Overschrijdingfrequenties van waterstanden op de Maas nabij Engelen (km 221) genoemd in stap 2.2.1.
- MHW op de Maas, dat hoort bij een normfrequentie van 1/1250 per jaar is NAP+6,30 m.
- Kenmerken van maatgevend hoogwater op de Maas:
 - stijgen 0,5 m/dag
 - hoogwater 2,0 dagen
 - dalen 0,4 m/dag
- De hoge waterstanden van de Dieze en de Maas zijn als volgt gecorreleerd: bij een hoge Dieze-stand is er ook sprake van hoogwater op de Maas. Ze hoeven niet gelijktijdig hun hoogste stand te bereiken, maar de situatie van hoogwater op de Dieze en extreem laag water op de Maas komt niet voor.
- Gedurende het merendeel van de tijd staat de Dieze hoger dan de Maas.
- De maatgevende windgolfhoogte is 30 cm.
- Inundatie treedt op bij een Maaspeil van meer dan NAP+6,30 m, of een instromend volume groter dan 9.000.000 m³.
- Relatieve zeespiegelstijging of andere tijdsaspecten zijn niet van toepassing.
- Effecten van wind op op- en afwaaien is niet van toepassing.

Stap 1.1.4: Eisen van de beheerder

- Kenmerk van de vaarweg: CEMT-klasse IV
- Bediende tijd:
 - maandag 06.00 - 24.00 uur
 - dinsdag t/m vrijdag 00.00 - 24.00 uur
 - zaterdag 00.00 - 20.00 uur
 - zon- en feestdagen 09.00 - 17.00 uur
 Dit komt overeen met 142 bediende uren per week (ten opzichte van een maximum van 168, dat wil zeggen 85% bediende tijd).
- Intensiteit: volgens de opdrachtgever worden er 12.800 schepen per jaar verwacht. Het jaar telt $142 \times 52 = 7.384$ bediende uren. Voor het voorontwerp kan worden uitgegaan van een gemiddelde intensiteit van 1,7 schepen per uur. In het definitieve ontwerp kan dit nog verder uitgewerkt worden in blokken, zoals bijvoorbeeld zomer-/winterperioden en drukke uren/rustige uren.
- Het aandeel kegelschepen is zo laag dat dit bij het bepalen van de capaciteit geen rol speelt. Veel kegelschepen beïnvloeden de capaciteit; bij het schutten van een kegelschip mag zich namelijk geen ander schip in de kolk bevinden (CVB).
- De opdrachtgever wil tot een waterstand van NAP +5,00 m op de Maas nog kunnen schutten.
- De opdrachtgever stelt als eis dat de niet-beschikbaarheid van ongeplande stremmingen kleiner is dan 1% van de bediende tijd.

Stap 1.2.: Uitwerken betrouwbaarheidseisen

Stap 1.2.1: Uitwerken betrouwbaarheidseisen: keren

- De sluis ligt in een waterkering met een normfrequentie van 1/1250 per jaar (norm).
- De hoogte van het kunstwerk moet voldoen aan $p(q > q_{\text{toel.}}) < \text{norm}$.
- De gezamenlijke faalkans voor niet sluiten en sterkte en stabiliteit moet voldoen aan:

$$n_j \cdot p_{\text{ns}} + p_{\text{st/st}} < 0,1 \times \text{norm} \quad [1/\text{jaar}]$$

met:

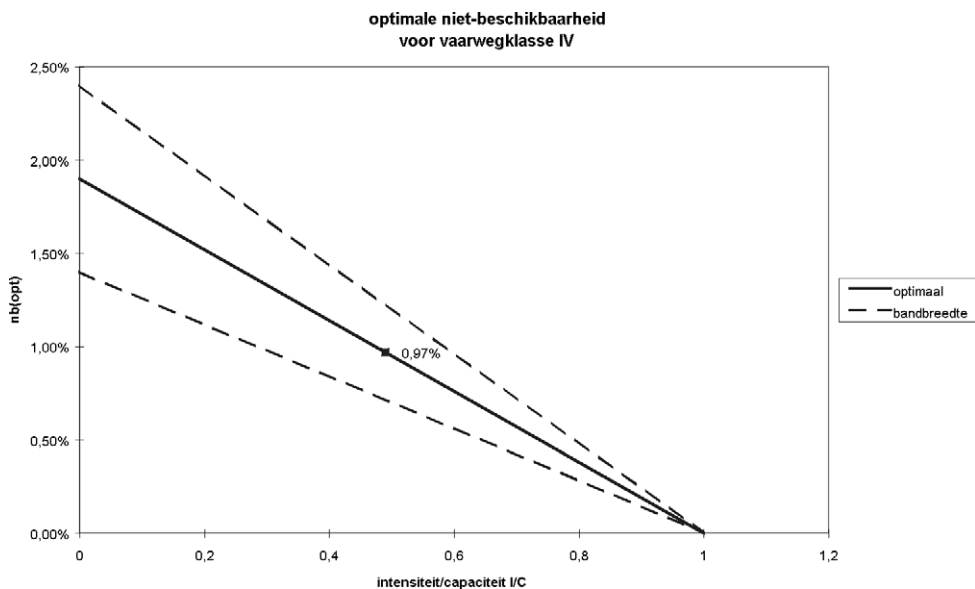
$$\begin{aligned} n_j &= \text{het aantal malen per jaar dat het hoogwaterkerende keermiddel} \\ &\quad \text{moet zijn gesloten} && [\text{vragen/jaar}] \\ p_{\text{ns}} &= \text{de kans per sluitvraag dat de sluiting niet lukt} && [1/\text{vraag}] \\ p_{\text{st/st}} &= \text{kans per jaar op constructief bezwijken van het kunstwerk} && [-] \end{aligned}$$

- De sterkte en stabiliteit van het kunstwerk moet ten minste een betrouwbaarheid hebben van $\beta_N = 3,6$ in de levensduur (eis uit de TGB).

Stap 1.2.2: Uitwerken betrouwbaarheidseisen: schutten

- Volgens de CVB-richtlijn moet de doorvaartdiepte zodanig zijn dat er hooguit 1% van de beschikbare tijd geen schutten mogelijk is als gevolg van een te lage waterstand
- Volgens de CVB-richtlijn moet de doorvaarhoogte zodanig zijn dat er hooguit 1% van de beschikbare tijd geen schutten mogelijk is als gevolg van een te hoge waterstand
- Er is een theoretisch optimum voor de niet-planbare niet-beschikbaarheid (zie ook de Richtlijn Waterkerings- en Beschikbaarheidseisen, Lit [22.14]). Voor een klasse-IV-vaarweg is het ophangpunt van de grafiek 1,9%, bij een Intensiteit/Capaciteit van 0. Engelen heeft een intensiteit van 1,7 schepen per uur en een geschatte capaciteit tussen de 3 en 4 schepen per uur.

Er is uitgegaan van een capaciteit van 3,5 schepen per uur, en dus een I/C van 0,49. Lineair interpoleren levert dan een optimale niet-beschikbaarheid voor Y van $1,9\% - 0,49 \times 1,9\% = 0,97\%$. In grafiekvorm weergegeven ontstaat fig. 22.12.



Figuur 22.12 Optimale niet-beschikbaarheid voor vaarwegklasse IV

- Uit de richtlijn Waterkerings- en Beschikbaarheidseisen kunnen nog een aantal aanbevelingen worden overgenomen. Deze zijn opgesteld aan de hand van observaties in de praktijk van een aantal klasse-IV sluizen. De geplande niet-beschikbaarheid $nb(Z)$ moet kleiner zijn dan 3%. Verder moet daarbij het aandeel van de stremmingen korter dan zes uur kleiner zijn dan 0,3%.
- In een piekjaar waarin omvangrijk variabel onderhoud of renovatie is voorzien, kan de benodigde niet-beschikbaarheid vele malen groter zijn dan de eis aan het gemiddelde in een jaar. Het is daarom mogelijk om voor een piekjaar een aanvullende eis te formuleren. Gekozen is voor:

$$nb(\text{max. in een piekjaar}) < 10 \times [nb(Y) + nb(Z)]$$

De resultaten uit stap 1.2 moet men terugkoppelen met de opdrachtgever. Als over bepaalde onderdelen meningsverschillen bestaan, moeten die in deze fase van het ontwerpproces opgelost worden. De vastgestelde eisen zijn het uitgangspunt voor de volgende fase.

In dit geval is er een discrepantie tussen de eis van de opdrachtgever en de optimale niet-beschikbaarheid voor de ongeplande stremmingen. De eis van de opdrachtgever was een maximum van 1%, terwijl het optimum ligt bij 0,97%, in een bandbreedte van 0,71% - 1,22%. In overleg met de opdrachtgever wordt afgesproken de bandbreedte als eis op te nemen.

Stap 2: Vertaling van betrouwbaarheidseisen in het voorontwerp (tabel 22.3)

Stap 2.1: Opstellen (deel)varianten

Voor de sluis zijn eerst een aantal deurvarianten gegenereerd. Vervolgens is bij elke deurvariant een bijbehorende bewegings- en bedieningsinstallatie gekozen. Dit voorbeeld bevat dus geen aparte varianten, opgesteld voor de W&I-installaties.

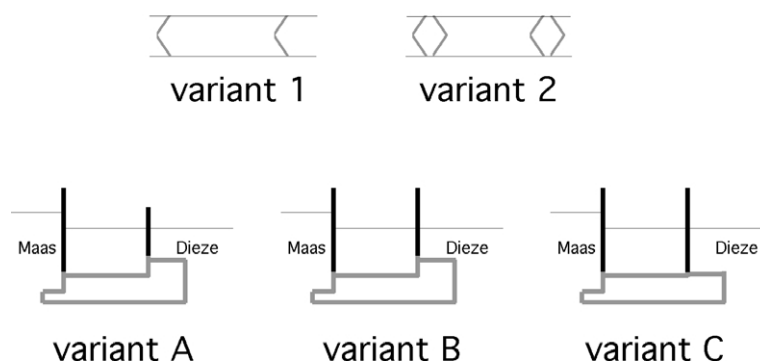
Voor een sluishoofd zijn de volgende deurvarianten beschouwd:

- Variant 1: Eén stel tweezijdig kerende puntdeuren. De deuren zijn dan zowel Maaswaterkerend als ook Diezewaterkerend. Per sluishoofd zijn er twee, extra zwaar uitgevoerde bewegingswerken.
- Variant 2: Twee stel enkelzijdig kerende puntdeuren. Er is dan per sluishoofd één deurset voor Maaswaterkerende situaties en één deurset voor Diezewaterkerende situaties. Per sluishoofd zijn vier bewegingswerken aanwezig.

De beide varianten zijn nog verder uitgewerkt in de volgende sub-varianten:

- variant A: Het Maashoofd is geschikt als MHW-kering, het Diezehoofd niet. Bij hoogwater moet het Maashoofd dan gesloten zijn. Het Diezehoofd moet wel geschikt zijn om tot het maximum schutpeil op de Maas, van NAP+5,00 m, te kunnen schutten (eis van de opdrachtgever).
- variant B: Zowel het Maas- als het Diezehoofd hebben de juiste hoogte om MHW-kerend te kunnen zijn. Het voordeel van deze variant ten opzichte van variant A, is dat er nu geen faalkansruimte nodig is om de hoogwaterdeur op tijd te sluiten.
- Variant C: Dezelfde als variant B, met als uitbreiding dat de drempel van het Diezehoofd lager dan noodzakelijk wordt gelegd, om zo gelijke deurhoogtes te creëren. Dit maakt het mogelijk om met één uniforme reservedeur te werken.

Combinaties maken zes varianten mogelijk: 1A, 1B, 1C, 2A, 2B en 2C (fig. 22.13). Bij elke variant hoort een bepaalde oplossing van bewegingswerk en bedieningsinstallatie. Deze varianten worden beschouwd en vanaf stap 2.4 alleen nog de varianten 1C en 2C.



Figuur 22.13 Deurvarianten

Er zijn in dit voorbeeld geen aparte varianten ontwikkeld voor de werktuigbouwkundige en elektrotechnische installaties. Bij elke deurvariant is direct een bijpassend W&I-systeem gekozen. Het verschil tussen de W&I-varianten komt tot uitdrukking in de niet-beschikbaarheid en de kosten.

Stap 2.2: Vaststellen geometrie

Capaciteit/intensiteit

Uit het aanbodspatroom is het volgende geschat: volgens de opdrachtgever worden er 12.800 schepen per jaar verwacht. Het jaar telt $142 \times 52 = 7.384$ bediende uren. Hier, in het voorontwerp, kan dus uitgegaan worden van een gemiddelde intensiteit van 1,7 schepen per uur. In het definitieve ontwerp is het nog mogelijk om de gemiddelde intensiteit op te splitsen in blokken, om zo bijvoorbeeld een onderscheid

te kunnen maken in een zomerperiode met veel recreatievaart en een winterperiode met voornamelijk beroepsvaart.

Uitgaande van een standaardkolk is de capaciteit ingeschat op 3 à 4 schepen per uur. De uiteindelijke waarde zal afhangen van de snelheid van het schutproces.

Voor wachtkosten is uit Richtlijn Waterkerings- en Beschikbaarheidseisen overgenomen: 125 gulden per schip per uur voor een klasse-IV-vaarweg (prijspeil 1999).

Stap 2.2.1 en stap 2.2.2: Bepalen van de deurhoogtes en drempeldieptes

Drempeldiepte

Volgens de CVB-richtlijn moet de drempel op een zodanige diepte worden gelegd, dat gedurende hooguit 1% van de beschikbare tijd schutten niet mogelijk is ten gevolge van een te lage waterstand. In dit ontwerp is niet gewerkt op die 1%, maar de drempels zijn gebaseerd op de laagst bekende waterstanden. Het gevoel bestaat het gevoel dat ruimschoots aan de eis wordt voldaan. Dit betekent echter ook dat het ontwerp duurder is dan strikt gezien vereist.

Bij de laagst bekende waterstanden, minus de benodigde maatgevende diepgang en kielspeling, levert dit een drempeldiepte aan de Maaszijde op van NAP-2,90 m en aan de Diezeszijde van NAP-1,30 m.

Deurhoogte

Voor het bepalen van de deurhoogtes kunnen verschillende eisen van toepassing zijn: een beschikbaarheidseis vanuit de CVB, een waterkeringseis vanuit de TAW en praktische eisen met betrekking tot het schutproces.

Waterkeringseis vanuit de TAW

De hoogte van de waterkering bij Engelen moet ten minste gelijk zijn aan het MHW op de Maas van NAP +6,30 m plus 0,30 m voor golven. Totaal dus NAP +6,60 m.

Praktische eisen

Er ligt een eis van de opdrachtgever dat er tot een Maasstand van NAP +5,00 m nog gesloten moet kunnen worden. Wordt gekeken voor een deurhoogte van NAP +5,00 m, dan dient de CVB-eis nog gecontroleerd te worden. Deze stelt dat het schutproces hooguit 1% van de tijd mag falen als gevolg van hogere waterstanden.

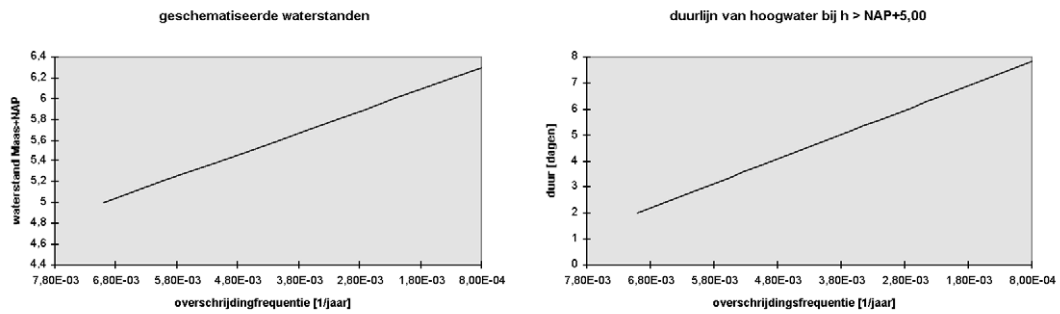
In de grafiek met de overschrijdingsfrequentielijn van de waterstand op de Maas (fig. 22.14) is te zien dat er een kans is van 0,007 keer per jaar dat er een hogere waterstand optreedt dan NAP +5,00 m. Dit is echter een frequentie, terwijl de eis is geformuleerd als een maximale periode, namelijk 1% van de beschikbare tijd: $0,01 \times 142 \times 52 = 74$ uur per jaar. Bij Engelen is overigens geen invloed van de relatieve zeespiegelstijging te merken.

De karakteristiek van de hoogwatergolf is bekend, zodat bij elke waterstand ook een duur kan worden bepaald. De stijgsnelheid is 0,5 m per dag, vervolgens houdt het hoogwater 2 dagen aan en daalt daarna met 0,4 m per dag.

NAP +5,00 m; kans 0,007, duur 2 dagen

NAP +6,30 m; kans 0,0008, duur (2,6 dagen stijgen, 2 dagen vast, 3,3 dagen dalen) 7,9 dagen

Aangezien de twee overschrijdingsfrequenties dicht bij elkaar liggen is in dit voorbeeld de waterstands-overschrijding-frequentielijn lineair gemaakt (fig. 22.14).



Figuur 22.14 Wateroverschrijdingsfrequentielijnen

De te verwachten stremming kan benaderd worden door:

$$(0,007 - 0,0008) \times ((2 + 7,9) / 2) = 0,03 \text{ dag/jaar.}$$

Ofwel 0,7 uur per jaar. In dit geval voldoet de sluis ruimschoots aan de eis van nb(X).

De minimale deurhoogte voor schutten is dan NAP +5,00 m plus 0,3 m voor golven.

Als het water op de Dieze hoger staat dan op de Maas, moet er ook nog geschut kunnen worden. De hoogst bekende waterstand op de Dieze is NAP +4,50 m. Een deurhoogte van minimaal NAP +4,50 m levert geen problemen voor het schutproces.

Uitwerking in de varianten

De drempel aan de Maaszijde ligt voor alle varianten op NAP -2,90 m, maar bij de drie subvarianten A, B en C verschilt de drempeldiepte aan de Diezezijde: bij A en B ligt deze op NAP -1,30 m en bij C op NAP -2,90 m.

Variant 1A heeft alleen een waterkerende deur in het Maashoofd. De deur in het Diezehoofd hoeft alleen te voldoen aan de praktische schuteisen.

Bij variant 1B en 1C moeten de beide hoofden geschikt zijn als waterkering. De deurhoogte wordt daar-bij bepaald door de eis vanuit de TAW.

Voor de Diezekerende situatie geldt: MHW op de Dieze is NAP +4,50 m met daarbij maatgevende golven van 0,30 m. Deze eis is niet maatgevend ten opzichte van de vorige twee.

Niveau bovenkant deur, in m ten opzichte van NAP:

	Maashoofd		Diezehoofd	
	Maatgevende eis	deurhoogte	Maatgevende eis	deurhoogte
1A	TAW	6,60	praktisch	5,30
1B	TAW	6,60	TAW	6,60
1C	TAW	6,60	TAW	6,60

De varianten 2A, 2B en 2C hebben twee stel deuren per sluishoofd. De deurhoogtes van de "Maasschuttende deuren" zijn dezelfde als bij de varianten 1A, 1B en 1C. Het tweede stel deuren moet functioneren als het water op de Dieze hoger staat dan op de Maas. De deurhoogte wordt dan bepaald door de praktische eis van NAP +4,50 m.

Niveau bovenkant deur, in m ten opzichte van NAP (twee sets deuren per hoofd):

	Maashoofd		Diezehoofd	
	Maas hoger dan Dieze	Dieze hoger dan Maas	Maas hoger dan Dieze	Dieze hoger dan Maas
2A	6,60	4,50	5,30	4,50
2B	6,60	4,50	6,60	4,50
2C	6,60	4,50	6,60	4,50

Stap 2.3.1: Ontwerp van civiele en stalen onderdelen**Bepaling van de belastingfactoren**

De deuren van de verschillende alternatieven worden gedimensioneerd op het verval dat ze moeten keren. Aangezien constructies worden gedimensioneerd volgens de systematiek in de NEN-normen, moet het verval nog verhoogd worden met een belastingfactor. In een voorontwerp kan deze factor eenvoudigweg overgenomen worden uit de TAW-Leidraad Kunstwerken. Een belastingfactor van 1,25 is namelijk voor de meeste gevallen voldoende veilig. In het definitieve ontwerp kan het voordelen bieden deze factor voor een specifieke situatie te bepalen. Deze factor is dan afhankelijk van de eisen die aan de deur worden gesteld:

- moet de deur op tijd gesloten worden (in het geval dat er slechts één hoogwaterdeur is)?
- wordt er een eis gesteld vanuit de TAW?
- is de TAW-eis lager dan de eisen vanuit de NEN-normen?

Stap 2.3.2: Faalkansruimte voor niet sluiten (W+I)

De installaties moeten zodanig zijn ontworpen dat wordt voldaan aan de TAW-eis m.b.t. de maximaal toelaatbare kans op niet sluiten. Zoals al aangegeven in de Richtlijn Waterkerings- en Beschikbaarheids-eisen hoeft deze eis voor schutsluizen alleen te worden beschouwd indien slechts één hoofd MHW-kerend is. Als beide hoofden MHW-kerend zijn, hoeft men stap 2.3.2 niet uit te werken, aangezien bij een schutsluis normaal gesproken altijd één hoofd gesloten is.

Voor de kering in het sluishoofd aan de Maaszijde geldt, indien het hoofd aan de Diezezijde niet hoogwaterkerend is, de volgende eis:

$$n_j \cdot p_{ns} < 0,09 \cdot \text{norm}$$

waarin:

$$\begin{aligned} n_j &= \text{het aantal keren per jaar dat het hoogwaterkerende keermiddel} && [1/\text{jaar}] \\ &\quad \text{moet zijn gesloten} \\ p_{ns} &= \text{de kans op niet sluiten} && [-] \end{aligned}$$

Het aantal keren per jaar dat het hoogwaterkerende keermiddel moet zijn gesloten, hangt af van de hydraulische randvoorwaarden en van de kerende hoogte van de andere niet-hoogwaterkerende keermiddelen. Deze vormen een (hoge) drempel die tot een bepaalde waterstand, ook de waterkerende functie kunnen vervullen.

De frequentie waarmee de hoogwaterkerende keermiddelen gesloten moeten zijn, is gelijk aan de overschrijdingsfrequentie van het Open Keer Peil op de Maas: een waterstand van NAP +5,30 m heeft een overschrijdingsfrequentie van 0,007 maal per jaar. Daarmee kan de maximaal toelaatbare kans op niet sluiten worden berekend als:

$$p_{ns} < 0,09 \times \text{norm} / n_j = 0,09 \times 0,0008 / 0,007 \approx 0,0103$$

In de TAW Leidraad Waterkerende Kunstwerken worden vier onderdelen onderscheiden die de betrouwbaarheid van een sluiting bepalen:

- het hoogwateralameringssysteem;
- de mobilisatie;
- de bedieningsprocedure voor de sluiting (zie voorbeeld van foto 11.1);
- de bedrijfszekerheid van de afsluitmiddelen.

Indien wordt gesteld dat de eerste 2 bijdragen te verwaarlozen zijn omdat de sluis buiten bediende uren hoogwaterkerend is gesloten, dan is de totale faalkansruimte voor niet sluiten beschikbaar voor "de bedieningsprocedure voor de sluiting" en "de bedrijfszekerheid van de afsluitmiddelen".

Bij het vaststellen van de kans op niet sluiten van deze bijdragen is het zinvol rekening te houden met de beschikbare tijdsruimte tussen het moment waarop moet worden gesloten (sluitpeil) en het moment

waarop de deur moet zijn gesloten (open keerpeil).

Wegens het vastgestelde maximum-schutpeil van NAP +5,00 m zullen de hoogwaterkerende keermiddelen al bij waterstanden beneden dit peil gesloten moeten worden. Met de gegeven stijgsnelheid van de waterstanden van 0,50 m per dag, is er tussen het moment van overschrijding van het maximum-schutpeil en het moment van overschrijding van het open keerpeil een tijds marge aanwezig van 14,4 uur. Daarmee kunnen alle faaloorzaken met een kortere duur dan 14,4 uur worden verwaarloosd, omdat deze tijd kunnen worden ondervangen.

De bedieningsprocedure voor de sluiting

Een inschatting van de kans op een falende bediening van een ter plaatse bediende schutsluis is $1,0E-4$ per vraag. Aangenomen is dat de gemiddelde duur van dit falen 3 uur bedraagt. Daarmee kan de bijdrage aan p_{ns} worden verwaarloosd omdat de beschikbare tijd om te corrigeren minimaal 14,4 uur bedraagt.

De bedrijfszekerheid van de afsluitmiddelen

In stap 2.4.1, in de tabel "Ongeplande stremmingen Y", zijn de inschattingen van faalkansen leidend tot niet-beschikbaarheid voor schutten verzameld. Hiervan kan gebruik worden gemaakt voor de inschatting van de kans op niet sluiten door falende afsluitmiddelen.

In de tabel kunnen twee categorieën met faaloorzaken worden onderscheiden, met een faalduur die langer is dan 14,4 uur:

1. herstelduur gemiddeld 15 uur: frequentie = 1,7 per jaar;
2. herstelduur gemiddeld 36 uur: frequentie = 1,1 per jaar.

De kans dat een sluiting met het oog op dreigende overschrijding van het peil NAP +5,30 m mislukt, is op basis van bovenstaande gegevens te berekenen als $1,7 + 1,1 = 2,8$ per jaar. De kans per sluitvraag is dan te benaderen door deze kans te delen door het aantal sluitvragen per jaar. Op basis van het verwachte aantal schuttingen per jaar van 12000 wordt het aantal sluitvragen per jaar geschat op 6000. De kans op falen van de sluiting wordt daarmee berekend als $2,8 / 6000 = 0,000467$ per sluitvraag.

De bijdrage van mogelijk al eerder opgetreden falen tijdens het schutproces kan worden berekend als:
 $[1,7 \times (15 - 14,4) + 1,1 \times (36 - 14,4)] / (365 \times 24) = 0,00283$

De totale kans op niet sluiten p_{ns} is daarmee $0,000467 + 0,00283 \approx 0,0033$. Geëist was 0,0103. De kans op niet sluiten is dus klein genoeg.

Opgemerkt wordt dat de berekening van p_{ns} conservatief is. Indien het nodig was geweest, had de berekening scherper gekund. Bij de berekening van de kans op niet sluiten door falen van de afsluitmiddelen is gebruikgemaakt van de gegevens voor niet schutten. Deze hebben betrekking op de keermiddelen in beide hoofden en op falen in geopende en in gesloten stand. De kans op het in geopende stand falen van de hoogwaterkerende keermiddelen zal beduidend kleiner zijn, ook al omdat in noodgevallen veelal wel zal kunnen worden gesloten.

Stap 2.4.: Ontwerp van de hoofdfunctie schutten

Stap 2.4.1: *nb(Y): Niet-planbare niet-beschikbaarheid*

Om dit voorbeeld beperkt te houden, zijn de varianten A en B in het navolgende niet meer meegenomen. Voor de varianten 1C en 2C is voor niet-planbaar falen de volgende inschatting gemaakt. Het gaat om de voorontwerp-fase, waarin de faalgebeurtenissen globaal zijn ingeschat. Voor de eenvoud is aangenomen dat de varianten 1C en 2C niet veel van elkaar zullen verschillen in niet-planbaar falen, maar dat het verschil tot uitdrukking komt in de planbare stremmingen (onderhoud aan het bewegingswerk is mogelijk als in de andere richting wordt geschut).

Met behulp van de kentallen 12000 schuttingen en 85% bediende tijd is een inschatting gemaakt van de niet-beschikbaarheid (Lit. [22.1]).

	uren stremming per jaar				herhalingsstijd van de stremming [jaren]			
	stremmingsduurklasse				stremmingsduurklasse			
	1 uur	4 uur	15 uur	36 uur	1 uur	4 uur	15 uur	36 uur
Aanvaring sluisdeur	0,3	1,1	3,9	6,2	2,9	3,6	3,8	5,8
Vuil tussen sluisdeur	0,2	0,5	1,3	3,2	5,5	7,4	11,3	11,3
Obstakel tussen sluisdeur	0,4	0,9	2,7	4,1	2,5	4,3	5,6	8,8
Bewegingswerk faalt	0,5	1,1	1,8	2,2	2,0	3,7	8,4	16,5
Signalering faalt	2,1	8,2	5,6	4,6	0,5	0,5	2,7	7,9
Nivelleerschuiten falen	0,3	1,2	4,3	8,1	3,1	3,3	3,5	4,4
Vuil tussen nivelleerschuit	0,5	1,1	1,7	2,1	2,0	3,8	8,8	17,1
Obstakel tussen nivelschuit	0,5	1,0	1,7	2,1	2,0	3,8	8,7	17,0
Stroomstoring	0,9	2,0	3,3	3,9	1,1	2,0	4,6	9,1

totaal aantal uren stremming: 85,7
niet-beschikbaarheid: 1,2%

De 1,2% niet-beschikbaarheid is als volgt onderverdeeld naar discipline:

installatietechniek 0,4%
werktuigbouw 0,3%
extern 0,5%

Op basis van deze verdeling kunnen de disciplines hun systemen ontwerpen.

Stap 2.4.2: nb(Z): Geplande niet-beschikbaarheid

Voor de geplande stremmingen is eveneens een globale lijst opgesteld met gebeurtenissen waarbij de sluis buiten bedrijf is. In dit geval is onderscheid gemaakt tussen de varianten 1C en 2C. Bij de variant met dubbele deuren kan namelijk onderhoud gepleegd worden aan de set deuren waarmee op dat moment niet gesloten wordt.

Geplande stremming Z, variant 1C

	uren stremming per jaar				herhalingsstijd van de stremming [jaren]			
	stremmingsduurklasse				stremmingsduurklasse			
	1 uur	4 uur	15 uur	36 uur	1 uur	4 uur	15 uur	36 uur
Inspectie van civiele delen (kolk ed.)	0,3	0,8	0,7	1,7	3,9	5,1	20,9	21,2
Inspectie staal (bolders ed.)	0,3	1,2	1,4	3,3	2,9	3,4	10,7	10,8
Inspectie bewegingswerk	0,6	1,4	2,3	3,8	1,8	2,9	6,6	9,6
Inspectie signalering	0,2	0,3	0,6	1,1	6,5	12,4	24,9	32,5
Inspectie schuiven	0,2	0,4	0,7	1,1	5,5	10,5	21,1	31,7
Inspectie stroomvoorziening	0,7	2,6	4,9	4,9	1,4	1,5	3,0	7,4
Inspectie deur	0,3	0,9	2,5	5,0	3,4	4,6	6,0	7,2
Onderhoud civiel	0,0	0,1	0,3	0,6	20,7	33,2	45,3	57,4
Onderhoud staal	0,0	0,1	0,3	0,7	53,9	54,0	54,3	54,5
Onderhoud stroomvoorziening	0,2	0,3	0,7	1,3	6,5	12,6	20,4	28,3
Onderhoud deur	0,9	1,8	2,7	3,3	1,1	2,2	5,6	10,8
Onderhoud bewegingswerk	1,9	3,5	6,6	6,3	0,5	1,1	2,3	5,7
Onderhoud signalering	1,5	2,8	5,2	2,6	0,7	1,4	2,9	14,1
Onderhoud nivelleerschuiten	0,1	0,2	0,4	0,8	10,4	20,8	33,4	45,6
Overige geplande gebeurtenissen	0,1	0,1	0,3	0,7	10,5	49,3	50,1	50,5

totaal aantal uren stremming: 90,4
niet-beschikbaarheid: 1,2%

Geplande stremming Z, variant 2C

	uren stremming per jaar				herhalingsstijd van de stremming [jaren]			
	stremmingsduurklasse				stremmingsduurklasse			
	1 uur	4 uur	15 uur	36 uur	1 uur	4 uur	15 uur	36 uur
Inspectie van civiele delen (kolk ed.)	0,3	0,8	0,7	1,7	3,9	5,1	20,9	21,2
Inspectie staal (bolders ed.)	0,3	1,2	1,4	3,3	2,9	3,4	10,7	10,8
Inspectie signalering	0,2	0,3	0,6	1,1	6,5	12,4	24,9	32,5
Inspectie schuiven	0,2	0,4	0,7	1,1	5,5	10,5	21,1	31,7
Inspectie stroomvoorziening	0,7	2,6	4,9	4,9	1,4	1,5	3,0	7,4
Inspectie deur	0,3	0,9	2,5	5,0	3,4	4,6	6,0	7,2
Onderhoud civiel	0,0	0,1	0,3	0,6	20,7	33,2	45,3	57,4
Onderhoud staal	0,0	0,1	0,3	0,7	53,9	54,0	54,3	54,5
Onderhoud stroomvoorziening	0,2	0,3	0,7	1,3	6,5	12,6	20,4	28,3
Onderhoud deur	0,9	1,8	2,7	3,3	1,1	2,2	5,6	10,8
Onderhoud signalering	1,5	2,8	5,2	2,6	0,7	1,4	2,9	14,1
Onderhoud nivelleerschuiten	0,1	0,2	0,4	0,8	10,4	20,8	33,4	45,6
Overige geplande gebeurtenissen	0,1	0,1	0,3	0,7	10,5	49,3	50,1	50,5

totaal aantal uren stremming: 64,1
niet-beschikbaarheid: 0,9%

Stap 2.5: Toetsen van de varianten aan de eisen

Samenvatting stremmingspercentages

variant	eis				ontwerp				voldoet?
	X	Y	Z-totaal	Z-kort	X	Y	Z-totaal	Z-kort	
1C	2	0,71-1,22	3	0,3	0,004	1,2	1,2	0,3	ja
2C	2	0,71-1,22	3	0,3	0,004	1,2	0,9	0,2	ja

Voor Z-kort zijn alle stremmingen van 6 uur en minder genomen.

De varianten voldoen dus beide aan de gestelde eisen en kunnen puur op basis van kosten worden vergeleken.

Stap 2.6: Variantkeuze**Stap 2.6.1: Vaststellen van de levensduurkosten**

In deze paragraaf zijn de kosten bepaald over een levensduur van 100 jaar. Deze kosten zijn opgebouwd uit drie elementen:

- de stichtingskosten;
- de kosten van ongeplande stremmingen: gezien het onvoorspelbare karakter is hier het jaargemiddelde genomen. Deze jaargemiddelden zijn met de Netto Contante Waarde-methode (NCW) over de levensduur gesommeerd;
- de kosten van geplande stremmingen: hiervan zijn de intervallen bekend, waardoor het per gebeurtenis bekend is wanneer er uitgaven te verwachten zijn. Deze uitgaven zijn per gebeurtenis met de NCW-methode over de levensduur gesommeerd.

Stichtingskosten

Voor het vaststellen van de stichtingskosten is uitgegaan van variant 1C, met een ontwikkelde deurlengte van 15 meter en een deurhoogte van 9,5 meter. Vanuit deze variant zijn de kosten van variant 2C afgeleid. Het betreft hier niet de werkelijke kosten, maar de kosten van de onderscheidende delen.

Stichtingskosten in kf:

	deuren	bewegingswerk	installatietechniek	totaal
1C	1.650	1.240	950	3.840
2C	2.475	2.232	1.150	5.857

Kosten van ongeplande stremmingen (Y) over de levensduur

Bij het opstellen van de kosten van de ongeplande stremmingen (Y), is geen onderscheid gemaakt tussen de varianten 1C en 2C. De keuze voor de capaciteit is hierop wel van invloed. Deze stremmingen, en dus ook de kosten die daarmee gemoeid zijn, hebben een onvoorspelbaar karakter. Om toch een goede voorspelling van de kosten over de levensduur te maken, is uitgegaan van de *verwachting* van de kosten per jaar. Die kosten zijn over de levensduur gesommeerd met de Netto Contante Waarde-methode. Deze methode gaat ervan uit dat we nu geld moeten reserveren voor gebeurtenissen in de toekomst. Door de reële rentevoet is dat niet het totale bedrag, maar bedrag/(1+r)ⁿ. Als bijvoorbeeld over 100 jaar 100.000 gulden nodig is, met een reële rentevoet van 5%, dan is volgens de NCW-methode nu 760 gulden nodig.

In dit voorbeeld zijn alleen de maatschappelijke kosten meegenomen, en niet de directe kosten.

De maatschappelijke kosten kunnen berekend worden met een filemodel:

$$K = 0,5 * N * \frac{I}{(1 - I/C)} * t^2 * w$$

met:

K = totale maatschappelijke schade gedurende de ontwerplevensduur door wachten van schepen in gulden

N = aantal stremmingen per jaar in een tijds categorie

I = intensiteit, hier 1,7 schepen per uur

C = capaciteit, hier 3 of 4 schepen per uur

t = gemiddelde tijdsduur van een stremmingscategorie

w = wachtkosten van een schip, voor vaarwegklasse IV 125 gulden per uur

Uitgewerkt voor variant 1C bij capaciteit 3 ontstaat het volgende beeld

stremmingskosten ongeplande stremmingen, bij capaciteit 3

	kans op een stremming [per jaar]				kosten van de stremming [gulden]			
	stremmingsduurklasse				stremmingsduurklasse			
	1 uur	4 uur	15 uur	36 uur	1 uur	4 uur	15 uur	36 uur
Aanvaring sluisdeur	0,3	0,3	0,3	0,2	84	1.095	14.490	54.359
Vuil tussen sluisdeur	0,2	0,1	0,1	0,1	45	527	4.903	28.239
Obstakel tussen sluisdeur	0,4	0,2	0,2	0,1	99	917	9.848	36.298
Bewegingswerk faalt	0,5	0,3	0,1	0,1	123	1.071	6.603	19.307
Signalering faalt	2,1	2,0	0,4	0,1	511	8.027	20.675	40.187
Nivelleerschuiten falen	0,3	0,3	0,3	0,2	80	1.200	15.652	71.785
Vuil tussen nivelleerschuit	0,5	0,3	0,1	0,1	120	1.042	6.244	18.586
Obstakel tussen nivelschuit	0,5	0,3	0,1	0,1	120	1.027	6.317	18.695
Stroomstoring	0,9	0,5	0,2	0,1	218	1.916	11.962	34.801

verwachte stremmingskosten per jaar: 437.173

variant	verwachte kosten per jaar	NCW over de levensduur
capaciteit 3	437.173	9.114.135
capaciteit 4	329.463	6.868.623

Kosten van geplande stremmingen (Z) over de levensduur

In principe wordt voor de geplande stremmingen een onderhoudshandboek opgesteld, waarin de verschillende onderhoudsritmes op elkaar worden afgestemd en geharmoniseerd. Voor de eenvoud is dat hier niet gebeurd. Wel wordt in de berekening van de stremmingskosten slechts gerekend met de halve intensiteit. Men verwacht namelijk dat het in dit geval half zo druk is als normaal, aangezien de stremming is aangekondigd.

De Netto Contante Waarde van de geplande stremmingen, uitgewerkt voor alle varianten:

variant 1C, cap 3: 2.866.878 gulden

variant 1C, cap 4: 2.609.011 gulden

variant 2C, cap 3: 2.066.960 gulden

variant 2C, cap 4: 1.881.043 gulden

Totaal

Gesommeerd, in kf:

	stichtingskosten	NCW ongeplande stremmingen (Y)	NCW geplande stremmingen (Z)	totaal
1C, cap3	3.840	9.114	2.869	15.823
1C, cap4	3.840	6.869	2.609	13.318
2C, cap3	5.857	9.114	2.067	17.038
2C, cap4	5.857	6.869	1.881	14.607

Stap 2.6.2: Vaststellen van de prijs-prestatieverhouding

Het blijkt dat de levensduurkosten van alle varianten in dezelfde orde liggen (Opmerking; de stichtingskosten van 1C zijn lager dan die van 2C). Op basis van kosten zou, welke capaciteit er ook gerealiseerd

wordt, gekozen kunnen worden voor variant 1C. Gesteld kan worden dat de verschillen zo klein zijn dat beide varianten verder uitgewerkt kunnen worden, of dat er op basis van andere, aanvullende criteria een keuze tussen de varianten gemaakt moet worden.

Verder biedt de laatste tabel met de uitsplitsing van de kosten de mogelijkheid om nog eens in detail naar de bijdragen aan de levensduurkosten te kijken en bijvoorbeeld kleine modificaties in de oorspronkelijke variant te maken.

Het toepassen van de Richtlijn Waterkerings- en Beschikbaarheidseisen leidt niet tot grote afwijkingen van de huidige werkwijze, maar draagt bij tot het integraler ontwerpen van kunstwerken.



Foto 23.1 Reconstructie van Kleine Sluis met links Zuiderluis te IJmuiden (1998)

Hoofdstuk 23 Voorbeelden

23.1 Zuider- en Kleine Sluis te IJmuiden

23.1.1 Inleiding

Aan de monding van het Noordzeekanaal bij IJmuiden ligt een sluizencomplex dat de poort vormt naar het Amsterdamse havengebied. Het complex bestaat qua schutsluizen in Noord/Zuid-richting en in afnemende grootte uit: Noordersluis, Middensluis, Zuidersluis en Kleine Sluis. Verder zijn een spuisluis en een gemaal aanwezig. De Midden-, Zuider- en Kleine Sluis, die al meer dan 100 jaar met de nodige aanpassingen in bedrijf waren, moesten een complete reconstructie ondergaan. De reconstructie werd gestart in 1987 en zal in 2001 zijn voltooiing vinden. De Noordersluis wordt vanaf het jaar 2000 gerenoveerd. Er zijn plannen om een nieuwe grote zeesluis te bouwen.

In deze beschrijving wordt de reconstructie van de Kleine Sluis en de renovatie van de Zuidersluis in grote lijnen behandeld. Dit is verschillend van de par. 20.5.2 en 20.5.3 die meer ingaan in de details van de reconstructie. Opgemerkt wordt dat reconstructie verder gaat dan renovatie, zie par. 20.2. De literatuur betreffende het project is te vinden in Lit. [23.1] t/m [23.7].

Het doel van de reconstructie / renovatie van de Zuider- en Kleine Sluis is om gedurende 50 jaar de sluizen opnieuw optimaal te laten functioneren en te laten voldoen aan de huidige eisen van bedrijfszekerheid, bedrijfsvoering en Deltaveiligheid. Berekeningen gaven aan dat deze sluizen niet voldeden aan de Deltanorm. De oorzaak hiervan was dat verschillende constructie-onderdelen de vereiste sterkte en stabiliteit niet meer bezaten. Daarnaast kampten zowel de Kleine Sluis als de Zuidersluis met achterstallig onderhoud en verouderde installaties. Deze redenen vormden de aanleiding tot een planstudie over de toekomst van deze sluizen waarin een groot aantal alternatieven is opgenomen, variërend van algehele afdamming tot volledige vervanging en reconstructie.



Foto 23.2 Situatie bij Zuidersluis (links) en Kleine Sluis (rechts) te IJmuiden kort na aanvang werkzaamheden (1997); links-achteraan is de Middensluis zichtbaar.

Gekozen is voor de oplossingsvariant waarbij een renovatie werd beoogd van de Zuidersluis, in combinatie met een reconstructie van de Kleine Sluis tot sluis voor de recreatievaart. De Zuidersluis wordt voorzien van nieuwe deuren, bewegingswerken en een besturingssysteem terwijl de wanden van de hoofden en de kolk verstevigd en verhoogd worden. De Kleine Sluis is binnen de oude sluis volledig vernieuwd en verlengd tot dezelfde lengte als de Zuidersluis.

In het volgende (par. 23.1.2) wordt na een kort historisch overzicht allereerst antwoord gegeven op de vraag waarom reconstructie/renovatie en geen nieuwbouw. Daarna wordt het verdere ontwerp behandeld (par. 23.1.3).

23.1.2 Waarom reconstructie?

Historie

Gedurende 130 jaar verzorgt het Noordzeekanaal met het sluizencomplex in IJmuiden de poort van Amsterdam met de Noordzee. Sinds die tijd heeft het complex een reeks van ingrijpende veranderingen ondergaan. De Zuider- en Kleine Sluis zijn, samen met de oude spuisluis, midden in de duinen op staal gebouwd, omstreeks 1867 (zie foto 20.10). Bij de aanleg traden wellen op die een groot probleem vormden. Sommige waren tot grote, diepe gaten uitgespoeld. Door het aanbrengen van koeienhuiden als grote zeilen, verzwaard met grind en ballaststenen en daarop prefab betonblokken van 1 m³ (wat voor die tijd revolutionair genoemd mag worden) heeft men weer vaste voet onder de grond gekregen.

De Zuider- en Kleine Sluis bezaten een buiten- en binnenhoofd, met elk dubbele stellen puntdeuren. De Zuidersluis had bovendien een tussenhoofd met een stel (vloed)puntdeuren en de Kleine Sluis nog een extra stel (vloed)puntdeuren in het buitenhoofd. De sluizen zijn gefundeerd op staal. Voor de fundering van de hoofden werden achtereenvolgens aangebracht: een laag betonblokken, een laag stampbeton en een laag metselwerk, elke laag ca. 1 m dik. De wanden van de hoofden waren gemetseld. De kolkwanden zijn gefundeerd op een laag betonblokken en een laag metselwerk. De kolkwanden zijn ook van metselwerk. De Kleine Sluis was aan de zuidzijde uitgevoerd als groene kolk. De kolkvloeren bestonden uit zetsteen op een beslag van rijshout. De deuren zijn voor het laatst vervangen in de jaren 1967 - 1988 door stalen en houten (ebdeuren) exemplaren en voorzien van een panamawiel-aandrijving. De elektrische installatie dateerde uit 1962.

De instabiliteit van de hoofden en de wanden van de Zuidersluis en de Kleine Sluis heeft ertoe geleid dat er sinds 1986 voor beide sluizen een schutbeperking gold bij een waterstand beneden NAP -1,25 m en boven NAP +1,25 m. Verder bleek dat een flink aantal onderdelen en systemen aan vervanging toe was.

Reconstructie?

'Is dat nog wel de moeite waard', is een gedachte die vaak opkomt bij het opknappen van een bestaande constructie. Zo is het ook gegaan bij de afweging van de renovatie/reconstructie van de Zuider- en Kleine Sluis. In de jaren tachtig is uitgebreid onderzoek gedaan naar de conditie van de sluizen; vanwege de leeftijd van alle sluizen geen overbodige vraag. De betrouwbaarheid van de deuren en de bewegingswerken was van dien aard, dat vaak uitval optrad met alle gevolgen van dien. Ook bestond er een toenemend gevaar voor stremmingen bij vervanging van onderdelen en systemen. Stremming is voor de scheepvaart met haar belangen niet acceptabel en dient daarom als een dwingende randvoorwaarde te worden beschouwd.

Bepalend voor de keuze van reconstructie/renovatie is geweest dat onderzoek had uitgewezen dat vooral de civiele constructies nog steeds in erg goede staat verkeerden. Met een niet al te grote inspanning kon de levensduurverlenging van minimaal 50 jaar worden gerealiseerd, zonder dat de bestaande constructie geweld werd aangedaan. Bovendien konden de aanpassingen worden verricht zonder grote en langdurige stremmingen. Voor de overige disciplines gold dat vernieuwen van het onderdeel of systeem binnen het bestaande concept zeer wel mogelijk was. Hierbij kwam dat de huidige geometrie van de sluizen goed aansloot bij het toekomstige scheepsvaartaanbod.

De voordelen van reconstructie, afgezet tegen de hoge investeringskosten van nieuwbouw, hebben uiteindelijk de keuze voor reconstructie bepaald. Een bijkomende factor die bij de reconstructie een belangrijke rol heeft gespeeld, is dat het gehele complex, als een van de laatste schakels diende te voldoen aan de eisen van de Deltawet, waarmee niet langer dan strikt noodzakelijk gewacht kon worden. Met de reconstructie/renovatie van de sluizen kon nu ook tegelijkertijd en op vrij eenvoudige wijze de hoogwaterkering worden aangepast tot Deltahoogte. Om de omvang van de reconstructie per sluis te kunnen bepalen, diende de huidige status en daarmee samenhangende beperkingen bekend te zijn, alsmede het toekomstig gebruik.

De oorspronkelijke status van de beide sluizen is aangegeven in tabel 23.1.

Onderdeel/systeem	Aanleg	Kenmerk	Oorspronkelijke status	Reconstructie-eis
<i>Bodembescherming in sluis</i>	1876	zetsteen	voldoet niet bij overstroomende deur	voldoen aan overstroomende deur
<i>Wanden hoofden en kolk</i>	1876	metselwerk	niet stabiel	stabiel maken
<i>Puntdeuren</i>	1976	staal / hout	voldoen in huidige situatie	voldoen niet als dubbelkerende puntdeuren
<i>Bewegingswerken</i>	1958	panamakwadrant	voldoen niet	geheel nieuw systeem
<i>Draaibruggen</i>	1958	staal	voldoen niet	renoveren of vernieuwen
<i>Elektrische installatie</i>	1962		afgekeurd	geheel nieuw systeem
<i>Bedieningsgebouwen</i>	1959	bediening per hoofd	voldoen niet	centrale bediening
<i>Toeleidingswerken</i>	1957	houten dukdalven	voldoen niet	geheel nieuw systeem
<i>Bodem- en oeverbescherming voorhavens</i>	1876 en later	stortsteen	voldoet ten dele	aanpassen

Tabel 23.1 Status hoofdonderdelen van Kleine en Zuiderluis

23.1.3 Sluisontwerp

23.1.3.1 Planstudie

In de planstudie-fase werd er van uitgegaan dat de Zuiderluis gerenoveerd zou moeten worden. Om het stabiliteitsprobleem van de middenwand (de wand tussen Zuider- en Kleine Sluis) te kunnen oplossen, dienden aan de zuidzijde van de middenwand versterkingen te worden aangebracht. Deze zouden echter het schutbedrijf van de Kleine Sluis onmogelijk maken, waardoor de Kleine Sluis gedempt zou moeten worden. In de planstudiefase zijn verschillende varianten met bovenstaand uitgangspunt onderzocht.

Naast de bouwkosten speelde ook de schutcapaciteit en de daarmee samenhangende passeertijd (uit te drukken in kosten) een bepalende rol. Rekening werd daarbij gehouden met scheepvaartprognoses tot 2010.

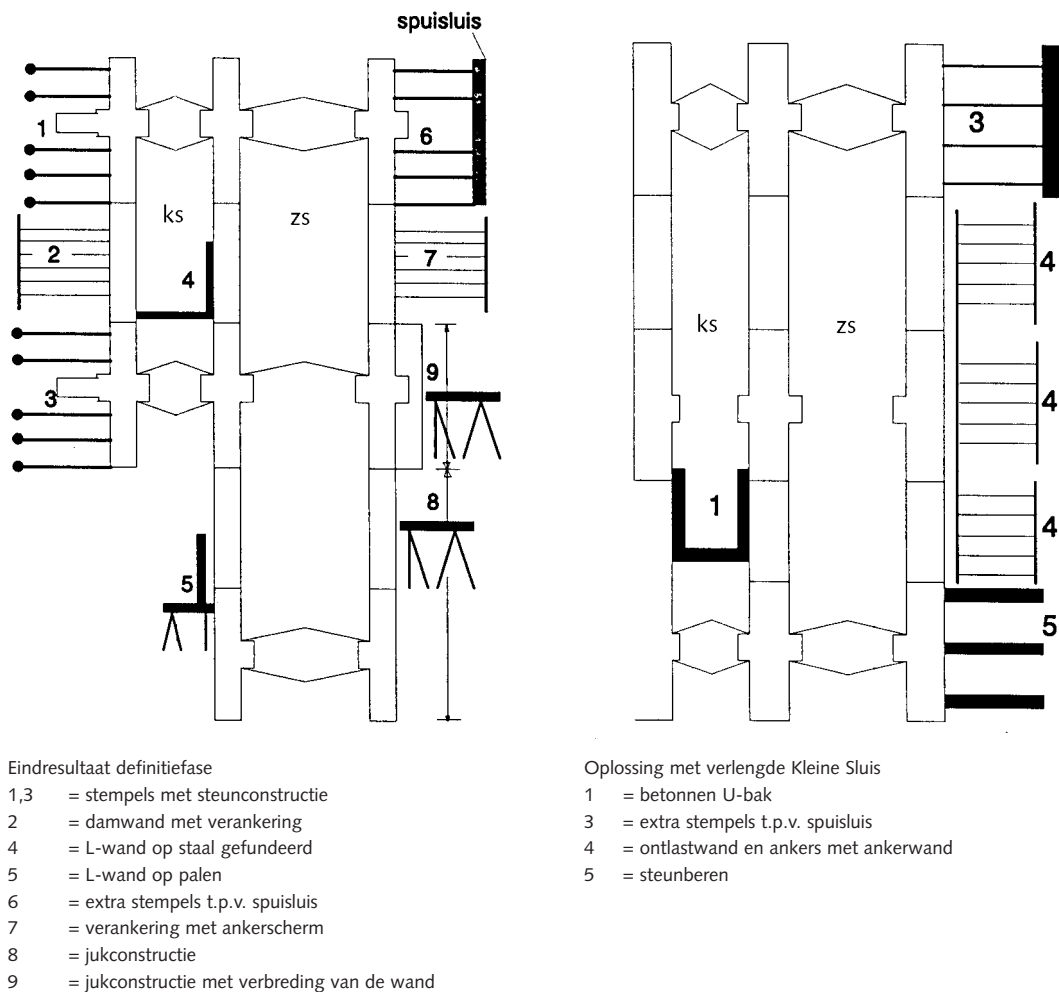
Omdat de capaciteit bij alle varianten voldeed en de passeertijden alleszins acceptabel waren, werd aanvankelijk mede vanwege de geringe initiële kosten, gekozen voor reconstructie van de Zuiderluis en afsluiting van de Kleine Sluis.

Later uitgevoerde simulaties op grond van bijgestelde prognoses gaven echter te zien dat bij deze oplossing, gegeven het scheepvaartaanbod, een vierde kolk noodzakelijk zou zijn. Drie kolken zouden tot ontoelaatbaar hoge wachttijden leiden. De sluisdienst (belast met het toewijzen van schepen naar de sluizen) was weinig gelukkig met het verdwijnen van een schutmogelijkheid voor de recreatievaart en de kleine binnenvaart, die daarmee niet meer snel en veilig apart gesloten konden worden.

Opnieuw werd bezien of ter plaatse van de Kleine Sluis een sluis voor de recreatievaart kon worden gebouwd die tevens de middenwand van de nodige stabiliteit zou kunnen voorzien. De oplossing voor het stabiliteitsprobleem werd in eerste instantie gevonden in het toepassen van een L-wand over de gehele lengte van de middenwand. Hiermee werd de planstudie-fase afgesloten.

23.1.3.2 Definitie-fase

Om een verantwoorde keuze te maken voor de wijze waarop de voor de sluisen geldende faalkans naar de constructieve onderdelen kon worden vertaald, is in de definitie-fase een risico-analyse uitgevoerd. Deze had betrekking op zowel de extreme situatie (stormconditie) in relatie tot Deltaveiligheid, als wel de functie van de Zuider- en Kleine Sluis. Het resultaat van deze analyse was dat naast de eerder genoemde L-wand constructie voor de tussenwand, een tweede stabiliteitsconstructie werd ontwikkeld. Deze bestond uit een U-vormige bak in de Kleine Sluis. Constructief ging de voorkeur naar deze laatste constructie uit. Onderstaand fig. 23.1 geeft een schematische weergave van beide oplossingen. Verder werd in deze fase het programma van eisen opgesteld.



Figuur 23.1 Eindresultaat definitie-fase en gerealiseerde oplossing met verlengde Kleine Sluis

23.1.3.3 Voorontwerp

In de voorontwerp-fase is een aantal varianten van de sluisen gegenereerd en zijn de belangrijkste keuzes van het ontwerp van de sluisen gemaakt.

Afmetingen van de Kleine Sluis

In de voorontwerp-fase werd voor de Kleine Sluis de oplossing met de U-bak gekozen. Het bleek namelijk dat bij toepassing van een L-vormige constructie voor de tussenwand, de deuren niet betrouwbaar genoeg konden sluiten door stijfheidsverschillen met de tegenoverliggende wand.

Wat betreft capaciteit en nautiek was een sluisbreedte van 11 m voor de Kleine Sluis voldoende. Bij deze breedte was het bovendien mogelijk de middenwand met stempels te steunen tijdens de bouw, als de

kolk werd drooggezet. Verder zou bij deze breedte de hoeveelheid sloopwerk in de Kleine Sluis beperkt blijven. Derhalve werd tot een reductie van de sluisbreedte naar 11 m besloten.

De lengte van de Kleine Sluis is eveneens in heroverweging genomen. Om te voldoen aan de Deltanorm zou het tussenhoofd van de Zuidersluis aanzienlijk gerenoveerd moeten worden. In kosten uitgedrukt was dit vergelijkbaar met het verlengen van de Kleine Sluis tot aan het einde van de Zuidersluis, inclusief de verschuiving van het binnenhoofd. Bovendien bood de verlenging nog andere voordelen, zoals minder sloopwerk, meer symmetrie, minder problemen met onder- en achterloopsheid.

Afgezien van een enkel ondergeschikt nadeel, lag verlenging van de Kleine Sluis met behulp van de U-bak constructie voor de hand. Derhalve werd besloten tot verlenging van de Kleine Sluis van 69 m naar 120 m. De Zuidersluis heeft dezelfde lengte.

Een dergelijk redenering was op de drempeldiepte van toepassing. Evenals bij de wanden moest, uitgaande van de oude drempeldiepte, een gedeelte van de oorspronkelijke vloer worden gesloopt. Berekeningen gaven echter aan dat met de dan resterende vloer geen droogzetsituatie kon worden gerealiseerd, zodat geen andere optie resteerde dan de U-bakconstructie op de bestaande vloer te plaatsen, dus zonder deze te slopen. In het groene kolkgedeelte is daartoe een onderwaterbetonvloer gestort. De drempeldiepte reduceerde hiermee van NAP -5,15 m tot NAP -3,75 m, hetgeen vanuit nautisch oogpunt geen problemen opleverde. Sterker nog, door de verminderde diepgang, zou een betere scheiding tussen recreatie- en kleine zeevaart ontstaan, waardoor soepeler kan worden ingespeeld op het streven naar het scheiden van scheepvaartstromen.

Mogelijke deurtypen

Als mogelijke deurtypen zijn onderzocht:

- handhaving enkelkerende puntdeuren (per hoofd 4 deuren);
- dubbelkerende puntdeuren in beide sluisen (enkele puntdeuren met een vergrendeling voor negatief verval, per hoofd 2 deuren);
- draaideuren in beide sluisen (dubbelkerend, per hoofd 1 deur);
- een combinatie van draaideuren in de Kleine Sluis en roldeuren in de Zuidersluis (dubbelkerend, per hoofd 1 deur).

Studies naar de toepassing van deze deurtypen toonden aan dat vervanging van de oorspronkelijke dubbele enkelkerende puntdeuren door dubbelkerende puntdeuren tot een duidelijke optimalisatie in kosten en bewegingstijden zouden leiden. Dit geldt voor beide sluisen. Bij negatief keren wordt de puntdeur vergrendeld door een drukkracht uit te oefenen in de trek/duwstang van het bewegingswerk. De lekkage blijft beperkt omdat de deur torsiestijf is uitgevoerd dankzij diagonalen in de open zijde van de deur. Als draaipunten is voor een taats en een halsbeugel gekozen en wel zodanig, dat de deur bij positief verval de belastingen direct via de aanslagen afdraagt. Bij negatief verval worden de krachten via taats, halsbeugel en trek/duwstang afgedragen.

Locatie technische ruimten en bedieningsgebouw

Onderzoek naar de meest geschikte locatie van de technische ruimten (ten behoeve van werktuigbouwkundige en elektrische voorzieningen) resulteerde in een duidelijke voorkeur om de technische ruimten dicht bij de bewegingswerken en deuren te plaatsen. Ten opzichte van een centraal gelegen technische ruimte had deze keuze als groot voordeel een aanzienlijke besparing op kabels en leidingen. De vier technische ruimten bevinden zich bij de buiten- en binnenhoofden aan de zuidkant van de Kleine Sluis en de noordkant van de Zuidersluis. De installaties van de middenwand zijn door middel van kabelkokers en een zinker verbonden met de technische ruimten aan de zuidkant.

Het bedieningsgebouw voor beide sluisen is aan de zuidzijde van de Kleine Sluis geplaatst met een goed, direct uitzicht op de kolk van de Kleine Sluis. De recreatievaart is bij laagwater dan ook goed zichtbaar.

Stremmingen Zuidersluis en Kleine Sluis tijdens de bouw

Het was de vraag of het verstandig zou zijn om de reconstructiewerkzaamheden aan de beide sluisen zoveel mogelijk te laten samenvallen, waardoor beide sluisen gestremd zouden zijn. Een andere optie was te wachten tot de reconstructie van de eerste sluis was afgerond, voordat met de tweede sluis begonnen werd; er zou steeds maar één sluis gestremd zijn. Bij het laten samenvallen van de werk-

zaamheden waren de bouwkosten lager, maar dit verschil viel weg tegen de extra kosten die nodig waren voor een zandtransportleiding ter ontlasting van het sluisencomplex (door Zuidersluis vindt veel zandtransport per schip plaats) en de extra hinder voor het scheepvaartverkeer.

In de afweging om de werkzaamheden aan de twee sluisen te laten samenvallen of na elkaar te zetten, speelde een snelle realisering van de hoogwaterkering mee. Nader onderzoek wees uit dat de Deltaveiligheid met een uitvoering achter elkaar net zo snel kon worden gerealiseerd als met een uitvoering tegelijkertijd.

Uiteindelijk is gekozen is voor uitvoering na elkaar en wel eerst de Kleine Sluis en daarna de Zuidersluis.

Bouwmethode

Een belangrijke variantkeuze vormde de bouwmethode van de Kleine Sluis. Onderzocht werden:

- pneumatisch afzinken van elders geprefabriceerde U-bak-elementen;
- het in situ bouwen van de U-bak.

Bepalend voor de methode was de vrijheid van handelen ten aanzien van de maximaal te verkrijgen breedte van de Kleine Sluis. Zoals eerder werd aangegeven, diende een deel van de metselwerkwand ter plaatse van de hoofden te worden gesloopt. De afzinkmethode vroeg echter om een behoorlijke manoeuvreerruimte, die in de oude kolk niet voldoende aanwezig was. Ook diende bedacht te worden dat de kosten van een bouwdok in de directe omgeving aanzienlijk zouden zijn. Naast deze bezwaren waren het vooral de uitvoeringsaspecten die bij de keuze voor in situ bouwen een doorslaggevende rol hebben gespeeld. De bouwkuip bestond voor een deel uit de oude sluis en voor een ander deel uit een nieuw aangebrachte onderwaterbetonvloer met damwanden (foto 23.1).

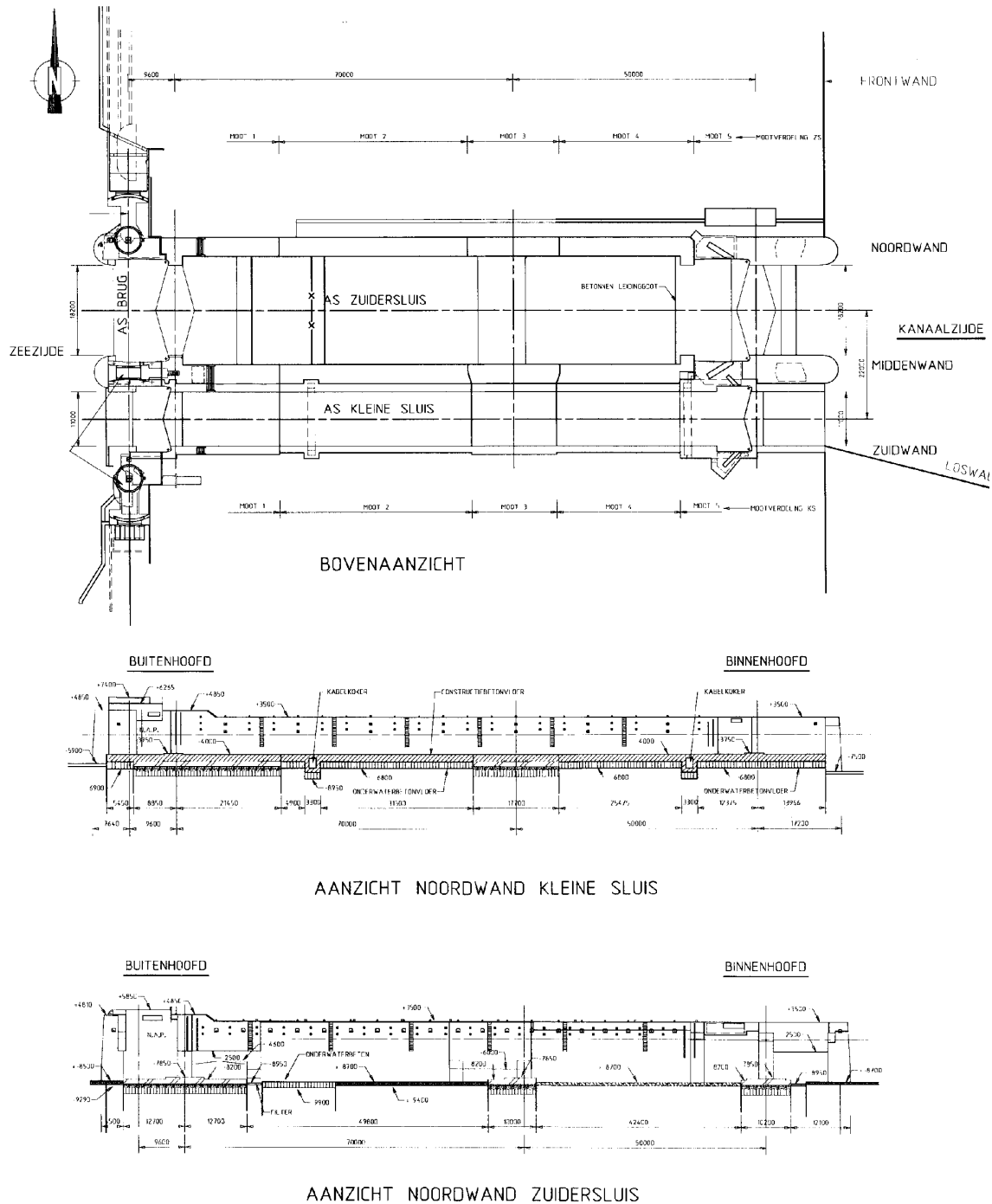
23.1.3.4 Civieltechnische constructies

In de ontwerpfase werden de verschillende hoofdonderdelen, die in grote lijnen gekozen zijn in het voorontwerp, verder uitgewerkt. Van beide sluisen zijn alle deuren, bewegingswerken, oplegpunten en besturings- en bedieningszaken vernieuwd. De Kleine Sluis werd een volledig nieuwe sluis, voor een deel geplaatst in de oude sluis. De Zuidersluis werd voorzien van versterkte en verhoogde wanden terwijl de kolkvloer intact bleef. Fig. 23.2 geeft een overzicht van de twee sluisen.

Bouwkuip Kleine Sluis



Foto 23.3 Stempeling wanden, onderwaterbetonvloer met groutankers, Kleine Sluis



Figuur 23.2 Overzicht Kleine Sluis en Zuidersluis na reconstructie/renovatie

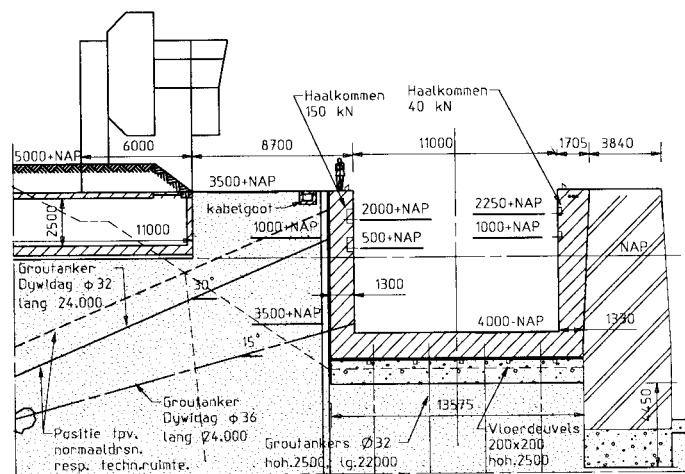
De realisatie van de bouwkuip van de Kleine Sluis geschiedde in fasen, waarbij begonnen werd met het drukken van damwanden aan de oostzijde van de Kleine Sluis en langs de groene kolk (foto 23.2). Aanvankelijk zouden alle damwanden worden geheid, maar onderzoek wees uit dat een aantal gebieden gevoelig was voor zettingsvloeiingen. Daarom is afgezien van heien en gekozen voor het drukken van damwandplanken. De ruimte tussen de damwanden en het talud werd aangevuld met zand, nadat de damwanden verankerd waren. Na het verwijderen van de zetsteen in de kolk en het slopen van de drempels in de hoofden, konden verticale trekelementen (groutankers) op de plaats van daarna aan te brengen sluisvloer worden aangebracht. Dit alles geschiedde vanaf een ponton, zodat de damwandkuip pas kon worden gesloten nadat deze ponton de bouwlocatie verlaten had. Na aanbrengen van de laat-

ste damwand werd de onderwaterbetonvloer gestort en werden alle groutankers afgespannen. De kuip werd pas drooggezet nadat een stempeling van de wanden binnen de kuip was aangebracht (foto 23.3).

Fundering van de Kleine Sluis

De te maken fundering werd vooral ingegeven door de droogzetsituatie tijdens de reconstructie. Daarbij moest voorkomen worden dat de sluis zou opdrijven. In het nieuwe gedeelte van de sluisolk is eerst 2 m grond ontgraven onder water en opgevuld met grind. Daarna zijn verticale groutankers onder water aangebracht. Onderwaterbeton is gestort en verhard waarna de groutankers onder water zijn afgespannen. Vervolgens kon de bouwput drooggepompt worden. Het voorspannen van de ankers genereert een extra wrijvingskracht tussen de constructie en de ondergrond die een gunstige uitwerking heeft op het horizontale evenwicht.

U-bakconstructie Kleine Sluis



Figuur 23.3 Doorsnede kolk Kleine Sluis ter plaatse van de voormalige groene kolk



Foto 23.4 Vloerwapening binnenhoofd Kleine Sluis

De U-bakconstructie van de Kleine Sluis is opgebouwd uit een monoliete gewapend-betonconstructie, die grofweg kan worden opgedeeld in een vloer en twee wanden (fig. 23.3). De constructievloer werd op het onderwaterbeton aangebracht, met daartussen een uitvullaagje van grind. De verankering van de vloer in verticale zin is gewaarborgd door de groutankers, die in de vloer zijn opgenomen (foto 23.3). Horizontale verschuiving tussen de constructievloer enerzijds en de bestaande metselwerkvloer en de onderwaterbetonvloer anderzijds, werd via deuwelwerking (met sparingen in beide laatste vloeren) opgevangen. Tevens werden sluisvoorzieningen als drempels en taatsen in deze vloer gestort. De gehele sluis is in vijf moten gemaakt, die onderling gekoppeld werden door dilatatie-voegprofielen.

De horizontale stabiliteit werd waar nodig verzekerd door het aanbrengen van groutankers, onder meer ter plaatse van de zuidelijke kolkwand. Tevens werden de bewegingswerkkelders vernieuwd. Het sluis-meubilair zoals haalkommen, ladders, aanslagen, enz. alsmede halsbeugels werden in de wanden meegestort. Zie verder de bouwfoto's 23.1, 23.3, 23.4, 23.5, 23.6 en 23.7.



Foto 23.5 Kleine Sluis in afbouwstadium met zicht op buitenhoofd

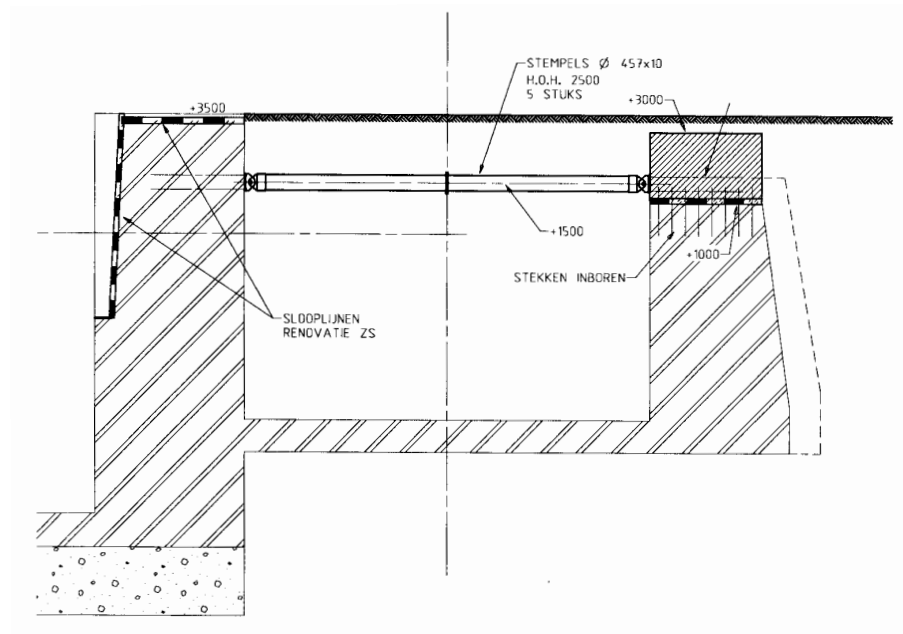


Foto 23.6 Kleine Sluis in afbouwstadium met zicht op kolk en binnenhoofd



Foto 23.7 Kleine Sluis na voltooiing

Buitenhoofd Zuidersluis



Figuur 23.4 Versterking buitenhoofd Zuidersluis aan noordzijde

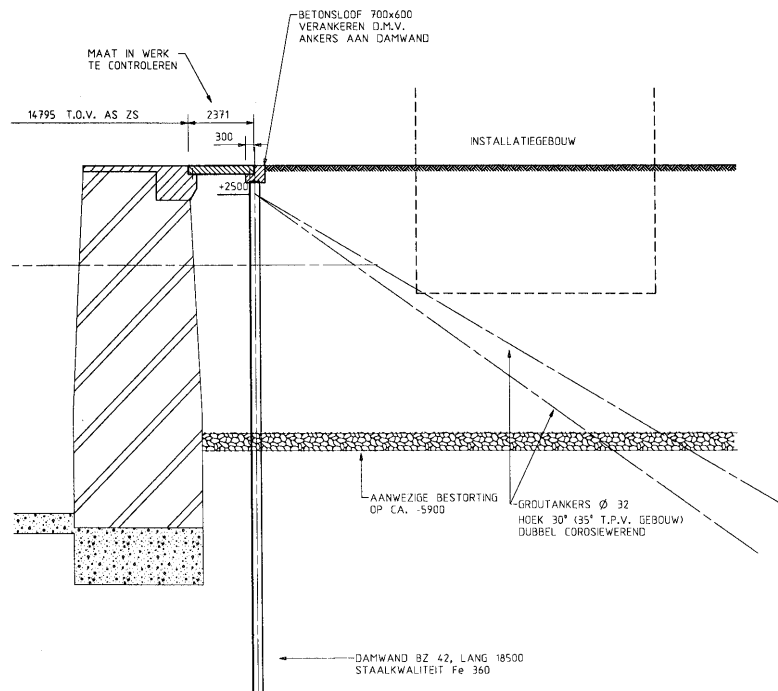


Foto 23.8 Versterking buitenhoofd en kolkwand Zuidersluis aan noordzijde

De noordwand van het buitenhoofd is versterkt door de wand met stempels te verbinden met de voormalige spuisluis, zodat deze als één geheel samenwerken als een doos zonder zijwanden (fig. 23.4 en foto 23.8).

De zuidwand van het buitenhoofd is direct verbonden met het nieuwe U-vormige buitenhoofd van de Kleine Sluis.

Kolkwanden Zuidersluis



Figuur 23.5 Versterking noordelijke kolkwand Zuidersluis

Kritieke situaties in de noordelijke kolkwand van de Zuidersluis konden optreden bij laagwatercondities in de kolk. Dit omdat de als gewichtsconstructie werkende metselwand dan niet meer in staat was een voldoende tegenwerkend koppel te leveren tegen de horizontale grond- en waterdrukken. Voor het waarborgen van de standzekerheid onder dergelijke condities werd een ontlastwand vlak achter de sluiswand geplaatst, bestaande uit een verankerde damwand (fig. 23.5 en foto 23.8). Daarmee werd de noordelijke kolkwand van zijn functie als keerwand ontheven en doet alleen dienst voor het afmeren van schepen. De feitelijke stabiliteit wordt door de ontlastwand verzorgd. De kolkwand en het ontlastscherm waren onderling gekoppeld door een trek/drukkoppeling in de vorm van een betonplaat op dekzerkhoogte.

De zuidelijke kolkwand is direct verbonden met de U-vormige kolk van de Kleine Sluis.



Foto 23.9 Renovatie zuidelijke kolkwand Zuidersluis.

Technical cross-section drawing of a dam structure. The drawing shows a concrete dam wall on the left, a central vertical structure, and an installation building on the right. Key dimensions and labels include:

- Top Dimensions:** 15000 T.O.V. AS ZS, (14795 T.O.V. AS ZS), 2800, (3005), 1200, 300, 400.
- Vertical Dimensions:** 1500, 2525, 3500.
- Horizontal Dimensions:** 2000, 1000.
- Labels:**
 - BETONSLOOF 700x600 VERANKEREN D.M.V. ANKERS AAN DAMWAND
 - INSTALLATIEGEBOUW
 - BETONPROP MET STEKKEN BUIS VOORZIEN VAN KNAAGEN
 - 45°
 - BUIS Ø 1220x16 HOEK 45°
 - AANWEZIGE BESTORTING OP CA. -5800
 - 9200
 - ONTGRAVEN TOT -9200
 - BUIS Ø 1220x16 MET BAMWAND BZ 42
 - 25000
 - AANBRENGEN ONDERWATERBETON DIK 1250
 - 23000

A large-scale construction site for a bridge or tunnel. The foreground shows a deep excavation with steel reinforcement (rebar) and concrete structures. A large crane is visible in the background, and a bridge structure is under construction.

Net als bij het buitenhoofd kunnen op de noordelijke metselwerkwand van het binnenhoofd van de Zuiderluis ter hoogte van de deuraanslagen door extreme vervalsituaties grote horizontale belastingen worden uitgeoefend. De trek/duwstang van het bewegingswerk met zijn wisselende belastingen speelt

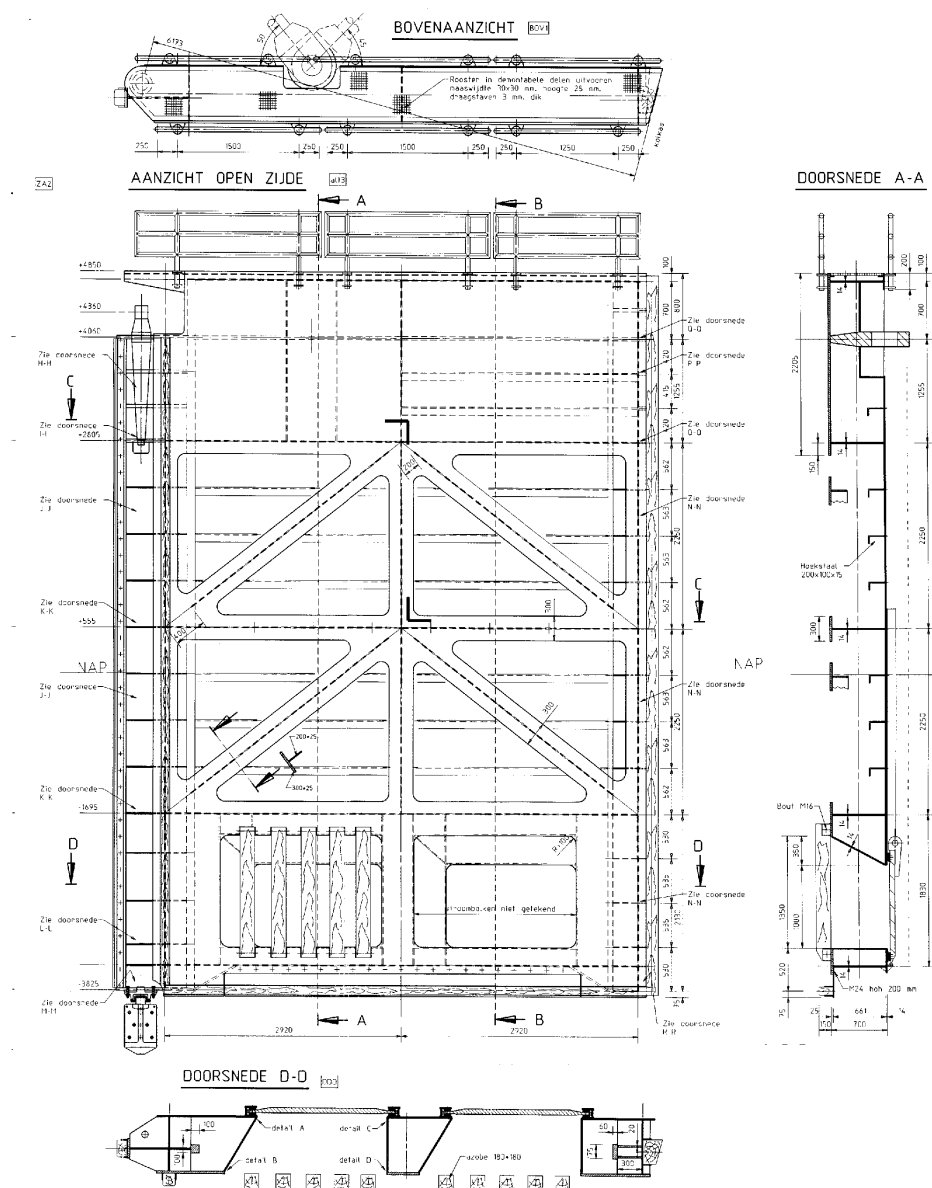
daarbij een belangrijke rol. De noordelijke metselwerkwand van het binnenhoofd kon dit niet zonder extra voorzieningen opnemen.

Aangezien zowel druk als gevolg van spatkrachten uit de deuren, alsmede trek ten gevolge van extreme laagwater situaties kunnen optreden, moest een jukconstructie achter de metselwerkwand worden toegepast (fig. 23.6 en foto 23.10). De jukconstructie die aan strenge vervormingseisen moet voldoen, bestaat uit de op enige afstand van de kolkwand geplaatste combiwand (damwandplanken afgewisseld door buispalen) en onder 45° geheide stalen buispalen. De combiwand en de schuine palen werden met een betonnen sloof met elkaar en met de bovenkant van de metselwerkwand verbonden. Aan de onderzijde is tussen combiwand en metselwerkwand onderwaterbeton aangebracht.

De zuidwand van het binnenhoofd van de Zuidersluis is direct verbonden met het nieuwe U-vormige binnenhoofd van de Kleine Sluis.

23.1.3.5 Staal- en werktuigbouwkundige constructies

Deuren



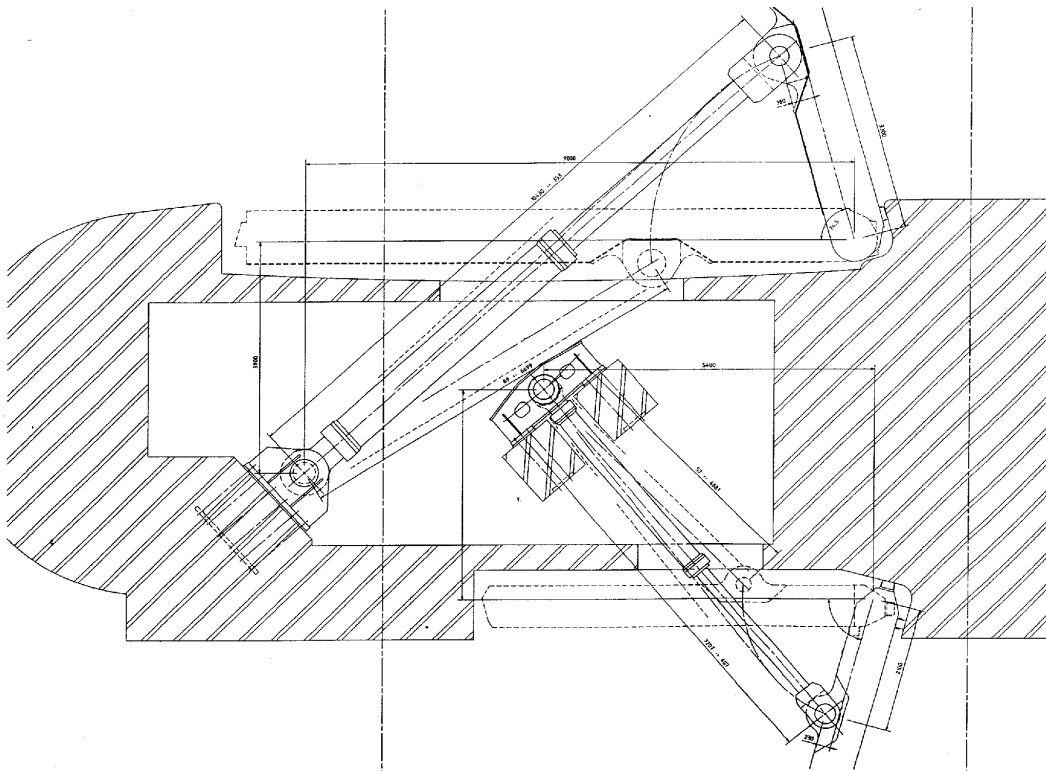
Figuur 23.7 Overzicht sluisdeur Kleine Sluis voor buitenhoofd

De puntdeuren van de Zuidersluis en de Kleine Sluis zijn dubbelkerend. Gekozen is voor een deurdikte van 0,90 m voor de Zuidersluis en 0,70 m voor de Kleine Sluis (fig. 23.7). Het niveau van de bovenzijde van de beplating is aan de zeezijde NAP +4,85 m en aan de kanaalzijde NAP +3,50 m. Conform de oorspronkelijke situatie is de deurhelling gehandhaafd op 1 : 3,7 (niet de gebruikelijke helling van 1 : 3 van tegenwoordig). Het aangrijpingspunt van de trek/duwstang is ter plaatse van de bovenregel. Het hoofddraagsysteem bestaat uit de waterkerende beplating, stijlen, regels, eindharren en diagonalen.

Bij positief keren staat de waterbelasting zodanig tegen de deur dat deze in de richting van de drempel gedrukt wordt. Voor taats en halsbeugel is gekozen voor vrijdraaipunten. De deuren liggen ter plaatse van de voorharren tegen elkaar aan, de onderregel ligt tegen de drempel en de achterharren worden ter plaatse van de kolkwand door de zij- en achteranslagen gesteund. Bij ontwerp en uitvoering is veel aandacht besteed aan plaatsings- en vervormingstoleranties (denk aan speling in de opleggingen, lekverlies). Bij negatief keren staat de waterbelasting zodanig tegen de deur dat deze van de drempel afgeduwd wordt. Zonder vergrendeling door een drukkracht in de duwstang zou de deur door het water opengedrukt worden. Omdat de drukkracht in de duwstang groter is dan de kracht die theoretisch gezien nodig is om het systeem in evenwicht te houden, worden de deuren ter plaatse van de bovenregel aan de voorhar tegen elkaar gedrukt. De deur wordt dus op deze locatie door de duwstang gesteund en aan de kolkwandzijde door taats en halsbeugel. De waterbelasting zorgt ervoor dat de deur om de lijn bovenkant voorhar - taats weg wil draaien. Dit mechanisme veroorzaakt een wringend moment in de deur. Diagonalen in de open zijde van de deur geven de deur voldoende torsiestijfheid.

Deurbewegingswerken

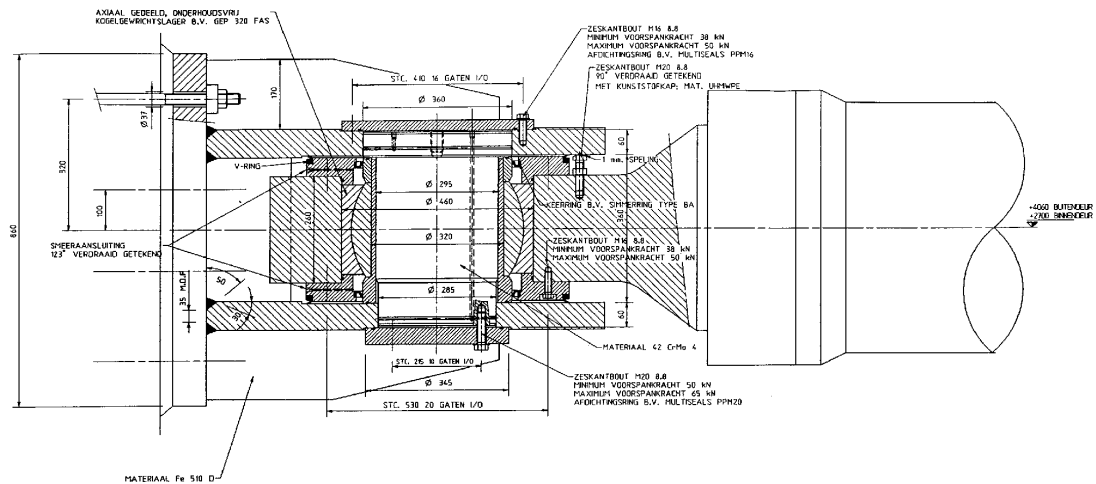
Als deurbewegingswerk is gekozen voor hydraulische cilinders. De voordelen ten opzichte van andere systemen (panama-wiel en heugelstang) zijn: de compacte constructie, geen problemen als de constructie onder water heeft gestaan, het goed kunnen begrenzen van de duw-perskrachten in de eindstanden (voorwerp bij drempel of plotseling optreden van seiches) en het onderhoudsvriendelijk zijn (geen open tandwiel-overbrenging).



Figuur 23.8 Opstelling cilinders deurbewegingswerk in tussenwand van buitenhoofd Kleine en Zuidersluis

Het aangrijpingspunt van de zuigerstang aan de deur wordt dicht bij het draaipunt van de deur gekozen zodat de werkslag klein is en de kans op aanvaren gering. Door de korte werkslag is de inbouw lengte gering en is de bewegingswerkkelder minder diep. Dit is vooral van belang ter plaatse van de tussenwand van Zuidersluis en Kleine Sluis (fig. 23.8). De cilinder wordt met een stoel scharnierend aan de betonwand bevestigd, wat een eenvoudige constructie oplevert zonder kans op uitlijnfouten bij montage (fig. 23.9).

De trek/duwstang van het bewegingswerk zorgt voor de vergrendeling van de deuren bij een negatief verval. Hoewel vergrendeling op een laag niveau gunstig is voor het krachterspel op de deur, moet deze in verband met inspectie en onderhoud boven het maximum schutpeil worden aangebracht.

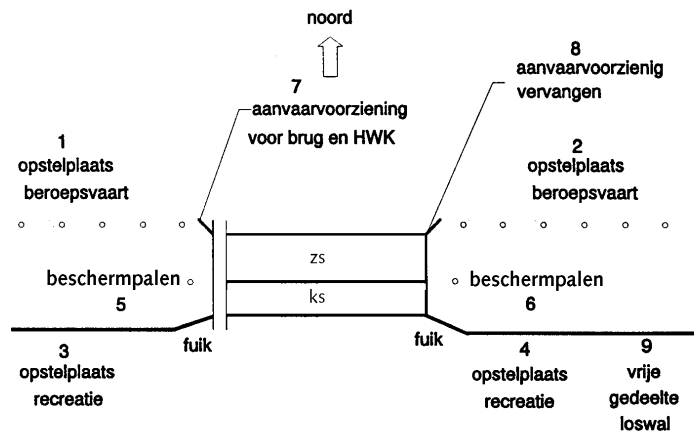


Figuur 23.9 Draaipunt cilinder-wand van deurbewegingswerk Zuiderluis



Foto 23.11 Deurbewegingswerk Kleine Sluis

23.1.3.6 Toeleidingswerken en aanvaarbeschermingen



Figuur 23.10 Plaatsaanduiding toeleidingswerken en aanvaarbeschermingen

De toeleidingswerken in de voorhavens zijn bijna geheel vernieuwd. Onderscheid wordt gemaakt in toeleidingswerken (1 t/m 4) en aanvaarbeschermingen (5 t/m 8) (zie fig. 23.10).

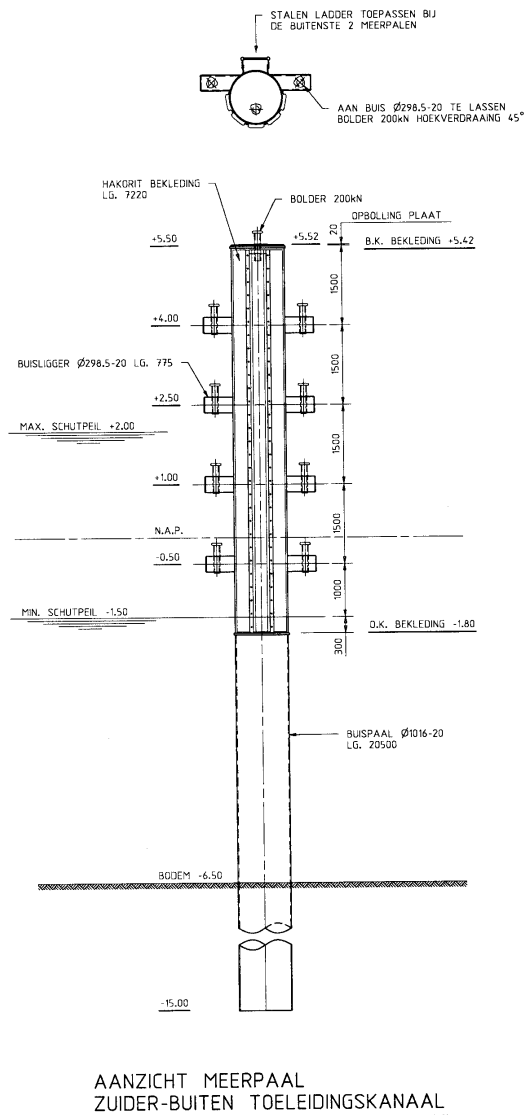
Voor de Zuiderluis zijn, over ca. 150 m verdeeld, negen meerstoelen voor de beroepsvaart aan de noordzijde (1 en 2) geplaatst. Een meerstoel bestaat uit een buisprofiel met aan weersijden bolders daaraan vastgelast. De voorzijde is voorzien van kunststof bekleding (fig. 23.11).

Voor de recreatievaart van de Kleine Sluis zijn aan de zuidzijde doorgaande, vaste remmingwerken (3 en 4) met fuike geplaatst (fig. 23.12 en foto 23.12). Omdat de Kleine Sluis in principe ook toegankelijk is voor beroepsvaart zijn deze remmingwerken gedimensioneerd op een aanvaarenergie voor geladen CEMT-klasse III schepen. Aan de zeezijde is het remmingwerk verlengd voor douane- en rijksvaartuigen en aan de kanaalzijde voor binnenvaart en een loswal (9).

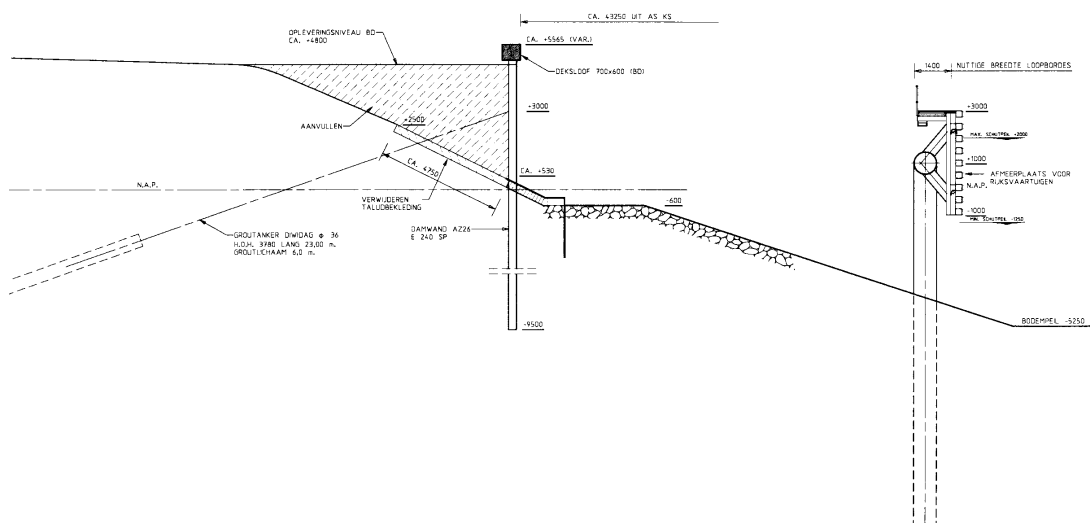
Om de tussenwand van Zuider- en Kleine Sluis te beschermen tegen aanvaringen is deze zowel aan de zee- als aan de kanaalzijde (5 en 6) voorzien van drie beschermipalen, bekleed met kunststof. Ook de noordwand van de Zuiderluis wordt aan zee- en kanaalzijde (7 en 8) beschermd door een beschermipaal, bekleed met kunststof.



Foto 23.12 Opstelplaats en fuik recreatievaart Kleine Sluis aan zeezijde



Figuur 23.11 Meerpaal Zuidersluis aan zeezijde



Figuur 23.12 Doorsnede van opstelplaats recreatievaart Kleine Sluis aan zeezijde

23.2 Tweede sluis te Lith

23.2.1 Inleiding

In de jaren dertig is in de Maas een aantal schutsluizen en stuwen gebouwd. Eén hiervan is het sluis- en stuwcomplex bij Lith (nabij Oss). De schutsluis is in de loop van de jaren intensief gebruikt. De laatste jaren door steeds grotere binnenvaartschepen en meer recreatievaartuigen.

De schutsluis van dit complex vormde al jaren een knelpunt voor de scheepvaart in de oost-west tak van de Maas: regelmatig moesten schepen urenlang voor de sluis wachten. Omdat de oost-west tak van de Maas een alternatieve route vormt voor de Waal kon ingeval van laagwater op de Waal het wachten zelfs oplopen tot een paar dagen. Uit onderzoek bleek al snel dat de problemen bij Lith niet konden worden opgelost met het aanpassen van de bestaande sluis.

De Maas is een onderdeel van het hoofdvaarwegennet in Nederland. Het streefbeeld voor de Maas is een rivier die bevaarbaar is voor klasse-Vb schepen (gestrekte 2-baks duwvaart, 3200-6000 ton). Rijkswaterstaat directie Limburg heeft in 1987 een studie gestart om het beleid en beheer van de Maas af te stemmen op toekomstige ontwikkelingen. Begin 1990 kwam de lange termijnvisie gereed, verwoord in de Toekomstvisie Maas. Later werd deze studie Modernisering Maasroute (MOMARO) genoemd. In 1990 accordeerde de directieraad van de RWS de te volgen strategie en werd aan de RWS directie Limburg opdracht gegeven om de visie in concrete plannen om te zetten.

Voor het knelpunt te Lith werden verschillende projectstudies uitgevoerd. In 1994 werd besloten een tweede sluis te bouwen met een grotere capaciteit en onbeperkte doorvaarthoogte. In 1996 heeft RWS opdracht gegeven voor de bouw die in de loop van 2001 wordt voltooid. Vanwege de krappe bouwruimte is voor de sluiskolkwanden gekozen voor verankerde sluiskolkwanden, in dit geval voor diepwandpanelen, een techniek die nog niet eerder is toegepast in de sluizenbouw. Voor het realiseren van de sluishoofden is het hoofd ter plaatse op maaiveldniveau gebouwd en pneumatisch afgezonken. Aan de inpassing van het sluizencomplex in zijn omgeving is veel aandacht besteed. Verder stond duurzaam bouwen hoog in het vaandel. In deze beschrijving wordt een aantal bijzondere aspecten van de tweede sluis Lith belicht. Zie verder Lit. [23.8], [23.9] en [23.10].

23.2.2 Waarom een tweede sluis en waar?

23.2.2.1 Historie

Het sluis- en stuwcomplex bij Lith is tussen 1935 en 1937 gebouwd in een bouwput in de uiterwaarden van de Maas. Naast handhaving van voldoende diepgang kon daarmee gelijktijdig een bochtafsnijding gerealiseerd worden. Karakteristiek voor dit deel van de Maas is de aanwezigheid van bomen op regelmatige afstand langs de rivier. Het beeld van de uiterwaarden zelf wordt door de menselijke activiteiten als landbouw en kleiwinning bepaald. Het dorp Lith ligt op een relatief hoog gelegen oeverwal, grenzend aan de uiterwaarden. Het sluis- en stuwcomplex vormt een belangrijk herkennings- en oriëntatiepunt. Dit wordt voor een belangrijk deel bepaald door de opvallende verticale elementen zoals de hefdeuren, de heftorens en de stuw. De eiken op het middeneiland vormden een karakteristiek element.

Voor het peilbeheer om scheepvaartverkeer mogelijk te maken staat in de rivier een stuw met een drieluik openingen. Alleen bij zeer hoge afvoeren ($> 1000 \text{ m}^3/\text{s}$) en extreme ijsgang wordt de stuw gestreken. Mogelijke scheepvaart kan in die situatie door de stuwopening het complex passeren. Voor de energieopwekking is aan de Gelderse zijde in 1990 een waterkrachtcentrale in gebruik genomen. Ten noorden van de waterkrachtcentrale is een vispassage gebouwd ter vervanging van oude voorzieningen aan de zijanten van de stuw. Op het middeneiland staat een automatisch registrerend peilschaal opgesteld van het landelijke Monitoring Systeem Water.

De eerste sluis voor de afwikkeling van de scheepvaart is aan de Brabantse (zuid)zijde van de Maas gesitueerd (foto 23.13). Deze sluis heeft een nuttige kolk lengte van 113,5 m, een kolk breedte van 14,0 m en een minimale waterdiepte van 3,20 m boven de benedenstroomse sluisdrempel en is voorzien van hefdeuren. Het nivelleren van de sluis wordt gerealiseerd door het langzaam heffen van de deur.

23.2.2.2 Doel tweede sluis

Het gemiddelde laadvermogen van de beroepsscheepvaart die Lith passeert is in de loop der jaren gestaag gestegen, van ruim 440 ton in 1970 naar 774 ton in 1991. Het aantal beroepsschepen is de laatste jaren echter teruggelopen. Passeerden in 1970 nog 27.000 schepen de sluis, in 1991 waren dit er 16.900. De recreatievaart heeft de afgelopen decennia een duidelijke groei doorgemaakt. In 1991 passeerden 13.200 recreatievaartuigen de sluis bij Lith.

Voor het jaar 2010 wordt uitgegaan van 21.000 beroepsschepen per jaar bij ongewijzigde situatie. Wanneer het capaciteitsknelpunt wordt opgelost, zullen in 2010 naar verwachting 26.000 beroepsvaartuigen (gemiddeld laadvermogen 995 ton) de sluis passeren. Voor de recreatievaart wordt in 2010 rekening gehouden met 20.000 tot 24.000 schepen per jaar.

Bij beoordeling van de afmetingen van de bestaande sluis (nuttige kolklengthe 113,5 m, kolkbreedte 14,0 m en kolkdiepte 3,20 m) bleek dat de diepte zowel bij klasse Va als Vb te gering is en de lengte van de bestaande sluis is voor klasse Vb zonder meer te kort.

Bij nieuwe kunstwerken wordt voor hoofdvaarwegen met beroepsvaart van CEMT-klasse Vb in principe een doorvaarthoogte van 9,10 m aangehouden en voor de recreatievaart 12,75 m. De doorvaarthoogte van de hefdeuren van de bestaande sluis van 7 m vormt een belemmering bij de vlotte afwikkeling van het schutten omdat in veel gevallen de mast gestreken moet worden. Aangezien er maar één sluis was, is er bij groot onderhoud en/of storing van de sluis sprake van een stremming van de vaarweg.

Door de toegenomen scheepsgrootte en het aanbod van recreatievaart was de capaciteit van de bestaande sluis bij Lith te klein geworden. Bovendien zou door de geprognoseerde groei van de beroepsvaart en het gemiddelde laadvermogen, met daarbij een toename van de recreatievaart, het capaciteitsprobleem alleen maar nijpender worden. Als gevolg van de toenemende drukte en wachttijden en de verdere schaalvergroting zou de veiligheid in het gedrang komen.

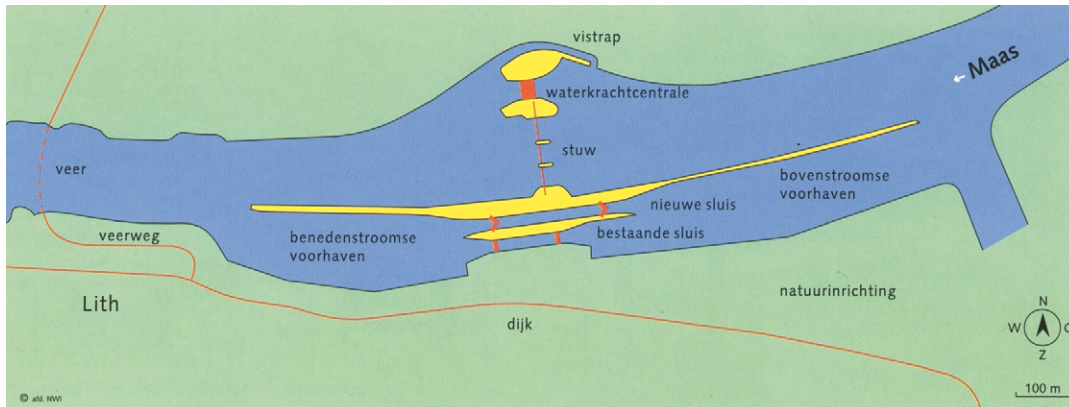
Uit onderzoek bleek dat de problemen bij Lith niet konden worden opgelost met een aanpassing van de bestaande sluis. Bovendien zou het scheepvaartverkeer dan te lang gestremd zijn. Vervoer over de weg was geen goed alternatief, aangezien het toenmalige kabinet de groei van het wegverkeer juist wilde terugdringen. Daarom werd besloten een tweede sluis te bouwen met een grotere capaciteit en onbeperkte doorvaarthoogte.

23.2.2.3 Plaats tweede sluis

In een projectstudie werden drie alternatieve locaties voor een nieuwe sluis onderzocht, te weten:

1. ten noorden van het bestaande sluis- en stuwcomplex;
2. op het middeneiland tussen de bestaande sluis en de stuw;
3. ten zuiden van de bestaande sluis.

Voor de scheepvaart was elke variant een duidelijke verbetering, maar de noordvariant was de beste. In het algemeen kon worden gesteld dat de landschap-, natuur- en cultuurwaarden (LNC-waarde) bij elke variant terugliepen (1 gunstigst, 3 ongunstigst). De hoeveelheid extra baggerwerk verschilde. Omdat het Maasslib verontreinigd is (waardoor het baggerwerk duur wordt) diende deze extra hoeveelheid beperkt te worden. Bij de noordvariant ging de meeste landbouwgrond verloren. De middenvariant legde het minste beslag op de ruimte en paste daarmee het beste in het beleid voor de ruimtelijke ordening. De middenvariant bood met betrekking tot de realisatie de snelste oplossing, waardoor op korte termijn een veilige en vlotte verkeersafwikkeling mogelijk werd. De totale aanlegkosten bedroegen ca. f 105 à 115 miljoen (incl. BTW en prijspeil 1-1-1993). In 1993 sprak Rijkswaterstaat zijn voorkeur uit voor de middenvariant (optimaal ruimtegebruik, de minste hoeveelheid extra baggerwerk en de snelste oplossing van het scheepvaartprobleem). Hoewel het wettelijk niet vereist was, heeft Rijkswaterstaat toch inspraak gevraagd op de projectnota. Uiteindelijk koos de minister van Verkeer en Waterstaat in februari 1994 voor de middenvariant, waarbij veel aandacht moest worden besteed aan de inpassing in het landschap (fig. 23.13).



Figuur 23.13 Schematische plattegrond van nieuwe situatie



Foto 23.13 Sluiscomplex te Lith met bestaande en Tweede schutsluis en de stuw

23.2.3 Sluisontwerp

23.2.3.1 Algemeen

Sluisdimensies

Het streefbeeld voor de Maas is een type Vb vaarweg, dat wil zeggen geschikt voor CEMT-klasse Vb (gestrekte tweebaks-duwvaart) schepen. Voor de tweede sluis werden de volgende afmetingen bepaald:

- kolklengthe 200 m
- kolkbreedte 18 m
- minimale waterdiepte boven drempel 4,7 m
- doorvaarhoogte geen beperkingen

Voor de sluiskolk lengte golden de volgende overwegingen:

- de tweebaks-duwvaart op de Beneden-Maas mag niet geblokkeerd worden;
- al bij een lengte van 200 m kan in de toekomst een zeer groot deel van de schepen achter elkaar liggend geschut worden;
- de lengte van 200 m komt overeen met de lengte van een aantal recent gebouwde sluizen in België voor tweebaks-duwvaart. Bovendien zijn de meeste combinaties van duwboten en duwbakken korter dan de maximale lengte van 186,5 m.

Uitgangspunt bij de studie was een kolkbreedte van 16 m zoals elders op de Maas. De sluiskolkbreedte is bepaald op basis van door RWS-AVV uitgevoerde computersimulaties. Bij een beschikbaarheid van twee kolken bleek dat het aantal overliggers sterk afneemt wanneer de kolk breder gemaakt wordt. Vooral de verbreding van 16 m naar 18 m leverde duidelijke winst op, door verkorting van de passeertijden.

Het drempelniveau van het benedenhoofd wordt bepaald door de maatgevende benedenwaterstand en de maximumdiepgang van de schepen. De maatgevende benedenwaterstand (1% onderschrijdingswaarde) is NAP +0,20 m. In de CVB-richtlijnen voor klasse V vaarwegen wordt 4 m diepgang voor tweebaks-duwvaart (klasse Vb) aanbevolen met een minimale kielspeling van 0,7 m. Daarmee is de drempeldiepte op NAP – 4,50 m vastgelegd.

Door de keuze van puntdeuren is er, in tegenstelling tot de hefdeuren in de bestaande sluis, geen beperking voor de doorvaarthoogte.

Deurhoogte in combinatie met vul- en ledigingsysteem

De maximum vultijd van de sluis bij een waterstandscombinatie van NAP +4,90 m / NAP +0,85 m (verschil van 4,05 m) is vooraf op 9 minuten gesteld. Bij grotere vervallen, zoals 5,55 m (waterstandscombinatie NAP +5,20 m / NAP -0,35 m) zijn geen tijdseisen gesteld. Met deze vervallen en de gestelde tijdseis is het nog mogelijk gebruik te maken van het eenvoudigste vul- en ledigingssysteem, namelijk niveleeropeningen in de deuren. Daarbij moeten de openingen in de bovendeuuren net boven het bodemniveau van de sluiskolk gesitueerd worden. Dit vereist hoge bovendeuuren die even hoog zijn als de benedendeuren, zodat ook de drempelniveaus voor boven- en benedendeuren gelijk zijn. Deze keuze biedt tevens het voordeel dat bij toepassing van reservedeuren kan worden volstaan met één stel deuren.

Kabelkruising ter plaatse van de tweede sluis

Voor de doorvoer van kabels voor zowel de sluisinstallatie als voor de stuw en de waterkrachtcentrale, was in de sluisconstructie een voorziening nodig. Als uitgangspunt gold een kabelschacht in beide sluiswanden, onderling verbonden door mantelbuizen in de vloer. Gezien de kosten en het beperkte risico van beschadiging van de kabels, (o.a. door toepassing van kabelgoten en groutankerconstructies voor de kolkwanden; geen ontgravingen nodig) ging de voorkeur uit naar de variant bestaande uit een kabelschacht door het benedenhoofd in het wanddeel tussen deurkas en kolk.

23.2.3.2 Civieltechnische constructies

De beschrijving van het ontwerp van de civiele constructies is opgesplitst in de sluiskolk en de sluishoofden. Bij de hoofden wordt onderscheid gemaakt tussen het beneden- en bovenhoofd. Per onderdeel worden de constructies nader beschreven. Zie fig. 13.33 (Hoofdstuk 13) voor het overzicht van de kolk en de hoofden en foto 23.14 voor de situatie tijdens de bouw (1998).

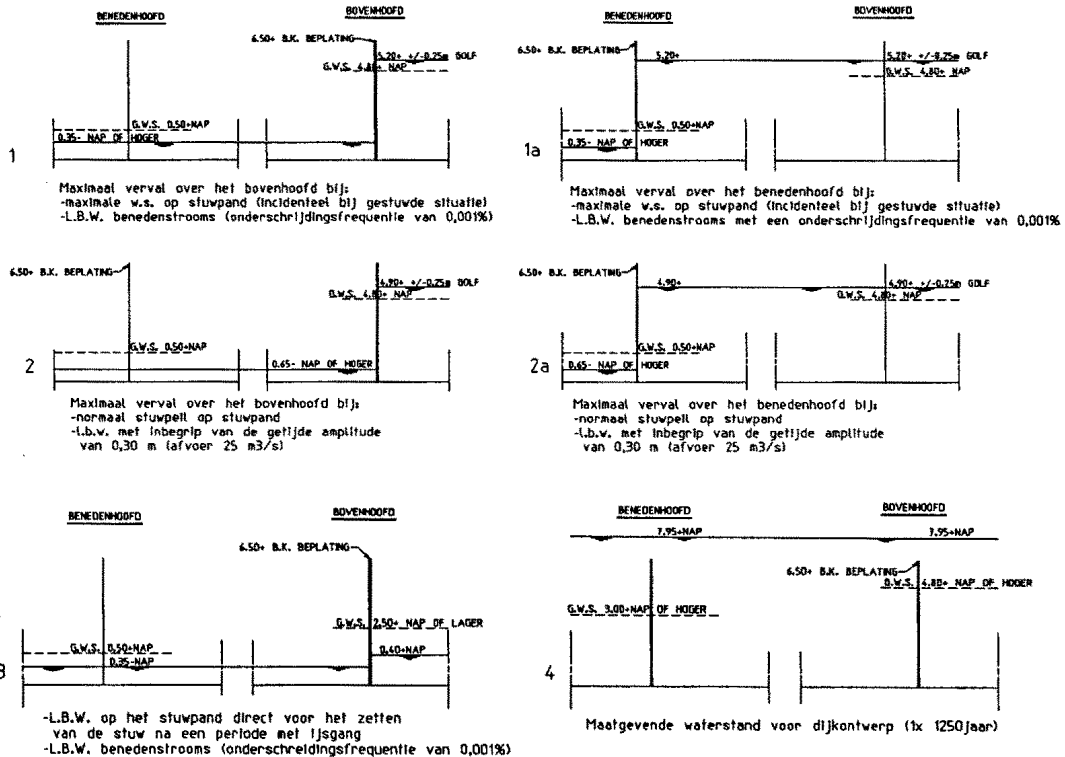


Foto 23.14 Situatie tijdens de bouw Tweede sluis te Lith tijdens inhangen deur

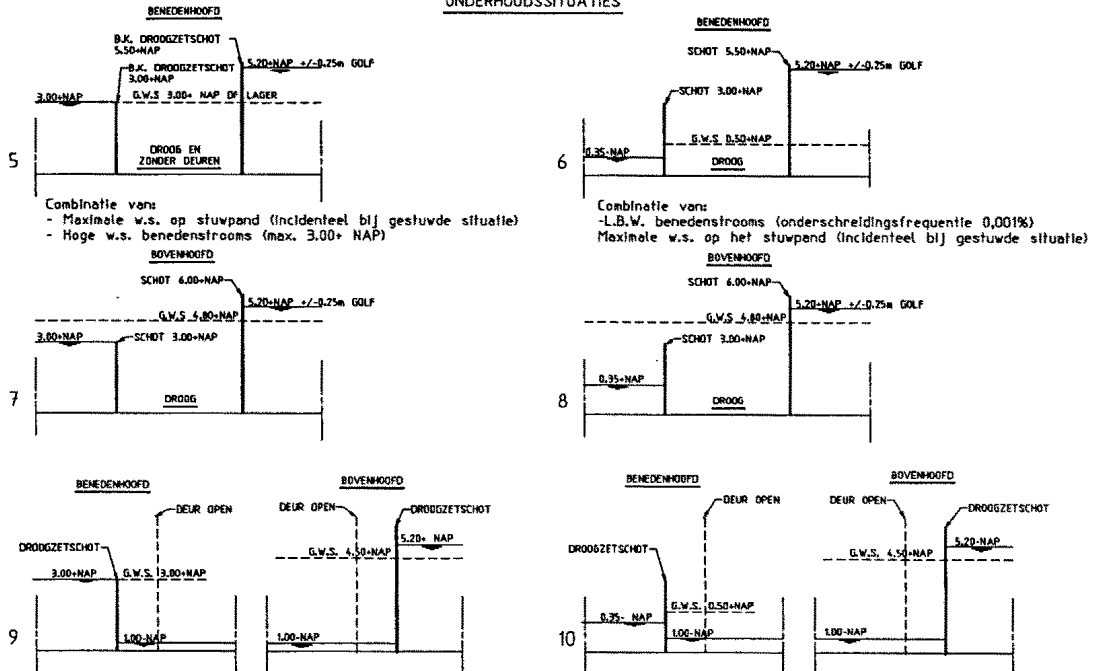
Belastingssituaties

Uitgangspunt voor het ontwerp van de sluis waren de onderstaande belastingssituaties (fig. 23.14):

BEDRIJFSSITUATIES

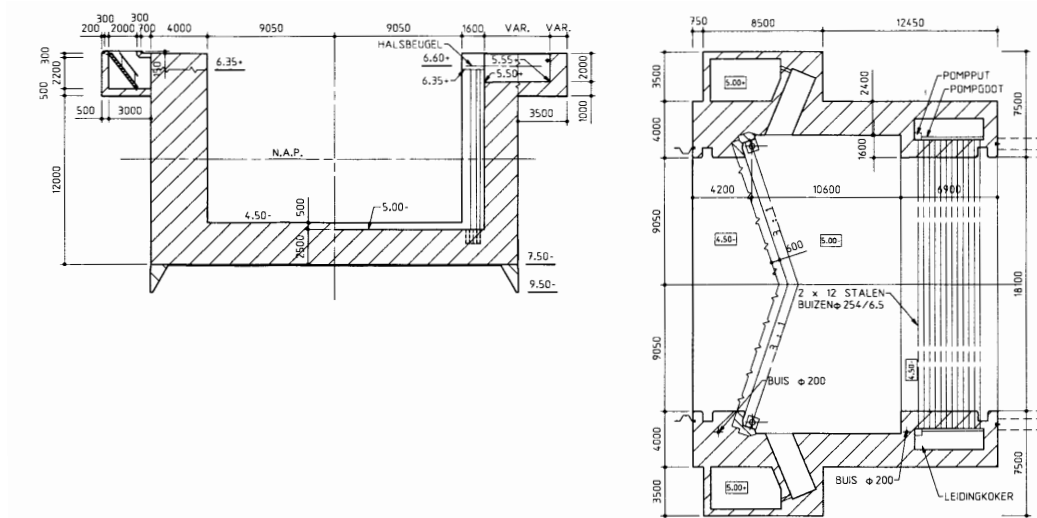


ONDERHOUDSSITUATIES



Figuur 23.14 Belastingssituaties sluis

Sluishoofden



Figuur 23.15 Verticale dwarsdoorsnede en horizontale doorsnede benedenhoofd



Foto 23.15 Bovenhoofd met drempel, uitgevoerd als caisson

De bouwmethode voor de sluishoofden werd vooral bepaald door de plaatselijke omstandigheden. Er moest een principiële keuze worden gemaakt tussen een bouwkuip of het pneumatisch afzinken van ter plaatse op het maaiveld gemaakte hoofden. Mede gelet op de kosten en de voordelen bij de uitvoering werd de voorkeur gegeven aan pneumatisch afzinken (zie par. 23.2.4.1).

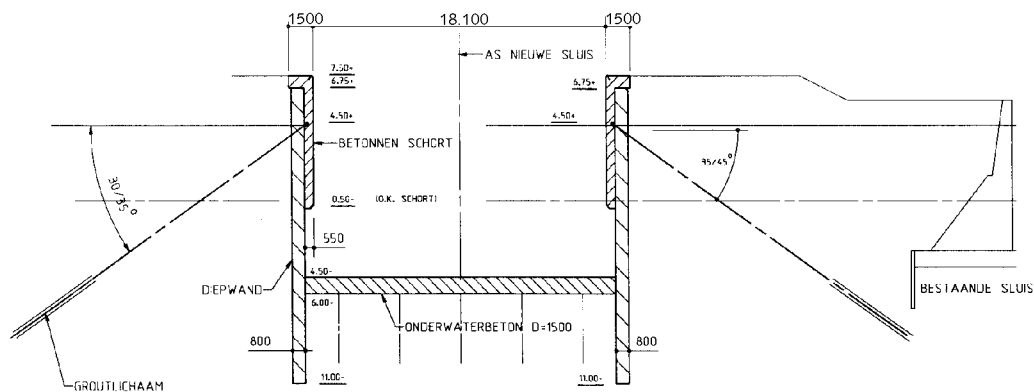
Voor de vormgeving van zowel het beneden- als het bovenhoofd gold het toepassen van puntdeuren met hydraulische bewegingswerken, waarbij de hoofden gerealiseerd zullen worden in U-vormige bakconstructies van gewapend beton (zie fig. 23.15).

De sluishoofden hebben een vloeroppervlak van $17,8 \times 26,1 \text{ m}^2$ (bovenhoofd) en $21,8 \times 26,1 \text{ m}^2$ (benedenhoofd). De U-vormige bak bestaat uit een gewapend-betonvloer van ca. 2,50 m dikte en gewapend-betonnen wanden van ca. 4,00 m dikte, waarin de deuren en de kabelschachten zijn opgenomen.

De bovenkant van de wanden is, overeenkomstig de kolkwanden, op een hoogte van NAP +7,50 m gelegen. De bewegingswerkkelders zijn als uitkraging aan de wand gebouwd. De toegang tot de kelders is gerealiseerd via een trap in een uitsparing in het dek op NAP +7,50 m. De ruimten voor de hydraulische units zijn waterdicht uitgevoerd. De ruimte voor de hydraulische cilinder en de kabelschachten zijn toegankelijk via luiken in het dek.

Het bovenhoofd is op enkele onderdelen na gelijk aan het benedenhoofd. Het bovenhoofd is 3,40 m korter door het ontbreken van kabelschachten. Om het hoogteverschil tussen de vloer van het bovenhoofd en de bodem van de voorhaven op te vangen, is tussen de beide hoofdwanden een grondkerende betondwarswand (bovenkant wand op NAP -0,25 m) in het hoofd opgenomen (zie foto 23.15, onder de tijdelijke dwarswand met rechthoekjes).

Sluiskolk



Figuur 23.16 Doorsnede sluiskolk

Voor de sluiskolk werden alleen constructies beschouwd die geen bouwputbemaling behoefden. Zodoende kwamen alleen wandconstructies in aanmerking bestaande uit stalen damwanden of betonnen diepwanden.

De kolkwandlengte bedraagt 192,40 m. De bovenkant van de kolkwand (dekzerhoogte) ligt op een niveau van NAP +7,50 m. De bovenkant van de kolkvloer ligt op NAP -4,50 m. De onderkant van de bekledingschorten van de wanden ligt op NAP -0,50 m (0,15 m onder het minimum schutpeil).

Voor de sluiskolk zijn veel constructieve varianten in beschouwing genomen. Voor de overzichtelijkheid werd de sluiskolk verdeeld in drie onderdelen, te weten:

- kolkvloer;
- kolkwanden;
- verankering van wanden.

De kolkvloer had constructief gezien een directe invloed op de constructie van de kolkwand. Van belang was ondermeer het al of niet kunnen functioneren als stempelraam tussen de beide wanden, de benodigde ontgravingsdiepte en de uitvoeringsfasering. Het type verankering was van invloed op de zwaarte van de wandconstructie. Voor elk van de onderdelen werden de mogelijke constructies beschouwd, waarna de meest voor de hand liggende combinaties met de daarbij behorende kosten met elkaar werden vergeleken.

Voor het ontwerp van de vloerconstructie werden de volgende varianten beschouwd:

- onderwaterbeton met trekpalen of met filters;
- jetgrout met trekpalen of met gewichtslaag en bestorting (Opm. jetgrout met trekpalen te riskant);
- chemische injectielaag met gewichtslaag, afgewerkt met bestorting;
- geometrisch dichte filterconstructie.

Uit de kostenvergelijking bleek dat de variant onderwaterbeton met trekpalen de voordeligste kolkvloerconstructie was. Daar bovendien de dichtst naastgelegen variant onderwaterbeton met filters geen kenmerkende voordelen bezat, ging de voorkeur uit naar het uitvoeren van de eerste variant.

Voor de kolkwanden werden de meest voor de hand liggende combinaties met elkaar vergeleken. Daar de keuze voor de kolkvloer was bepaald op onderwaterbeton met trekpalen, werden de kolkwandconstructies alleen beschouwd met deze vloer. Voor de kolkwand werden drie varianten beschouwd, te weten:

- stalen damwand met betonnen schorten;
- stalen damwand met stalen schorten en kunststof bekledingen;
- betonnen diepwand met betonnen schorten.

Als verankering van de kolkwand werden drie methoden beschouwd:

- ankerscherm met ankerstaven;
- ingeklemd ankerscherm met ankerstaven (kistdamconstructie);
- groutankers.

Van deze wandconstructies en verankeringsmethoden werden een elftal varianten gevormd (noord- en zuidkolkwand konden verschillen). Vanuit onderhoudsoogpunt gezien ging de voorkeur uit naar oplossingen met betonnen schorten daar de onderhoudskosten hiervan aanzienlijk beperkter zijn dan oplossingen met stalen schorten en kunststof bekledingen. Constructief gezien ging bij oplossingen met betonnen schorten de voorkeur uit naar de combinatie betonwand – betonschort ten opzichte van de combinatie stalenwand – betonschort. Met betrekking tot de uitvoering gold een voorkeur voor oplossingen met groutankers, daar bij deze oplossing het in ruimte zeer beperkte bouwterrein in takt zou blijven. Gezien de hiervoor genoemde voorkeuren en innovatie (diepwand als kolk) is gekozen voor de variant betonnen diepwand / betonnen schorten / groutankers (fig. 23.16, foto 23.16, par. 23.2.4.2) ondanks de iets lagere initiële kosten van de variant met stalen damwand / betonnen schorten / groutankers.



Foto 23.16 Aanbrengen betonnen schorten aan diepwandpanelen

23.2.3.3 Staal- en werktuigbouwkundige constructies

Sluisdeurtype

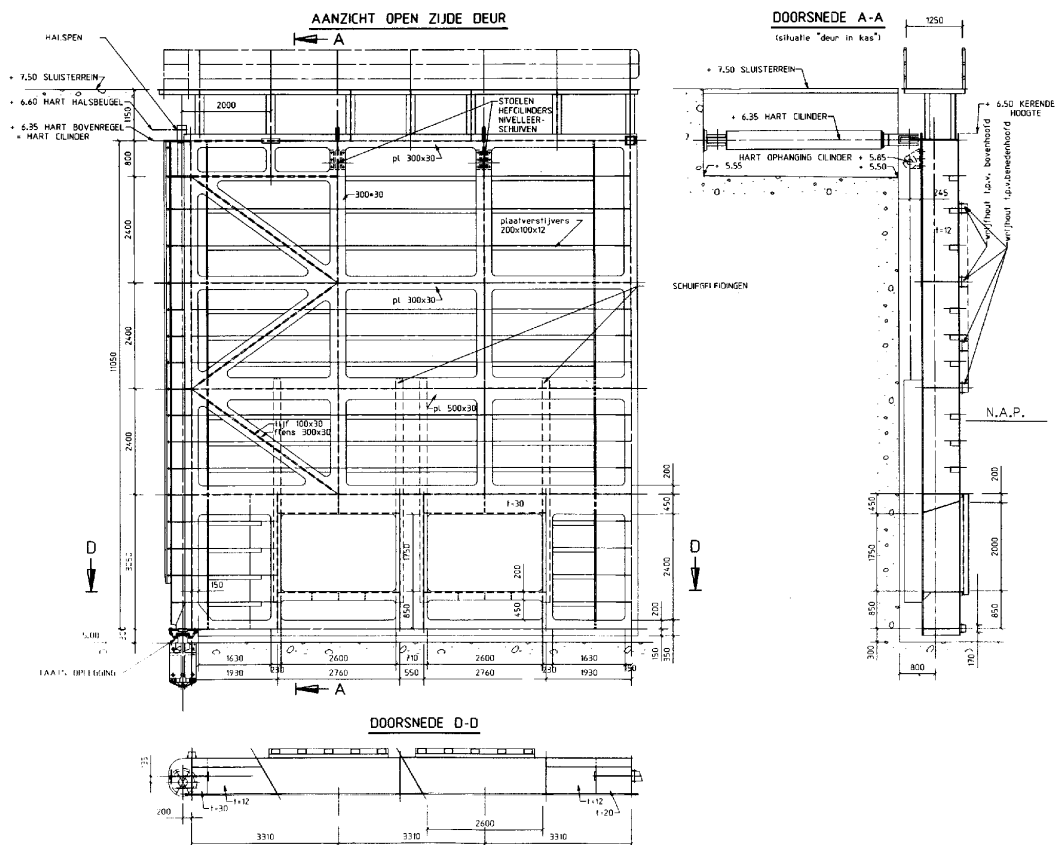
Ten behoeve van de keuze van het deurtype zijn de in aanmerking komende deurtypes in beschouwing genomen. Gebleken is na een multicriteria-analyse dat de variant, één stel puntdeuren per hoofd, duidelijk de meest aantrekkelijke oplossing bood.

Hydraulische belastingen sluisdeuren

De deuren zijn ontworpen op een maximum verval van 5,55 m met als bijbehorende waterstand in de bovenvoorhaven NAP +5,20 m en de benedenvoorhaven NAP -0,35 m. De overschrijdingskans van bovengenoemd verval is geschat op minder dan 10^{-4} per jaar, maar wordt iets meer als ook kortdurende invloeden worden inbegrepen zoals haalgolven, op- en afwaaiing enz. Aangezien de sluis buitendijks ligt ten opzichte van de primaire waterkering en niet onderworpen is op de Wet op de Waterkeringen is dit geen probleem.

Bij technisch falen van het meetsysteem van de cilinder loopt een van de deuren met volle snelheid tegen de drempel aan. Als aannemelijke faalkans werd de waarde van 1 per 1000 tot 1 per 10.000 sluitingen geacht.

Ontwerp sluisdeurconstructie



Figuur 23.17 Overzicht sluisdeur (in aanzicht ontbreken breekbalken en schuiven)

De keuze van de constructie van de deuren, het type draaipunten, de aanslagen en de afdichtingen, werden in hoofdzaak bepaald door de gevraagde beperkingen van lekkage per deurstel. De maximum lekopening was bepaald op $0,20 \text{ m}^2$. Hieraan kan worden voldaan met houten aanslagelementen van azobé op de deur en stalen elementen in de wand. De bovenkant van de beplating ligt op NAP +6,50 m.

Studies in de voorontwerpfase hadden geresulteerd in het toepassen van vrijdraaipunten, waarbij de krachten via de achteraanslagen worden overgedragen op de betonconstructie. Het toepassen van vrijdraaipunten schiep de mogelijkheid om bij de draaipunten van deze sluis met weinig risico een alternatieve materiaalcombinatie toe te passen. Dit was noodzakelijk omdat bij de meeste sluizen in de Maas problemen waren geconstateerd van schroefdraadvorming door slijtage (deur wordt opgetild, waarna schoksgewijze val) op de taatsopleggingen met mangaanstalen kappen en kommen.

Het hoofddraagsysteem van de deuren bestaat uit een waterkerende beplating met een dikte van 12 mm, stijlen als verticale draagelementen en I-vormige regels als horizontale draagelementen. De voor- en achterhar bestaan uit I-vormige liggers. Het totale eigen gewicht van één deur bedraagt ongeveer 50 ton (zie fig. 23.17 en foto 23.17).

De sluis heeft geen reservedeuren. Argumentatie hierbij is dat bij onderhoud aan de deuren waardoor de sluis er uit ligt, gebruik gemaakt kan worden van de andere sluis of van een omleidingsroute en dat dit langere tijd mag duren.



Foto 23.17 Plaatsing van sluisdeur

Nivelleersysteem sluisdeuren

De grootte en de afmetingen van de nivelleeropeningen zijn bepaald met behulp van het rekenprogramma LOCKFILL uitgaande van de beoogde debieten, kolk-omzettingen, stromingskrachten in de kolk en andere factoren. De berekening leidde voor zowel het boven- als benedenhoofd tot 2 openingen per deur (dus vier per hoofd), met een breedte van 2,60 m en een hoogte aan resp. instroom-/uitstroomzijde van 1,85/2,00 m.

De verticaal beweegbare schuiven zijn aan de hoogwaterzijde van de waterkerende beplating aangebracht.

Voor de schuifbeweging (twee schuiven per deur) kwamen twee typen bewegingswerken in aanmerking: de schroefspindel en de hydraulische cilinder. Na afweging van de voor- en nadelen is gekozen voor de hydraulische cilinder. De hefsnelheid van de schuiven hangt af van het initiële verval over de deuren en varieert bovendien met het verval. Dit heeft als doel het debiet door de openingen te begrenzen. Hiermee wordt voorkomen dat tijdens het nivelleren te grote krachten op de schepen worden uitgeoefend en trossen gaan breken. Aan de benedenstroomse zijde van de deuren zijn verticale breekbalken aangebracht.

Elke schuif wordt bewogen door een enkele cilinder. De beweging vindt plaats tussen schuifgeleidingen,

bekleed met kunststof om aan de voorgeschreven lekkagebeperkingen te voldoen. De zuigerstang is gekoppeld aan de deurschuif en is verder voorzien van een keramische laag in verband met de goede loopeigenschappen en corrosievastheid van deze laag.

Montage en demontage sluisdeuren

Als uitgangspunt gold dat de montage van de deuren in den natte moet kunnen plaatsvinden. Montage van de deuren en de droogzetschotten voor het onderhoud kan bijvoorbeeld geschieden met een drijvende bok. De montage tijdens de bouw vond overigens in den droge plaats.

Ten behoeve van groot onderhoud (gestreefd wordt naar een frequentie van één maal per 12 à 15 jaar), reparaties na ernstige aanvaringen en dergelijke, zal het noodzakelijk zijn een deurstel uit te nemen, af te voeren naar een verfloeds of een constructiefabriek en na behandeling weer aan te voeren en te monteren. Deze handelingen vragen veel tijd, zodat de sluis lang gestremd zal zijn. In bijzondere gevallen kan het mogelijk zijn om montage of demontage met voorafgaand respectievelijk aansluitend transport binnen 24 uur af te sluiten.

Sluisdeurbewegingswerken

Voor het aandrijven van de sluisdeuren waren de volgende oplossingen mogelijk: een panamawielconstructie, een heugelconstructie of een hydraulische cilinder. De beschikbaarheid/betrouwbaarheid van deze aandrijvingen loopt niet ver uiteen. Een mechanische aandrijving is iets betrouwbaarder, maar de beschikbaarheid na wateroverlast pleit weer voor een hydraulische installatie en deze is ook nog eens 25% goedkoper. Uiteindelijk is gekozen voor het laten bewegen van elke puntdeur door een hydraulische cilinder. Het aangrijpingspunt van de cilinder is gekozen op ongeveer 1/5 van de deurlengte gemeten vanaf het draaipunt van de deur. De hydraulische unit is ondergebracht in een aparte waterdicht afgesloten ruimte, zodat bij extreem hoog water alleen water bij de cilinder kan komen.

De stand van de deur wordt constant gemeten met een CIMS-wegmeetsysteem (Ceromax Integrated Measuring System). De maximale snelheid aan de punt van de deur is 0,165 m/s en de totale deurbewegingstijd is ca. 100 s. De snelheid wordt over de eerste en de laatste 10° geregeld, zodat de deur met een lage snelheid begint, de snelheid vervolgens toeneemt tot een maximale waarde en daarna weer afneemt.

Voor het bepalen van het elektro-hydraulisch bewegingswerk, werden twee zaken getoetst: het te installeren vermogen en de sterkte van het bewegingswerk. Het te installeren vermogen werd gerelateerd aan het berekende deurmoment van 880 kNm waarbij een nominaal vermogen hoort van ca. 23 kW. De sterkte van het bewegingswerk werd getoetst aan de hand van de criteria vermoeiing en statische sterkte met een maximale druk/trekkracht van resp. 340 kN en 580 kN.

Conserveringssysteem

Bij de keuze van het conserveringssysteem voor de verschillende onderdelen van de sluis is rekening gehouden met aspecten zoals duurzaamheid, frequentie en omvang van benodigd onderhoud, milieuvriendelijkheid, kosten en uniformiteit binnen het complex. De afweging van al deze aspecten leidde bij de meeste onderdelen tot de keuze voor een systeem met epoxy-HS deklagen. Voor de deuren met toebehoren en de droogzetschotten is de levensduur van het gekozen conserveringssysteem 12 à 16 jaar. Dit komt overeen met de frequentie van groot onderhoud.

Voorzieningen ijsbestrijding

De bestrijding van hinder door ijsvorming in de deuren heeft tot zodanige voorzieningen geleid, dat het mogelijk is op eenvoudige wijze tijdelijke maatregelen te treffen, waardoor het ijs uit de deuren kan worden verdreven. Het openen en sluiten van de deuren blijft mogelijk. De voorziening bestaat uit een gaatjespijp in elke deurenkas die aangesloten wordt op een compressorinstallatie met regelapparatuur. Deze installatie is mobiel en wordt ingehuurd als de vraag actueel is.

Beheer en onderhoud

Tijdens de uitvoeringsfase werden specificaties opgesteld aan de hand van door de aannemer verstrekte onderhoud- en beheervorschriften. Deze specificaties zijn ondergebracht in een onderhoudsmanual. Voor onderhoud en beheer werden ook alle tekeningen en schema's ter beschikking gesteld aan de toekomstige beheerder.

Bij het ontwerp van de werktuigbouwkundige installaties is uitgegaan van een levensduur van 50 jaar.

Tijdens deze 50 jaar zullen bepaalde onderdelen, zoals afdichtingsringen, smeermiddelen en olie, vervangen moeten worden. De vervangingslevensduur van de genoemde componenten is in overleg met de betreffende leverancier bepaald (tussen 10 en 15 jaar). Wat betreft inspecties en onderhoud is onderscheid gemaakt tussen periodieke inspecties, klein onderhoud en groot onderhoud. Aan de hand van de inspectierapporten worden planningen gemaakt voor klein onderhoud. Groot onderhoud vindt elke 12 à 16 jaar plaats.

23.2.3.4 Elektrotechnische installatie

Bij het ontwerp van de elektrotechnische installaties is rekening gehouden met de eisen en de uitgangspunten van Directie Limburg om de besturing en de bediening van de diverse objecten in de Maasroute te uniformeren. Met de installatie kunnen de beide schutsluizen bediend worden. De bediening moet in de toekomst uitgebreid kunnen worden met de sluis en brug te St. Andries.

De huidige transformator voor de noodstroomvoorziening is vervangen door een nieuwe met een vermogen van 400 kVA omdat het bestaande vermogen van 250 kVA ontoereikend was. Hiermee kan in noodsituaties de stuw of beide schutsluizen (niet tegelijkertijd) van stroom worden voorzien.

Voor de bediening van de installatie is een nieuwe bedieningslessenaar ontworpen waarbij gebruik is gemaakt van de jongste ergonomische inzichten. Alle installaties zijn onderhoudsarm ontworpen en uitgevoerd.

De levensduur van de diverse onderdelen is gesteld op 15 jaar en langer. De bedienings-, beheers- en onderhoudsvorschriften zijn vastgelegd in een manual.

23.2.3.5 Gebouwen



Foto 23.18 Bedieningsgebouw sluis- en stuwcomplex te Lith (op achtergrond oude bedieningsgebouw)

Bedieningsgebouw sluiscomplex Lith

Overeenkomstig de variantennota was het uitgangspunt dat de bediening van beide sluizen en de stuw in Lith, alsmede in de toekomst van de sluis St. Andries, plaats zou vinden vanuit het aan te passen bedie-

ningsgebouw op het sluiscomplex Lith. Bij de verdere invulling van de eisen en de uitgangspunten bleek echter dat deze variant onvoldoende oppervlakte en ruimte bood om een ergonomisch verantwoorde oplossing te realiseren. Aan de hand van de genoemde uitgangspunten werd een variantenstudie uitgevoerd door een uitgebreide verbouwing van het bestaande gebouw te vergelijken met nieuwbouw. Gekozen is voor nieuwbouw. In dit nieuwe bedieningsgebouw zijn tevens een ruimte opgenomen voor de noodstroominstallatie en een WED-ruimte (werktuigbouwkundige dienst). Zie foto 23.18.

23.2.3.6 Vormgeving en inrichting voorhavens



Foto 23.19 Nieuwe situatie stuw- en sluiscomplex te Lith, kijkrichting stroomopwaarts

Aan de vormgeving van de voorhavens en de toegangen ervan is veel aandacht besteed. Allereerst is gekeken naar de slibafzetting door de Maas. De snelheid van slibafzetting hangt nauw samen met de vormgeving van de toegang van de voorhaven. Met een uitgekiende vormgeving kan extra baggerwerk en belemmering van de scheepvaart worden voorkomen. In samenwerking met het Maritiem Simulatie Centrum Nederland (MSCN) in Wageningen heeft het Waterloopkundig Laboratorium in de Voorst de stroming van de Maas nagebootst en nauwkeurig in kaart gebracht. Het oorspronkelijke ontwerp ging uit van schuine oevers en een brede voorhaven als toegang tot de sluis. Uit de simulaties kwam naar voren dat dit een ongunstige situatie was. Een recht naar beneden lopende oever en een smalle opening bleek een betere oplossing te zijn. Dit ontwerp leverde aanzienlijk minder slibafzetting op, terwijl deze vormgeving even comfortabel is voor de scheepvaart. Uiteraard was het ook belangrijk dat de voorhavens veilig en vlot in te varen zijn. Zie verder par. 5.5.3, fig. 23.13 en foto 23.19.

In opdracht van RWS Directie Limburg is door de Bouwdienst een capaciteitsstudie uitgevoerd betreffende de benodigde remmingwerken in de voorhavens van het sluiscomplex Lith (foto's 23.20 en 23.21), met als resultaat:

- lengte opstelplaats beroepsvaart voor boven- en benedenstroomse voorhavens aan de zuidzijde 132 m (bestaande sluis) en aan de noordzijde 240 m (tweede sluis);

- lengte opstelplaats recreatievaart voor boven- en benedenstroomse voorhavens aan de zuidzijde: 165 m (bestaande sluis);
- in bovenstroomse voorhaven een overnachtings-/tachograafplaats inrichten van 120 m;
- wachtplaatsen kegelschepen in bovenstroomse voorhaven en benedenstrooms aan noordelijke oever Maas



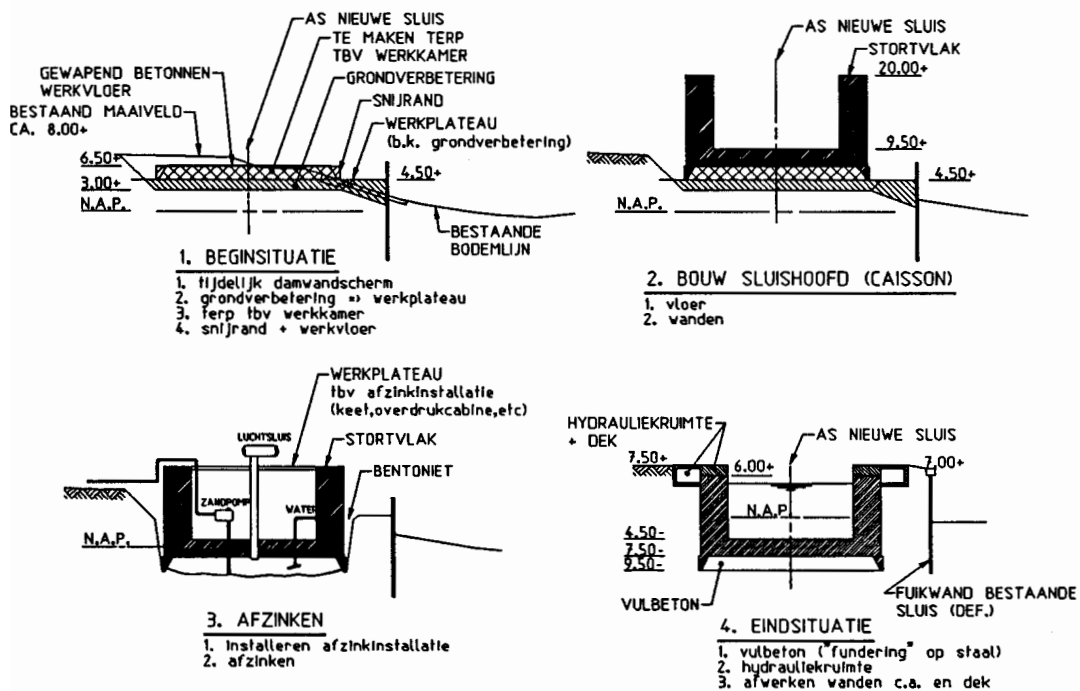
Foto 23.20 Bovenstroomse voorhaven sluiscomplex te Lith met recreatiesteiger en opstelplaats beroepsvaart



Foto 23.21 Benedenstroomse voorhaven sluiscomplex te Lith met opstelplaatsen beroepsvaart en recreatiesteiger

23.2.4 Uitvoeringsaspecten en bijzondere bouwtechnieken

23.2.4.1 Sluishoofden



Figuur 23.18 Bouwstadia caisson bovenhoofd 2e sluis Lith

De tweede sluis is gebouwd op het middeneiland, tussen de stuw en de bestaande sluis in, op een krappe ruimte. Op het langgerekte eiland zijn op maaiveldniveau eerst de sluishoofden verzezen. Deze sluishoofden werden met de pneumatische afzinkmethode (caissonmethode) 14 m diep in het eiland afgezonden. Voor de werkwijze zie fig. 23.18, foto 23.22 en Appendix 13.1.

Ter plaatse van elk sluishoofd werd eerst een laag klei verwijderd en vervolgens een grondverbetering van zand aangebracht, een zogenaamde terp. Hierop werd boven de heersende grondwaterstand de U-vormige betonnen bak gebouwd van ca. 26 x 20 m² grondvlak en 17 m hoog. Aan de onderkant van de betonnen bak zijn rondom snijranden aangebracht. Aan de open zijden van de U-vormige bak waren tijdelijke grond- en waterkerende schotten aangebracht. In de wanden werden rondom leidingen voor het aanvoeren van bentonietspoeling (mengsel van een bepaald soort klei en water) aangebracht waarbij het bentonietspoeling als smering dient van de wanden tijdens het afzinken. Daarnaast waren allerlei doorvoeren in de vloer van de bak aangebracht voor de aanvoer van water, de afvoer van het zand/watermengsel, elektrische leidingen, communicatie, ontluchtingen en de toegangsschacht.

Het zand onder de bak afkomstig van de terp werd eerst weggehaald totdat de bak op de snijranden stond. Daarna werd de grond onder de bak losgespoten en eronderuit gezogen. Omdat er onder de snijranden verder geen draagvlak meer was (bezwijken grond) zakte de bak vanzelf door zijn eigen gewicht en het gewicht van de hulpmiddelen de diepte in, met een snelheid van ongeveer 1 m per werkdag van 16 uur. De tegenwerkende krachten zijn de wrijving tussen de wanden en de grond (beperkt door bentoniet) en de luchtoverdruk tegen de onderzijde van de vloer. De ruimte onder de bak werd drooggehouden door daarin een zodanige luchtoverdruk aan te brengen dat een evenwicht ontstaat met de grondwaterdruk. In deze ruimte werd zodoende een soort duikkamer gecreëerd waarin (gezonde) mensen de grond wegspoten. Nadat de bak de vereiste diepte had bereikt, werd de werkkamer gevuld met beton zodat een goed en stabiel op staal gefundeerd sluishoofd verkregen werd.



Foto 23.22 Situatie tijdens afzinken benedenhoofd Tweede sluis Lith

23.2.4.2 Kolkwanden en kolkvloer

Omdat er geen ruimte was voor een normale bouwput, werd voor de wanden van de sluis een bijzondere bouwtechniek toegepast die nog niet eerder voor de bouw van een sluis was gebruikt, namelijk diepwandpanelen (zie tevens par. 14.4.4). De ca. 200 m lange sluiswanden werden paneel voor paneel met afmetingen van 19 m diep, 7,50 m breed en 1 m dik, opgebouwd op de volgende wijze.

Op maaiveldhoogte werden, op een wanddikte afstand van elkaar, geleidebalken aangebracht ten behoeve van de geleiding van het graafwerktuig. Daarna werd de sleuf van het diepwandpaneel gegraven (foto 14.4) en gelijktijdig voorzien van de steunvloeistof bentoniet om de sleuf stabiel te houden. De stabiliteit werd verkregen door de bentonietsslurry (water en bentoniet) en de gewelfwerking in de grond als tegendruk voor de gronddruk en hydrostatische druk van het grondwater. Om enige overdruk te realiseren werd de bovenzijde van de steunvloeistof minimaal 1 m boven het grondwaterniveau gehouden. Na het gereedkomen van de sleuf werd de betonwapening (2 prefabnetten, foto 14.5) in de sleuf geplaatst en via een stortkoker werd beton in de sleuf gestort. Het zwaardere beton drukt de bentonietsslurry naar boven die vervolgens werd weggepompt. De bentonietspoeling werd gezuiverd en hergebruikt. Omdat de bovenste laag van het beton vervuild is, is de kop van het paneel na het verharden gesloopt.

Vervolgens werd de grond in de sluisolk in fasen weggehaald. Na gedeeltelijk afgraven werden de kolkwanden (diepwandpanelen) met behulp van groutankers verankerd (foto 14.6) 5 ankers per paneel, hoek met horizontaal om en om $30/35^\circ$ of $35/45^\circ$, waarna verder werd ontgraven. Voor de kolkvloer werden na het ontgraven ca. 400 prefab betonnen trekpalen, lang ongeveer 14 m, geheid (foto 23.23). Deze palen waren voorzien van ribbels voor dwarskrachten vanuit de vloer, die opwaarts op de paal gericht zijn bij een lage waterstand in de kolk. Vervolgens kon de sluisvloer van 1,50 m dik (ongewapend) onderwaterbeton gestort worden. Voor de krachtsoverdracht en afdichting was het nodig dat ter plaatse van de vloer de diepwandpanelen en de palen schoongemaakt werden.

Na het verlagen van de waterstand in de kolk konden de betonnen voorwanden aangebracht worden. De verbinding tussen diepwandpanelen en betonnen voorwand bestaat uit stekeinden. Hiervoor werden gaten in de diepwandpanelen geboord en stekeinden ingelijmd. De betonnen voorwand voor de diepwandpanelen heeft voegen om de 15 m wat gelijk is aan de breedte van twee diepwandpanelen. De

voeg van de voorwand valt steeds samen met een paneelvoeg. De dikte van deze voorwand is 0,65 m wat voldoende is voor het aanbrengen van haalkommen en ladders.



Foto 23.23 Heien trekpalen in kolk Tweede sluis Lith

23.2.4.3 Duurzaam bouwen

Zie par. 22.4.3.

23.3 Prins Willem-Alexandersluis te Amsterdam

23.3.1 Inleiding

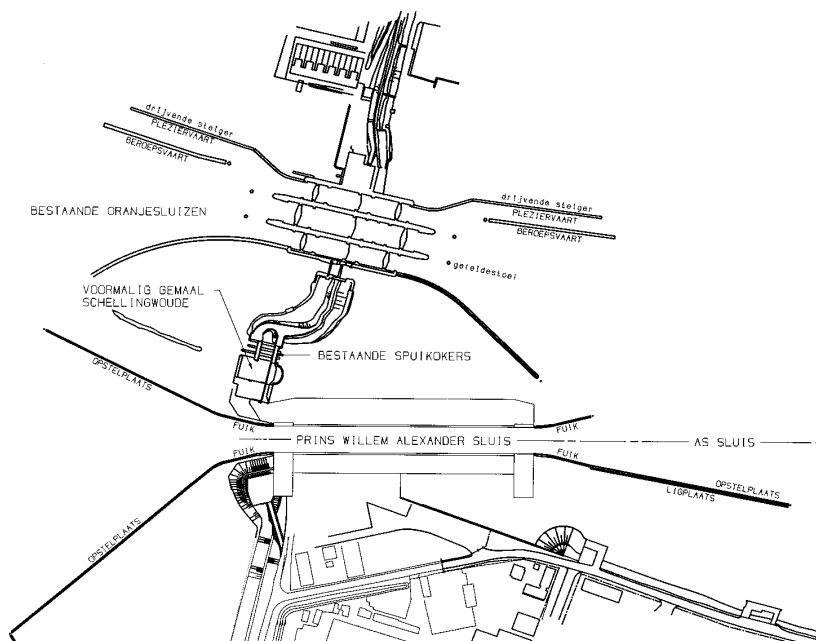
In 1983 heeft Rijkswaterstaat Directie Noord Holland aan de Directies Bruggen en Sluizen en Stuwen (tegenwoordig Bouwdienst) verzocht om een voorontwerp te maken van de Prins Willem-Alexandersluis (werknaam Nieuwe Oranjesluis) te Amsterdam. Begin 1987 heeft de Minister van Verkeer en Waterstaat opgedragen het plan verder uit te werken dat de realisatie beoogde van de Prins Willem-Alexandersluis in de waterkering tussen het Binnen-IJ en het Buiten-IJ, ten oosten van Amsterdam. Evenals het oude Oranjesluizencomplex vormt de Prins Willem-Alexandersluis een schakel in de hoofdvaarweg tussen Amsterdam en Delfzijl.

Tot het ontwerp van de Prins Willem-Alexandersluis behoren onder meer de civieltechnische constructies van de schutsluis en voorhavens, een deurbergplaats, een kade, een aantal beschermipalen en staal- en werktuigbouwkundige constructies van sluisdeuren en bewegingswerken. Deze onderwerpen worden in deze beschouwing behandeld. Zie verder Lit. [23.11].

Aanvankelijk werd als deurtype tweezijdig kerende puntdeuren aanbevolen. Uiteindelijk werd op grond van een aantal overwegingen de voorkeur gegeven aan aangepaste roldeuren ondanks de iets hogere bouw prijs. De aanpassing bestond uit het toepassen van hydrostatische lagers waardoor in feite een "glijdeur" ontstaat. De deur wordt over een waterkussen bewogen dat door pompoverdruk wordt gecreëerd tussen lagers en een op de bodem bevestigde kunststofbaan. Uit proefnemingen was gebleken dat de kunststofbaan een lange technische levensduur heeft en weinig onderhoud vergt. Deze nieuwe techniek komt uitgebreid aan de orde.

23.3.2 Waarom een nieuwe sluis?

Het plan voor een nieuwe sluis vond zijn oorsprong in het feit dat het meer dan honderd jaar oude Oranjesluizencomplex een belemmering vormde voor de passerende scheepvaart. Enerzijds werd dit veroorzaakt door steeds meer schepen, alsmede de schaalvergroting van de scheepvaart. Anderzijds was het sluisencomplex verouderd en voldeed nauwelijks meer aan de huidige eisen.



Figuur 23.19 Layout sluiscomplex

Het plan bestond in oorsprong uit twee onderdelen. Het eerste omvatte de (hier behandelde) bouw van een nieuwe sluis voor de binnenvaart. Het tweede onderdeel betrof het oude sluisencomplex ofwel door

middel van ingrijpende reconstructie te moderniseren, dan wel op termijn te amoveren en in plaats daarvan één of meerdere nieuwe sluizen te realiseren.

Volgens de in 1984 door Rijkswaterstaat Directie Noord Holland opgestelde projectnota "De toekomst van de Oranjesluizen", was er aanvankelijk sprake van een uitbreiding van het Oranjesluizencomplex direct ten westen van de Schellingwouderbrug. Na een inspraakprocedure is, in overleg met de KSV "Schuttevaer", de zogenaamde "Geoptimaliseerde Schuttevaer" variant ontwikkeld. Daarbij werd gekozen voor een nieuwe binnenvaartsluis met als horizontale afmetingen 24 x 200 m². Bij deze variant is er sprake van een schutsluis voor CEMT-klasse V scheepvaart die geschikt is voor tweebaks-duwvaart. Deze variant is door de Raad van de Waterstaat eind 1986 aan de minister geadviseerd die zich aan dit advies conformeerde en Rijkswaterstaat opdroeg deze plannen uit te werken. De sluis is gebouwd in de periode 1992 -1995. In 1997 is begonnen met de reconstructie van het oude sluizencomplex.

De Prins Willem-Alexandersluis is gesitueerd tegen de oostzijde van de waterkering tussen het Binnen-IJ en het Buiten-IJ ten zuiden van het oude Oranjesluizencomplex (fig. 23.19, fig. 4.19, hoofdstuk 4 en foto 5.5, hoofdstuk 5, deel 1). Het westelijk sluishoofd sluit ter weerszijden aan tegen de waterkering, terwijl de sluiskolk grotendeels en het oostelijk sluishoofd zich geheel in het Buiten-IJ bevinden. De waterkering vormt tevens een landverbinding tussen de noordelijke oever van het eiland Zeeburg en het Oranjesluizencomplex ten zuiden van Schellingwoude.

23.3.3 Programma van Eisen

In deze paragraaf worden enkele punten uit het Programma van Eisen toegelicht.

De sluis heeft een ontwerplevensduur van 100 jaar. Het nuttige kolkoppervlak is 200 m x 24 m². De drempel van de sluis ligt op NAP -4,70 m en het bodemniveau in de kolk op NAP -5,50 m.

De sluis is geschikt voor CEMT-klasse Vb met een "2+1" duweenheid in lange formatie (193 x 11,40 x 3,30 m³). Ook is de sluis toegankelijk voor een "2+1" duweenheid in brede formatie (116,5 x 22,80 x 3,30 m³), CEMT-klasse VIa. Bij een waterstand van NAP -0,70 m (gemiddeld 5 dagen per jaar) mag de diepgang van de schepen hooguit 3,30 m bedragen vanwege de minimum kielspeling van 0,70 m. Wordt de waterstand nog lager dan moet de diepgang van de schepen evenredig afnemen.

De waterstanden en vervallen ter plaatse van de sluis zijn vermeld in tabel 23.2. De extreme waterstandscombinaties voor het schutten worden eenmaal per jaar over- of onderschreden, die voor het keren eenmaal per 1000 jaar. De windgolfhoogte betreft de staande golfhoogte tegen de deur (top/dalwaarde), dit is dus inclusief reflectie-invloed.

	Binnen-IJ	Buiten-IJ	Maximum verval	Staande golfhoogte
<i>Schutten</i>	NAP +0,30 m	NAP - 1,15 m	+1,45 m	Binnen-IJ: 0,60 m
<i>Schutten</i>	NAP - 0,70 m	NAP +0,30 m	- 1,00 m	Buiten-IJ: 0,60 m
<i>Keren</i>	NAP +0,67 m	NAP - 2,70 m	+3,37 m	Binnen-IJ: 2,47 m
<i>Keren</i>	NAP - 0,73 m	NAP +1,28 m	- 2,01 m	Buiten-IJ: 1,54 m

Tabel 23.2 Extreme waterstandscombinaties

Het maximum- resp. minimum-schutpeil is NAP +0,30 m resp. -1,15 m. Bij overschrijding van het maximum schutpeil resp. onderschrijding van het minimum schutpeil, wordt het schutbedrijf gestaakt (beide deuren worden gesloten) en wordt de waterstand in de kolk gehandhaafd op maximum- resp. minimum-schutpeil. Het totale verval over de sluis wordt dan verdeeld over beide sluishoofden door het manipuleren met de deurschuiven. Dan is er sprake van getrapt keren, waarbij de sluishoofden met hun sluisdeur niet elkaars reserve zijn.

Bij een verval van het Buiten-IJ naar het Binnen-IJ tussen 0,03 en 0,08 m met een waterstand op het Binnen-IJ tussen NAP -0,55 m en NAP -0,35 m in, worden de sluisdeuren in beide hoofden geopend. De sluis fungeert dan als open doorvaartsluis. De stroming in de sluiskolk mag niet leiden tot de noodzaak van bovenmatig zware bodembeschermingen.

In de open doorvaartsituatie begint het sluiten van de deur als het verval over de gehele sluis meer dan

0,08 m bedraagt. De sluisdeur moet verder kunnen sluiten tot een verval over de deur van 0,20 m bij einde sluiten.

Na nivelleren moeten de deuren geopend kunnen worden bij een verval van 0,10 m over de deuren en windgolven. Nivelleren bij een verval over de sluis boven 0,10 m geschiedt met de deurschuiven.

Er is rekening mee gehouden dat tijdens het schutbedrijf ijsvorming in de kolk en op het Buiten-IJ kan voorkomen. In verband met de benodigde manoeuvreerruimte tussen het beweegbare gedeelte van de Schellingwouderbrug en de Prins Willem-Alexandersluis moet de afstand tussen de brug en de sluis ca. 350 m (3 scheepslengten) bedragen.

Er is vanuit gegaan dat de sluis niet gestremd mag worden gedurende lange tijd door bijvoorbeeld een aanvaring of door onderhoud. Daarom is een reservedeur nodig. Deze reservedeur moet horizontaal worden opgeslagen in verband met zichteisen vanuit het bedieningsgebouw.

Gezien de toegankelijkheid van de sluis zelf en het gedeelte tussen het bestaande sluizencomplex en de nieuwe sluis, alsmede in geval van onderhoud en calamiteiten, is de nieuwe sluis uitgerust met een overbrugging. Deze voldoet aan een rijwegbreedte van ten minste 3 m, op- en afritten met een straal van $R = 15$ m en geschiktheid voor verkeersklasse 60, zonder stootcoëfficiënt en vermoeiing in rekening te brengen.

23.3.4 Staal- en werktuigbouwkundige constructies

23.3.4.1 Keuze deurtype

Bij het voorontwerp zijn vier typen sluisdeuren in beschouwing genomen, te weten roldeuren, puntdeuren, enkele draaideuren en hefdeuren. Voor de roldeuren zijn ook glijdende roldeuren in verdiepte goten (zgn. glijdeuren) in beschouwing genomen. De mogelijke plaats van de puntdeuren in de sluishoofden is voor de diverse varianten bekeken. De hefdeuren zijn om redenen van beperking doorvaarthoogte en esthetica direct afgefallen. Bij de keuze van het sluisdeurtype zijn ook de sluishoofden en bewegingswerken betrokken.

De onderlinge vergelijking van de deurtypen is aangegeven in tabel 23.3. Bij het bepalen van de bouwkosten van de verschillende deurtypen zijn alleen de hoofdzaken geraamd en deze dienen alleen ter indicatie in vergelijkende zin. Ze mogen niet als ramingen voor het complete technische deel van de sluizen worden beschouwd. De bouwkosten zijn inclusief vaste kosten en BTW (prijsspeil 1987). In de ontwerp-fase kon geen duidelijk beeld worden gegeven van de absolute verschillen in onderhoudskosten van de verschillende deurtypen.

De eerste keus voor het deurtype betrof de tweezijdig kerende, enkele puntdeuren. Op grond van een aantal overwegingen is echter de voorkeur gegeven aan roldeuren met aanpassing van de constructie tot glijdeuren. Die overwegingen hadden te maken met deurbediening, sluiten op stroom, afdichting, gevoeligheid voor aanvaring, situatie van de Schellingwouderbrug, overbrugging, exploitatiekosten en onderhoud. Over het onderhoud wordt het volgende opgemerkt. Een normale roldeur heeft een aantal onderhoudsgevoelige delen onder water, zoals onderrolwagens en de op de bodem bevestigde rails. Voor vervanging van de railbaan zijn een droogzetkuip en schotbalken nodig, wat voor onderhoud een minpunt is ten opzichte van puntdeuren. Aan dit minpunt kan in belangrijke mate tegemoet worden gekomen door het toepassen van hydrostatische lagers, waardoor een glijdeur ontstaat. Bij deze lagers wordt de sluisdeur bewogen over een waterkussen dat door pompoverdruk wordt gecreëerd tussen de lagers en een op de bodem bevestigde kunststof baan. Onder water bevinden zich dan geen bewegende delen meer. Zoals uit proefnemingen was gebleken heeft de kunststof baan een lange levensduur.

De bouwkosten van de sluis met glijdeuren inclusief bewegingswerken, reservedeur enz., werden indicatief geraamd op f 44,6 miljoen. De goedkoopste oplossing was die met een dubbelkerende puntdeuren, die werd geraamd op f 42 miljoen. De sluis met geleidewerken was totaal begroot op rond f 90 miljoen. Gezien de pluspunten van de oplossing met glijdeuren ten aanzien van beheer, gebruik en exploitatie werden de meerdere kosten van f 2,6 miljoen aanvaardbaar geacht en werd gekozen voor de glijdeuren met hydrostatische lagers.

Aspect	Roldeuren	Puntdeuren				enkele draai-deuren
		enkel stel naar buiten draaiend	enkel stel naar binnen draaiend	enkel stel naar buiten-IJ draaiend	dubbel stel	
Techniek						
• lengte sluis in m'	222	240	237	241	250	270
• vermogen onder deur(stel)	40 kW	50 kW	50 kW	50 kW	50 kW	150 kW
• plaatsing deurschuiven	–	+	+	+	+	++
Beheer						
• bewegende delen onder water	–	+	+	+	++	o
• gevoeligheid voor ijs	+	o	–	o	o	o
• sluiten onder stroom	+	+	+	o	++	+
• geschikt voor negatief verval	++	+	+	+	o	+
• kwetsbaarheid voor aanvaring	+	++	o	+	–	o
Onderhoud en reparatie						
• intensiteit onderhoud	–	o	++	+	o	o
• slibvorming	–	o	o	o	o	o
• onderhoudsvoorzieningen	–	o	o	o	o	o
Transport, montage en demontage						
• transport	+	++	++	++	++	+
• montage en demontage	++	+	+	+	+	o
Reservedeur en opslag						
• deurenbergplaats	o	o	o	o		o
• gewicht per deur	1.500 kN	400 kN	400 kN	400 kN	400 kN	1300 kN
Overbrugging						
• asverkeer	+	o	o	o	o	++
Kosten						
• bouwkosten (indicatief)	45,6	42,4	42,0	42,2	50,0	43,7
• onderhoudskosten (indicatief)	–	o	++	+	o	o

(++ = goed + = redelijk o = voldoende – = matig)

Tabel 23.3 Onderlinge vergelijking deurtypen

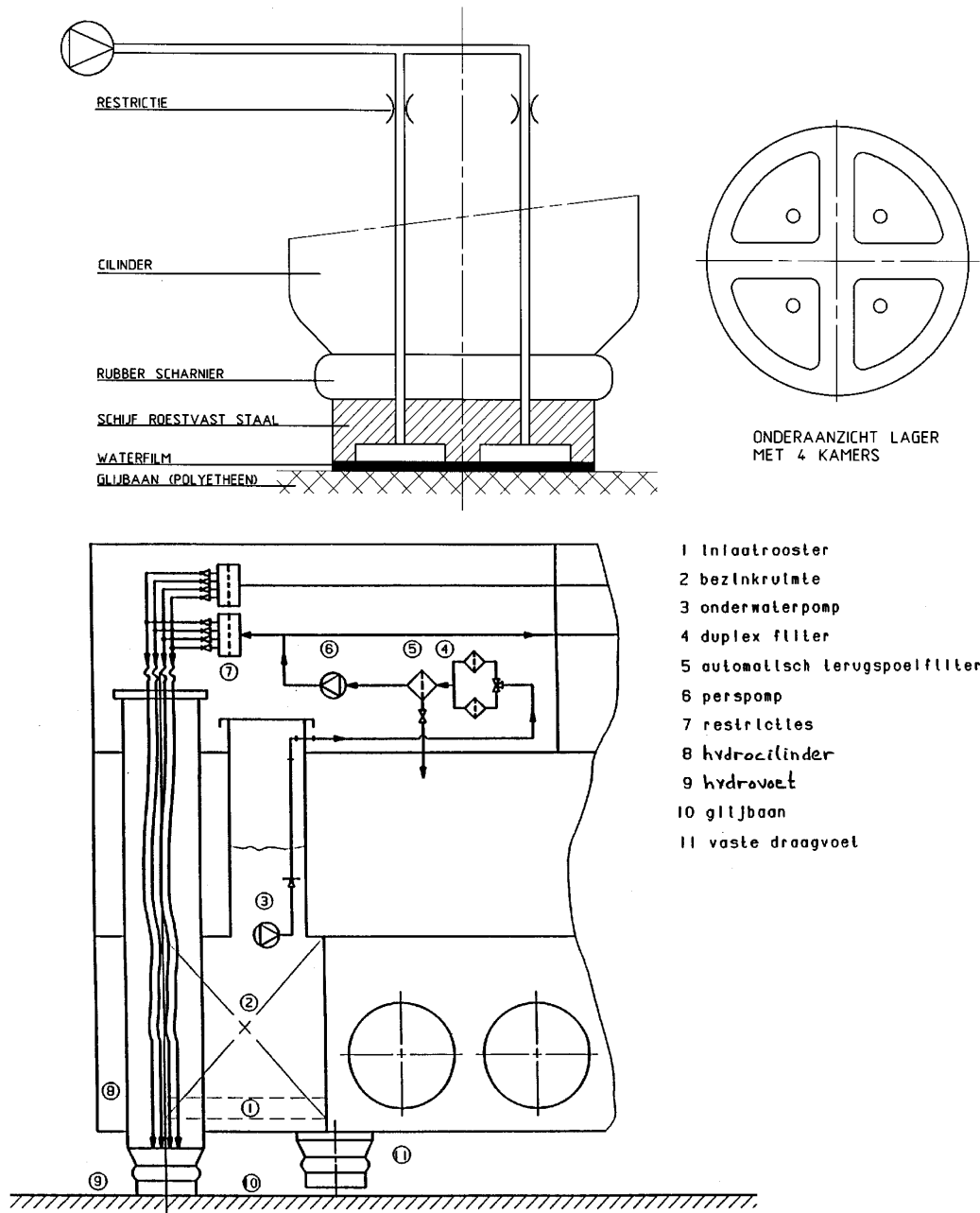
23.3.4.2 Ondersteuning glijdeur met hydro-installatie

De conventionele oplossing voor het ondersteunen van een horizontaal translerende roldeur bestaat uit rails op de bodem van het sluishoofd waarover twee onderrolwagens met wielen bewegen. Via rubberpakketten steunt de sluisdeur op de onderrolwagens. In de praktijk blijkt dit systeem, mede door het grote aantal bewegende delen onder water, relatief hoge onderhoudskosten te vergen en aanzienlijke stremmingen van het sluisbedrijf te kunnen veroorzaken.

Een alternatief voor de ondersteuning vormt de oplossing met hydrostatische lagers. Bij dit systeem wordt water onder hoge druk tussen twee glijvlakken geperst, waardoor een dunne, smerende waterlaag ontstaat. Doordat hydrostatische lagers weinig constructiehoogte vergen ten opzichte van onderrolwagens, kan worden volstaan met de bouw van een minder diep sluishoofd. De bouwkosten van hydrostatische lagers met randapparatuur zijn in dezelfde orde van grootte als die van onderrolwagens met wielen en rails. De onderhoudskosten zullen echter aanmerkelijk lager zijn.

De hydro-installatie omvat:

- twee hydro-cilinders;
- glijbaan;
- pompinstallaties;
- twee vaste draagvoeten;
- voorzieningen voor montage, inspectie en onderhoud.



Figuur 23.20 Hydrovoet en schema van pompkamer

Elke sluisdeur is voorzien van twee hydrovoeten, één aan de kaszijde en één aan de niszijde van de glijdeur (fig. 23.20 en foto 7.28). De hydrovoeten worden gevoed met het omringende sluiswater via twee in de glijdeur opgestelde identieke pompinstallaties die elkaars reserve vormen. Elke pompinstallatie is ondergebracht in een pompkamer in het bovenste deel van de glijdeur.

De functie van de hydro-installatie is het ondersteunen van de deur bij het bewegen, met een minimum aan wrijving en het ondersteunen van de deur gedurende stilstand. Het bewegen van de deur moet mogelijk zijn bij waterstanden tussen NAP +0,30 m en NAP -1,15 m. Gedurende stilstand moet de installatie minstens bestand zijn tegen waterstanden tot NAP +0,95 m en de toestand waarbij de deur drooggezet is. De hydro-installatie moet tegen alle plaatselijke omstandigheden (temperatuur, drijvend of zwevend vuil etc.) bestand zijn. De levensduur is ten minste 25 jaar en alle onderdelen zijn eenvoudig te inspecteren en te onderhouden.

De hydro-installatie bevindt zich volledig in de deuren. Door middel van een rubber oplegging is de hydro-voet elastisch verbonden met een hydrocilinder die tot boven in de deur doorloopt. Het rijdek op de glijdeur is van een opening voorzien die door een luik wordt afgesloten. Door deze opening kan de hydro-voet met hydrocilinder met de overige onderdelen uit de deur genomen worden. Bij uitval van de installatie worden de hydrovoeten met een handbewegingswerk zonodig ingetrokken, waarna de deur op de vaste draagvoeten kan worden bewogen. De onderkant van de voet is dan inspecteerbaar. De vaste draagvoeten dienen tevens om de deur in drooggezette omstandigheden te ondersteunen.

De capaciteit van de perspomp wordt bepaald door de hoeveelheid water die moet worden toegevoerd naar de beide hydrovoeten. De opvoerhoogte wordt bepaald door de druk die nodig is om de glijdeur onder belasting te liften. Als de druk in de kamers de belasting op de hydrovoet overtreft kan de hydrovoet zich van de glijbaan verheffen en wordt een vloeistoffilm opgebouwd. Onder een belasting van 25 ton per hydrovoet moet voor een filmdikte van 0,12 mm een perspompcapaciteit van 20 m³/uur bij een druk van 19,2 bar geleverd worden. Door middel van een restrictie-unit bij elke hydrovoet wordt het water verdeeld in vier aparte leidingen, één voor elke kamer in de hydrovoet.

De hydrovoet bestaat uit een roestvast stalen glijplaat met 4 kamers en een rubber oplegging met bovenplaat. Via slangen en een aansluitflens wordt het water uit de restrictie-unit in de kamers geperst. De hydrocilinder bestaat uit een pijp die tot boven in de pompkamer doorloopt en gemonteerd is in een schacht die in de glijdeur is gelast. Voor inspectie is de hydrocilinder inwendig droog en voorzien van een ladder.

Het vlak waarover de hydro-voeten bewegen is de glijbaan (foto 7.29). De glijbaan rust op een verhoogd deel in de goot (of sleuf) van het sluishoofd. De glijbaan bestaat uit zwarte kunststof platen (afmetingen 2 x 1,1 x 0,07 m³) die op een zeer vlakke betonnen ondergrond gemonteerd zijn. Voor de vlakheid van dit beton geldt dat het oppervlak moet liggen tussen twee evenwijdige platte vlakken, waarvan de onderlinge afstand 0,45 mm bedraagt. De platen zijn onder water te inspecteren, te onderhouden en te vervangen.

De vaste draagvoeten bevinden zich tussen de beide hydrovoeten in. De vaste draagvoeten dienen ter ondersteuning van de glijdeuren als de hydro-voeten niet in werking zijn. Omdat de glijdeur incidenteel met de vaste draagvoet moet kunnen bewegen, is deze identiek uitgevoerd aan de hydrovoet. Alleen de vier kamers zijn niet aangebracht, de glijplaat is gemaakt van staal. Als de hydrovoet gemonteerd is, bevindt de vaste voet zich ca. 40 mm boven de glijbaan.

In elke glijdeur zijn twee identieke pompinstallaties opgesteld, die elkaars reserve vormen. Gedurende het openen en het sluiten van de glijdeur is één pompinstallatie in bedrijf. De volgende cyclus de andere pompinstallatie. Hiermee wordt bereikt dat de beide pompinstallaties regelmatig in bedrijf zijn. Het starten en het omschakelen van de pompinstallaties wordt tijdens het schutproces automatisch geregeld.

De toepassing van hydrostatische lagers voor de ondersteuning van sluisdeuren was voor Rijkswaterstaat een nieuwe techniek. Om te bepalen in hoeverre hydrostatische lagers in het onderhoud en beheer concurrerend zijn met de conventionele oplossingen van wielen met rails, was het van groot belang de ervaringen met de hydrostatische lagers goed vast te leggen. De opzet van een doelmatige beheer- en onderhoudsstrategie was daarom noodzakelijk.

23.3.4.3 Staalconstructie glijdeur

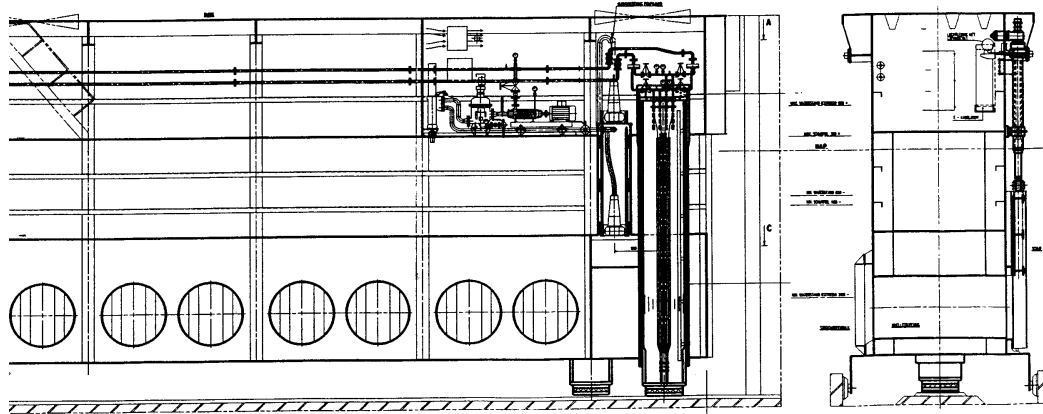
De glijdeur is een gelaste staalconstructie met de vorm, die is aangegeven in fig. 23.21 en de foto's 7.6 en 12.1.

De glijdeur bestaat uit twee evenwijdige verticale plaatvelden, die door vier horizontale plaatvelden met elkaar verbonden zijn. De vier horizontale plaatvelden die van boven naar beneden onderscheiden worden, zijn:

1. het rijdek, waarvan de bovenkant van de 8 mm dikke slijtlaag ligt op NAP + 2,85 m;
2. bovenste tussenvloer, bovenkant ligt op NAP +0,36 m;

3. onderste tussenvloer, bovenkant ligt op NAP -1,77 m;
4. ondervloer van de glijdeur, bovenkant ligt op NAP -4,44 m.

Op deze wijze ontstaan drie boven elkaar gelegen kokers. De glijdeur wordt aan het kopeind van de bovenste en onderste koker beëindigd door een versterkt plaatveld.



Figuur 23.21 Verticale langsdoorsnede over hart glijdeur en verticale dwarsdoorsnede over hart buisopening

De bovenste koker is toegankelijk via een scharnierend luik in het rijdek. In elk van de kopeinden is een pompkamer gesitueerd waarin delen van de hydro-installatie zijn opgenomen. De pompkamers zijn toegankelijk via waterdichte deuren in de beide tussenschotten. Het overige deel van de bovenste koker is aan de onderzijde niet waterdicht, zodat bij hoge waterstanden (aan de hoogwaterzijde van de glijdeur) deze waterstanden hierin doordringen ter vermindering van de opwaartse belasting van de deur. Voor (de)montage van de hydrocilinders is in het rijdek van elke glijdeur boven elke hydrocilinder een onderhoudsluik gemonteerd.

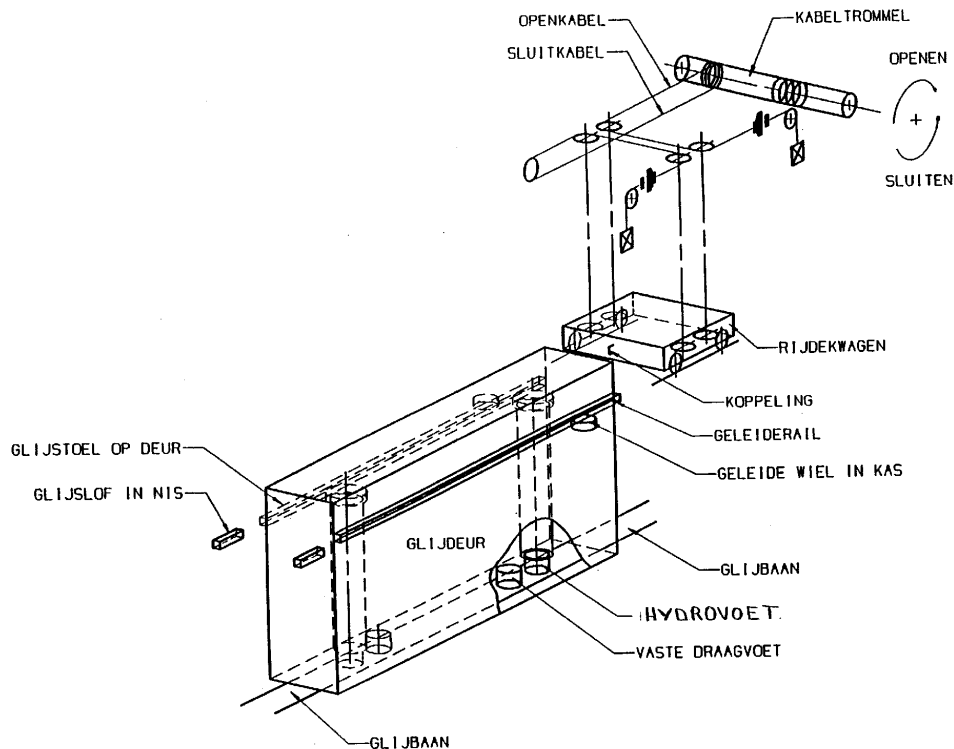
De middelste van de drie kokers is aan de kopzijden van de glijdeur toegankelijk voor water. Als de glijdeur geopend wordt (de glijdeur wordt uit de kas getrokken) stroomt het overtollige water uit de kas onder meer door de glijdeur. Zo wordt de door het water uitgeoefende weerstand bij het bewegen van de glijdeur beperkt.

De onderste van de drie kokers vormt de luchtkist. Een luchtkist is noodzakelijk omdat het dienstgewicht van de glijdeur onder water beperkt dient te blijven tot max. 500 kN. De luchtkist is waterdicht en permanent van de buitenlucht afgesloten. In de luchtkist zijn nivelleeropeningen opgenomen. Deze openingen bestaan uit 12 stuks ronde pijpen met een binnendiameter van 1,30 m. De luchtkist is voorzien van een lekdetectie-systeem om bij lekkages de luchtkist leeg te persen. Er zijn een persleiding en een stijgleiding aangebracht om de luchtkist te kunnen leegpersen. Dit kan alleen kan als een eventueel lek van de luchtkist is hersteld, of als deze lekkage per tijdseenheid binnen bepaalde grenzen blijft. Als de glijdeur in bedrijf is, is de luchtkist niet toegankelijk. Wel is de luchtkist voorzien van mangaten zodat, als de glijdeur in den droge is opgesteld, de luchtkist bereikbaar is voor onderhoud en inspectie.

Aan de maatvoering van die delen van de staalconstructie van de glijdeur, die van belang zijn voor het functioneren van de constructie, zijn extra maattoleranties gesteld. De hoofdconstructie van de glijdeur is als een driedimensionaal model berekend met het Eindige Elementen Programma Diana.

23.3.4.4 Horizontale geleiding van de glijdeur

Aan de verticale randen van de plaatvelden aan de kopeinden bevinden zich de verticale aanslagen van de glijdeur. De verticale aanslagen zorgen, als de sluisdeur in kerende positie is, voor de afdracht van de belasting van de glijdeur naar de opleggingen. Samen met de horizontale aanslag aan de onderrand zorgen de verticale aanslagen voor de afdichting. De horizontale afdichting bevindt zich op een zogenaamde verende plaat tegen de ondervloer aan weerszijden van de glijdeur. De verticale en horizontale afdichting bestaat uit stalen profielen en kunststof strippen.



Figuur 23.22 Geleiding en deurbewegingswerk Prins Willem-Alexandersluiz

De vier onderste hoekpunten van de glijdeur zijn versterkt en voorzien van glijsloten. Als de glijdeur in langsrichting voortbewogen wordt aan de rijdekwagen, vindt geleiding aan de onderzijde plaats langs de onderafdichting en de glijsloten. Aan de bovenzijde bevindt zich op NAP +2.00 m aan weerszijden van de glijdeur een geleideconstructie door middel van horizontale geleidewielen nabij de kasmonding (fig. 23.22, foto 7.30).

Het gebied van de verticale aanslagen dat zich in de nabijheid van de waterlijn bevindt, is in principe gevoelig voor aanvriezende ijs. Daarom zijn in de verticale aanslagen van de glijdeuren verwarmingselementen aanwezig tussen niveaus NAP + 0,60 m en NAP -1,40 m. Hierbij is uitgegaan van een winterstreefpeil van NAP - 0,40 m en een door golven en spatwater beïnvloede zone van +/- 1,00 m.

23.3.4.5 Bewegingswerken

De functies van de rijdekwagen zijn het aandrijven van de deur via een mechanische koppeling en het mogelijk maken dat verkeer via het sluishoofd over de gesloten glijdeur kan rijden. Het aandrijven gebeurt door een stelsel van staalkabels dat deel uitmaakt van het deurbewegingswerk. Het hart van de rijdekwagen ligt in het verlengde van de hartlijn van de glijdeur. Een rijdekwagen is opgebouwd uit twee hoofdliggers. Tussen de hoofdliggers bevinden zich een aantal dwarsliggers. De hoofdliggers en de dwarsliggers zijn geïntegreerd met de orthotrope rijvloer. De rijdekwagen wordt gedragen op vier wielen (fig. 23.22).

De deurbewegingswerken van het westelijk en oostelijk sluishoofd zijn in principe identiek. Een deurbewegingswerk bestaat in hoofdzaak uit een gelijkstroommotor, met gescheiden koeler en luchtfilter, die via een koppeling met de rem de ingaande as van een tandwielkast aandrijft.

Omtrent de vrijloop van de glijdeur in langsrichting is de volgende filosofie gevolgd. De glijdeur wordt voortbewogen door de rijdekwagen. Aan het eind van het bewegingstraject van de rijdekwagen, bij het sluiten van de glijdeur, wordt deze met twee buffers tegen de aanslagen van het betonvlak gedrukt. De rijdekwagen wordt hierbij voorgespannen tegen deze aanslagen. In deze situatie heeft de rijdekwagen zowel in langsrichting als in dwarsrichting enige bewegingsvrijheid. Aan de kopzijde van de glijdeur bij

de niszijde is een buffer bevestigd om te voorkomen dat de glijdeur op ongewenste punten en bij calamiteiten contact heeft met de betonconstructie.

Het nivelleren van de sluiscolk gebeurt met behulp van 12 ronde deuropeningen. Per glijdeur zijn zes dubbelkerende deurschuiven aangebracht (foto 6.12). De rechthoekige deurschuiven hebben een grootte van $3,25 \times 1,53 \text{ m}^2$, en sluiten elk twee (ronde) doorstroomopeningen af (diameter 1,30 m). De schuiven bevinden zich steeds aan de voorhavenszijde van de glijdeur (Buiten IJ cq. Binnen IJ) en de stroombreekbalken aan de kolkzijde (foto 6.13). De normale slag van de schuif is 1530 mm. De schuiven zijn van staal en bestaan uit één vlak van staalplaat versterkt met walsprofielen. Afhankelijk van het beginverval worden de schuiven met een hogere of lagere snelheid voortbewogen.

23.3.4.6 Onderhoud

De uitgangspunten voor inspectie en onderhoud zijn beschreven in een zogenaamd beheers- en onderhoudsplan. In dit beheers- en onderhoudsplan is onder meer rekening gehouden met de faalkansen van de diverse onderdelen. Voor groot onderhoud dienen de glijdeuren met een drijvende bok uit de sluishoofden verwijderd te worden en in de deurenopbergplaats geplaatst.

De sluishoofden zijn voorzien van droogzetvoorzieningen. Het betreft twee droogzetschotten waarmee een glijdeur in een sluishoofd drooggezet kan worden. Elk droogzetschot heeft afmetingen van $24,80 \times 6,30 \text{ m}^2$, een kerende hoogte van NAP +1,60 m en een gewicht van ca. 50 ton.

De eis werd gesteld dat de reserve glijdeuren niet boven het niveau NAP +5,50 m mochten reiken in verband met de zichteisen en om zo weinig mogelijk horizonvervuiling te veroorzaken. Daarom is besloten om de reserve deur in de deurbergplaats horizontaal op te stellen. Maximaal kunnen in de deurbergplaats 2 glijdeuren opgesteld worden. De deurbergplaats is opgenomen in de noordelijke kolkwand (kistdam) en bestaat uit een op palen gefundeerde betonnen bakconstructie. Om in verband met de lengte van de betonnen bak hoge temperatuurbelastingen te voorkomen (waardoor kans op scheurvorming ontstaat), is de constructie in dwarsrichting van dilatatievoegen voorzien.

Uitgangspunt voor het conserveringssysteem in zijn totaliteit is een grootonderhoudscyclus van 8 jaar. De staalconstructies van de glijdeuren en rijdekwagens zijn na het stralen tot een straalgraad van Sa 3 volgens ISO 8501-1 1988, voorzien van:

- één laag epoxy-primer, laagdikte 60 micrometer (bovenzijde glijdeuren en rijdekwagens 40 micrometer);
- twee lagen epoxy-coating HS, laagdikte 200 micrometer per laag.

23.3.5 Civieltechnische constructies

23.3.5.1 Sluishoofden

Het ontwerp van de sluishoofden is aangegeven in fig. 23.23 (zie ook foto 8.6 en fig. 13.28).

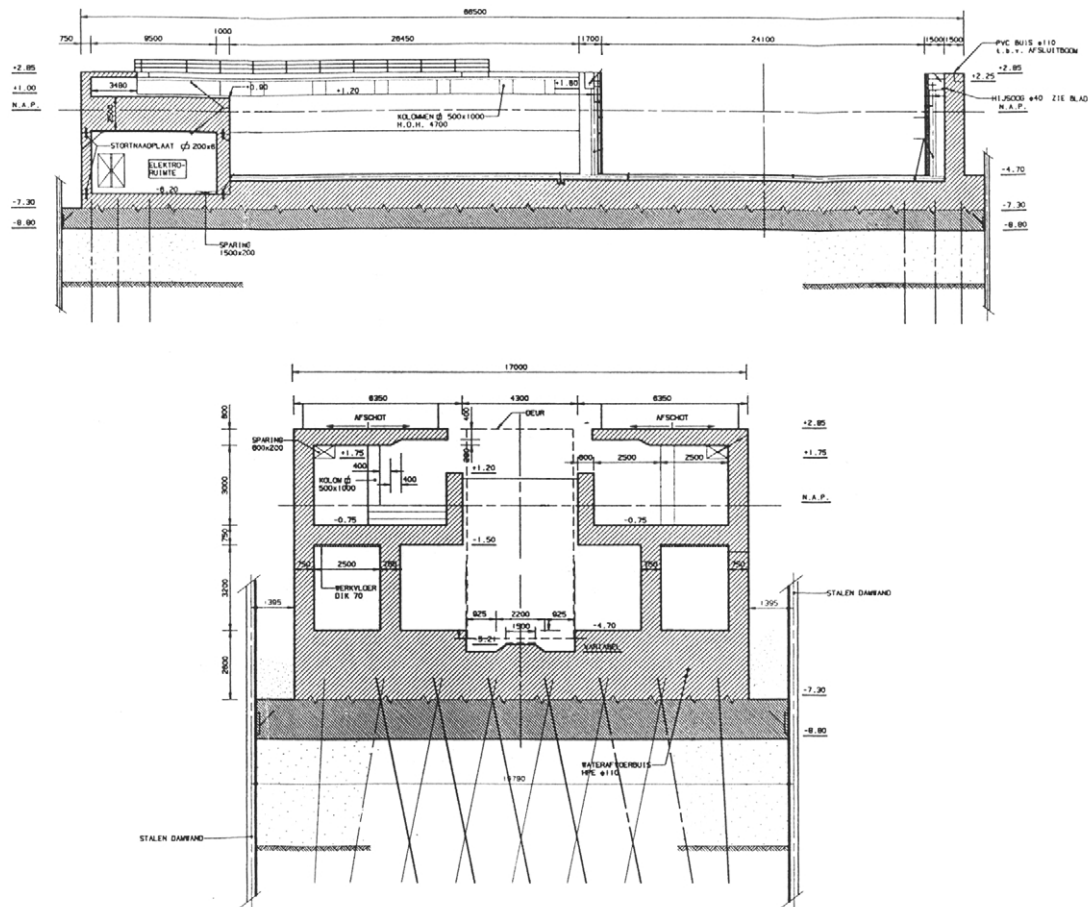
De sluishoofden zijn opgebouwd uit:

- een vloer met een sponning voor de glijdrempel van de sluisdeur;
- een wand met een deurnis aan de noordzijde;
- een wand met een deurkas aan de zuidzijde.

In een verdiept gedeelte van de vloer is een glijdrempel opgenomen. Op deze drempel is een kunststof baan aangebracht voor de hydrostatische lagers van de sluisdeur. Het bovenzijde van de drempel is nauwkeurig op hoogte gebracht in verband met het afstellen van de hydrostatische lagers. Voor het eventueel droogzetten van de glijdrempel zijn sponningen aangebracht in de wanden van de hoofden ter weerszijden van de sluisdeuren voor het plaatsen van de droogzetschotten.

De sluishoofden zijn in droge bouwkuipen gebouwd (foto's 13.5 en 13.13). Na ontgraving en stempeeling van de bouwkuipwanden, zijn binnen de kuip voorgespannen betonnen palen geheid, die in eerste

instantie dienden als trekpalen voor de onder water gestorte betonvloer, die de bouwkuipen tussen de damwanden afsluit. In tweede instantie dienen de palen voor de definitieve fundering van de sluishoofden. De onderwaterbetonvloer is via stalen trekankers aan de bouwkuipwanden verankerd. Om te voorkomen dat het onderwaterbeton op een te slechte grondlaag moest worden gestort, waardoor ontoelaatbare zettingen tijdens het storten konden optreden, zijn de grondlagen in de bouwkuip tot aan de vaste zandlaag (gem. ca. NAP – 12,50 m) ontgraven en vervangen door zand. Op de zandlaag werd eerst het onderwaterbeton gestort en na verharding hiervan, zijn de bouwkuipen drooggepompt. De betonnen vloer van de sluishoofden is zonder dilatatievoegen rechtstreeks op de onderwaterbetonvloer gestort. Plaatselijke scheurvorming in de sluisvloer trad niet op omdat zowel de palen als de wrijvingsweerstand tussen de vloer en het onderwaterbeton, de verhardingskrimpscheuren over het gehele oppervlak van de vloer zullen verdelen. Nadat de waterkering was gewaarborgd en de ontgraving van de voorhavens was voltooid, werden ter plaatse van de aansluitingen van de kolk en de voorhavens de stalen damwanden van de bouwkuipen onder water afgebrand.



Figuur 23.23 Verticale doorsnede sluishoofd loodrecht op de sluisas t.p.v. sponning glijdrempel, Verticale doorsnede sluishoofd evenwijdig aan de sluisas t.p.v. deurkas

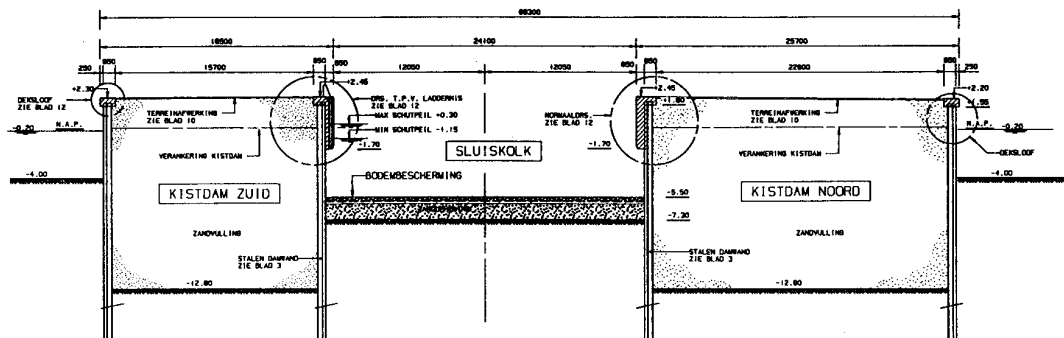
23.3.5.2 Sluiskolk

Het ontwerp van de sluisenkolk is aangegeven in fig. 23.24. De totale kolkengte bedraagt 207 m, de kolkbreedte is 24,10 m.

Voor de kolkwanden is gekozen voor een kistdamconstructie, die is opgebouwd uit twee aan elkaar verankerde stalen damwandschermen (combinatiewanden bestaande uit H-profielen verbonden met een damwand) met daartussen een zandaanvulling. De damwandschermen aan de kolkzijde zijn voorzien van betonnen schorten (onderzijde is NAP – 1,70 m) waarin de ladders, haalkommen en bolders zijn opgenomen (foto 13.8).

De kolk heeft een open vloer van stortsteen. Door het WL is onderzoek gedaan naar de stabiliteit van de bodembescherming. De bodemverdediging van de sluis wordt het zwaarst belast bij openstaande sluisdeuren met doorvarende schepen tijdens stromend water en tijdens het sluiten van de deuren in stromend water bij een verval van 0,20 m.

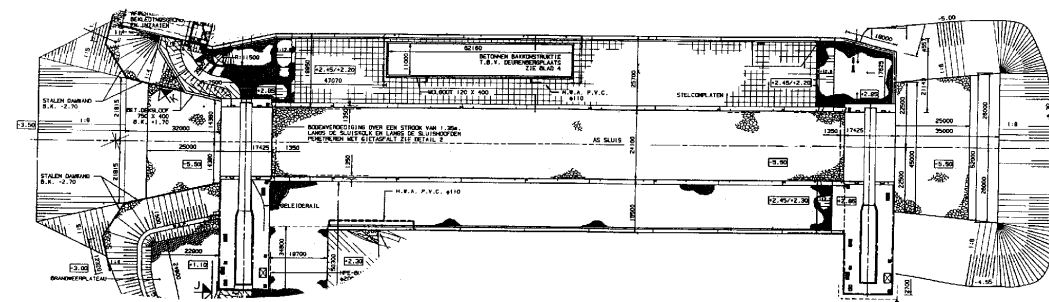
De bodembescherming van de sluis kolk bestaat uit een zinkstuk van kunststof filterdoek met rietmat en wiepen op een zandlaag (foto 16.4). De 1 m dikke zandlaag is bedoeld als grondverbetering op de minder draagkrachtige laag eronder. Op het zinkstuk ligt breuksteen 80/200 mm met een laagdikte van 0,20 m waarop een bovenlaag van breuksteen 40/200 kg met een minimale laagdikte van 0,60 m. Om ontgroningen tegen te gaan, is in en langs de damwandkassen op de zandlaag een strook grind aangebracht en is de bovenste bestortingslaag over een breedte van 1 m uit de wanden, resp. vloeren, gepenetreerd met gietasfalt.



Figuur 23.24 Verticale doorsnede over sluis kolk loodrecht op de sluisas

23.3.5.3 Bodemverdediging voorhavens

De westelijke voorhaven heeft aan weerszijden stalen damwanden waartegen taluds aansluiten. De taluds zijn voorzien van bekledingen van stortsteen. De asymmetrische vormgeving van de westelijke voorhaven vormt voor de scheepvaart geen probleem (fig. 23.19).



Figuur 23.25 Overzicht eindsituatie

Het overzicht van de eindsituatie van de sluis is aangegeven in fig. 23.25. De bodem is aan beide zijden buiten de sluis verdedigd over een lengte van 25 m. De bodemverdedigingen zijn aan de randen opgesloten door damwanden, resp. de vloer van de sluishoofden. Evenals bij de sluis kolk kan langs de randen ontgroning aan de bestorting optreden. De randaansluitingen van de bestortingen zijn daarom over een breedte van 1 m met gietasfalt gepenetreerd. Net als bij de bestortingen van de sluis kolk bodem bedraagt de dikte van de bovenlaag minimaal 0,60 m. De breuksteen van de bovenste laag is gelijk aan die als omschreven bij de sluis kolk bodem. De bodemverdedigingen rusten op een grondverbetering bestaande uit een zandlaag van 1 m dikte.

23.3.5.4 Onder- en achterloopsheid

Doordat zowel de beide sluishoofden als de kolkwanden worden omgeven door stalen damwanden die een aantal waterremmende grondlagen doorsnijden en reiken tot in een tweede zandlaag, is het risico van kwel en onderloopsheid via de sluis vrijwel uitgesloten. Teneinde kwel tussen de sluis en de onderbouw van het gesloopte stoomgemaal zoveel mogelijk te voorkomen, is de damwand van de noordelijke kistdam zo dicht mogelijk tegen een houten kwelscherm van het gesloopte stoomgemaal aangesloten en bovendien met een kleikoffer afgedicht. De bestaande kwelschermen van het gesloopte stoomgemaal zijn zoveel mogelijk gehandhaafd.

23.3.5.5 Milieuaspecten

Er was een grote hoeveelheid vervuilde grond op de bouwlocatie aanwezig. De vervuilde baggerspecie werd onder water in depot gebracht. Vervuilde droge grond werd ontgraven en verwerkt in een aantal geïsoleerde cellen in de gewapend-betonconstructies van de sluishoofden en in het bovenste deel van de kistdammen.

Bij de keuze van de conserveringsmiddelen is rekening gehouden met het milieu. Op stalen damwanden is geheel geen conservering toegepast en er zijn - in verband met afroesten - dikkere profielen toegepast.

Hoewel bij de bodembescherming om financiële redenen de toepassing van fosforslakken de voorkeur had, is vanwege het milieu toch voor grind gekozen.

Gelet op het beleid ten aanzien van het hergebruik van afvalstoffen, is bij de samenstelling van betonmortel voor de gewapend-betonconstructies 20% van het grind vervangen door betongranulaat.

23.4 Naviduct Krabbersgat te Enkhuizen

23.4.1 Inleiding



Foto 23.24 Impressie van het Naviduct Krabbersgat

Het Naviduct Krabbersgat te Enkhuizen is een combinatie van een dubbele schutsluis met een onderdoorgang voor het wegverkeer. De nieuwe sluisen zijn specifiek bedoeld voor de recreatievaart maar ook de beroepsvaart tot CEMT-klasse Va kan gebruik maken van de nieuwe sluisen. Het Naviduct wordt gebouwd in een kunstmatig aangelegde polder. Het nieuwe sluisencomplex is ten oosten van de bestaande spuisluis gelegen. In 1999 is met de bouw gestart. Foto 23.24 geeft een impressie van het complex in voltooide staat. Zie verder Lit. [23.12] en [23.13].

De bestaande Krabbersgatschutsluis te Enkhuizen vormt in het zomerseizoen een knelpunt in het wegen- en vaarwegennet. De capaciteit van de bestaande schutsluis is ontoereikend voor de recreatievaart. Bovendien zal het aanbod van recreatievaartuigen de komende jaren verder toenemen waardoor de problemen verergeren. Door het vele openen van de beweegbare brug voor de recreatievaart is er ook voor het wegverkeer aanzienlijk oponthoud. Naar aanleiding hiervan is besloten het sluiscomplex uit te breiden en de hinder voor het wegverkeer weg te nemen.

Besloten is een zogenaamd Naviduct aan te leggen. Een Naviduct vormt een kruising tussen scheepvaart- en wegverkeer waarbij het scheepvaartverkeer door een of meerdere sluisen plaats vindt en het wegverkeer in een tunnel onder het sluisencomplex door wordt geleid. Anders gezegd: het Naviduct is een aquaduct waarbij de waterbak is ingericht als schutsluis. De essentie van deze oplossing is tweeledig: ten eerste de sluiscapaciteit uitbreiden en ten tweede het wegverkeer onafhankelijk maken van het vaarwegverkeer.

De scheepvaart krijgt door de bouw van het Naviduct de beschikking over twee extra sluiskolken. Ter weerszijden van het Naviduct bieden voorhavens beschutting en manoeuvreerruimte aan de scheepvaart. Het wachten en opstellen van de recreatievaartuigen voordat geschut kan worden, heeft plaats aan een doorgaand remmingwerk (de betonconstructie van foto 23.24 wordt vooralsnog niet gebouwd). Hierdoor kan het schutten van grote aantallen recreatievaartuigen op een gestructureerde en vlotte wijze geschieden. In combinatie met puntdeuren die snel bewogen worden en een snel vul- en ledigingssys-

teem zullen de toekomstige passeertijden naar verwachting gemiddeld 30 minuten bedragen. Dat is een aanzienlijke verbetering ten opzichte van de huidige situatie.

Het wegverkeer kruist de beide nieuwe sluizen van het Naviduct in drie tunnelbuizen. Ook ter plaatse van de bestaande schutsluis zal de automobilist in de nieuwe situatie meestal ongehinderd doorrijden, aangezien de brug over de bestaande sluis in de nieuwe situatie nauwelijks nog geopend hoeft te worden. De recreatievaart waarvoor nu de brug vaak geopend moet worden, wordt dan immers door het Naviduct gesloten. Ten opzichte van het huidige tracé nabij de Krabbersgatsluizen krijgt het nieuwe wegtracé een ruimere horizontale boogstraal.

Het bedieningsgebouw, de sluishoofden en het uitkijkplateau worden bereikbaar gemaakt voor het wegverkeer. Het sluispersoneel krijgt de beschikking over een nieuw bedieningsgebouw ter plaatse van het Naviduct. De operationele ruimte hiervan wordt ingericht met twee volwaardige bedieningslessenaars en een lessenaar voor ondersteunende werkzaamheden. Zowel het bestaande sluiscomplex als het Naviduct zullen in de toekomst van hieruit bediend worden.

23.4.2 Programma van eisen

23.4.2.1 Algemeen

Bestaande sluizencomplex

De bestaande schutsluis die gebouwd is tussen 1969 en 1971, vormt de noordelijke verbinding van het Markermeer en het IJsselmeer. Voor de beroepsvaart is de sluis geschikt voor schepen tot CEMT-klasse Va. Met betrekking tot de recreatievaart is de sluis ingedeeld in de hoogste BRTN-categorie.

De bestaande spuisluis bevindt zich ten oosten van de schutsluis (fig. 23.26). Naast het lozen van oppervlaktewater wordt de spuisluis ook gebruikt voor de passage van beroepsvaart. Dit laatste alleen als er (nagenoeg) geen vervallen zijn en de stroomsnelheden niet meer bedragen dan circa 1,5 m/s. De spuisluis bestaat uit twee open kokers met een vloer, twee landhoofden en een middenpijler. Het geheel is gefundeerd op betonnen palen. Op de landhoofden en de middenpijler staan de heftorens voor de stalen hefdeuren.

Over het sluizencomplex voert de weg Enkhuizen – Lelystad (N302). Naar verwachting zal deze in de toekomst deel gaan uitmaken van het Nederlandse hoofdwegennet (N23). Over het noordelijk hoofd van de schutsluis ligt een stalen beweegbare brug. Boven de spuisluis ligt een vaste brug.

Waterstanden

De geregistreerde waterstanden aan beide hoofden van de huidige schutsluis, betrekking hebbend op de periode 1976 t/m 1990, zijn statistisch bewerkt. Hieruit zijn de maatgevende hoogwaterstanden bepaald die behoren bij de ontwerp frequentie van de waterkering. Deze waterstanden gelden ook voor het Naviduct waarbij de voorhavens begrensd worden door leidammen. Evenzo zijn windgolven bepaald die gelden binnen de leidammen. Rekening is gehouden met 0,20 m stijging van het IJsselmeerwaterpeil in verband met mogelijke zeespiegelrijzing. Deze extreme waarden zijn:

	IJsselmeerzijde	Markermeerzijde
Ontwerppeil met overschrijdingsfrequentie 1/10.000 jaar	NAP +1,90 m	
Bijbehorend Markermeerpeil		NAP -1,05 m
Sign. golfhoogte H_{sign}	0,69 m	
Golfperiode T_p	2,2 s	
Golflengte L_0	7,70 m	
Ontwerppeil met overschrijdingsfrequentie 1/1000 jaar		NAP +1,70 m
Bijbehorend Markermeerpeil	NAP -1,50 m	
Sign. golfhoogte H_{sign}		0,90 m
Golfperiode T_p		2,5 s
Golflengte L_0		10,0 m

Waterkwantiteit en waterkwaliteit

Met betrekking tot de beheersing van de waterkwaliteit is het ongewenst dat er een ongecontroleerde wateruitwisseling optreedt tussen IJsselmeer en Markermeer.

Bodemgesteldheid

De bodemopbouw ter plaatse van het Naviduct Krabbersgat is globaal:

- slappe, ondraagkrachtige lagen (Holoceen) tot NAP – 13,0 m;
- draagkrachtige zandlagen (Pleistoceen) tot NAP – 23,0 m;
- waterremmende kleilaag (mariene Eemklei) tot NAP – 31,0 m;
- stijghoogte grondwater Holoceen grondpakket NAP – 0,40 m / -0,20 m;
- stijghoogte grondwater Pleistoceen zandpakket ca. NAP – 2,00 m, dus onderspannen grondwater.

Overige uitgangspunten

De mogelijkheid tot inpoldering van het Markermeergebied moet fysiek mogelijk blijven. Gestreefd moet worden naar een neutrale grondbalans. Ontgroningen in het Markermeer dienen beperkt te blijven tot de vaargeul Amsterdam – Lelystad. Vanwege het unieke karakter van het Naviduct Krabbersgat en het sluizencomplex, wordt dit als een voor de recreant aantrekkelijke bestemming gezien. Vanuit het oogpunt van verkeersveiligheid is recreatiebouw aan de Markermeerzijde niet wenselijk.

23.4.2.2 Verkeersaanbod en verkeersafwikkeling

Wegverkeer

Vanwege het toerisme wordt op de weg Enkhuizen – Lelystad (N302) de hoogste verkeersintensiteit in de zomermaanden gemeten. De gemiddelde verkeersintensiteit was in 1989 circa 7500 motorvoertuigen per etmaal; de prognose voor 2010 is 48% hoger: ca 11.000 mvt / etmaal. In het 2^e Structuurschema Verkeer en Vervoer is de weg opgenomen als onderdeel van het hoofdwegenet. Als streefbeeld van de bereikbaarheid geldt dat maximaal 5% van het dagelijkse verkeer met congestie geconfronteerd mag worden. Dit betekent voor de locatie Krabbersgat dat maximaal 5% van het dagelijkse wegverkeer 5 min. vertraging mag oplopen.

Scheepvaartverkeer

De scheepvaart wordt onderverdeeld in recreatievaart en beroepsvaart.

De Krabbersgatsluis is vooral van belang voor de recreatievaart door de grootschaligheid van de aangrenzende meren (ideaal voor zeiljachten) en de vaarroute van en naar de Friese meren. De beroepsmatige recreatievaart, de chartervaart, maakt eveneens veelvuldig gebruik van deze verbinding.

De beroepsvaart wordt onderverdeeld in goederen vervoerende binnenvaart en overige binnenvaart. De goederen vervoerende binnenvaart is slechts van lokaal belang; de bulk van het goederenvervoer over het IJsselmeer naar Noord Nederland en v.v. gaat via de Oranje- en Houtribsluizen, die deel uit maken van het hoofdvaarwegenet. Voor de overige beroepsvaart (beroepsvisserij) vormen de Krabbersgatsluizen de kortste route tussen de Oranjesluizen / Prins Willem-Alexandersluis en de Waddenzee. Op basis van metingen en prognoses is met het volgende scheepsaanbod rekening gehouden:

Scheepstype / scheepsaanbod per jaar	1989	2010
binnenvaart	4.500	4.650
overige beroepsvaart	5.800	5.000
recreatievaartuigen > 20m	5.000	10.000
recreatievaartuigen < 20 m	55.000	80.000

Tabel 23.4 Scheepsaanbod Krabbersgatsluizen (met containervaart is geen rekening gehouden)

23.4.2.3 Functionele eisen

Nieuwe schutsluizen

De hoofdafmetingen van het Naviduct worden bepaald door de twee parallelle schutsluizen, elk met een nuttige kolk lengte van 125 m en een breedte van 12,5 m. De drempeldiepte is bepaald op NAP –4,50 m.

Maximum schutpeil is NAP +0,45 m, minimum NAP –0,55 m. De nieuwe sluizen bieden de mogelijkheid tot schutten bij een waterstand van maximaal NAP +0,70 m mits het verval over de sluisdeuren kleiner is dan 1,00 m. De maximale diepgang van een klasse Va-schip bij minimum schutpeil en een kielspeling van 0,70 m mag 3,25 m zijn.

Beide sluizen zijn primair bedoeld voor het schutten van schepen behorende tot de categorie recreatievaart. Daarnaast kunnen ze tijdens een groot gedeelte van het jaar ook de hoog uitstekende beroepsvaart schutten. Beide sluizen dienen toegankelijk te zijn voor motorschepen behorend tot de klassen CEMT I t/m Va. Voor duwbakken behorende tot de klasse Va worden de sluizen niet toegankelijk gemaakt.

Op de tiende drukste dag van het jaar 2010 mag de gemiddelde passeertijd van de recreatievaart niet groter zijn dan 60 minuten, met andere woorden 9 dagen per jaar mag de gemiddelde passeertijd meer dan 60 minuten bedragen.

Een risico-analyse heeft aangetoond, dat vanuit het oogpunt van veiligheid van de hoogwaterkering, geen aanvaarbescherming nodig is bij de deuren. Tijdens vorst met ijsvorming dient, voor zolang er scheepvaart is, het functioneren van een sluis gewaarborgd te zijn.

De ontwerp levensduur van de civiele constructie is 100 jaar; voor de keringsmiddelen en andere vervangbare onderdelen geldt dat ze kosten-effectief ontworpen moeten zijn. Voor het plegen van onderhoud aan de deuren en aan voegconstructies van de sluisloten, moeten beide sluizen gelijktijdig of separaat, eventueel in compartimenten drooggezet kunnen worden met behulp van schotbalkschotten. Voor het in bedrijf houden van de bestaande werken, behoudens een enkele stremmingsperiode, moeten tijdelijke voorzieningen getroffen worden.

Het schutbedrijf moet volgens een bedieningsplan dag en nacht kunnen plaatsvinden.

Waterkeringen

De ontwerp frequentie van de waterkering, gevormd door de dijk Enkhuizen – Lelystad, bedraagt:

- voor hoogwater op het IJsselmeer: 10^{-4} /jaar met bijbehorende MHW NAP +1,90 m;
- voor hoogwater op het Markermeer: 10^{-3} /jaar met bijbehorende MHW NAP +1,70 m.

De constructieve veiligheid van de Naviductpolder moet voldoen aan de eisen gesteld in de TGB 1990, klasse III. De hoogtes van waterkerende constructies zijn getoetst aan de TAW-Leidraad "Waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies". Het niveau van de bovenkant van de deurbeplating is gelegd op NAP +2,00 m terwijl het sluisplateau op NAP +2.65 m ligt. De Houtribdijk behoudt zijn huidige hoogte, deze is ca. NAP +6,40 m. De nieuw aan te leggen dijk in het Markermeer krijgt een kruinhoogte van NAP +4,00 m. Nabij de sluishoofden aan zowel IJsselmeer- als Markermeerzijde sluiten de dijklichamen aan op de fuiken.

Bij een waterstand hoger dan NAP +0,70 m of bij een verval over de sluisdeuren van meer dan 1 m, moeten alle deuren van het Naviduct worden gesloten.

Tijdens de uitvoering van het werk dienen de waterkerende functies van de dijken en polders te allen tijden gehandhaafd te blijven.

Voorhavens

De voorhavens met de leidammen vormen de bescherming voor de scheepvaart en de deuren tegen te zware golfslag en kruiend ijs. De vrije ruimte in de voorhaven is zodanig ontworpen dat schepen zoveel vaart kunnen minderen, dat ze kunnen afmeren in de wacht- of opstelruimte. De voorhavens aan zowel de IJsselmeer- als Markermeerzijde dienen voor de beroepsvaart en de recreatievaart zonder enige beperking accommodatie te kunnen bieden bij waterstanden tussen de 1% resp. 2% over- en onderschrijdingsfrequenties. Het uitgangspunt voor de afmetingen en inrichting van de opstel- en wachtplaatsen is ontleend aan de "Richtlijnen vaarwegen" van de Commissie Vaarweg Beheerders.

Wegverkeer

De provinciale weg N302 wordt ter plaatse van het viaduct ontworpen volgens de RONA-richtlijnen. De kokers van het doorgaande wegverkeer zijn geschikt voor 2 rijstroken. De verkeersweg van het Naviduct wordt ontworpen volgens verkeersklasse 60 van de VOSB (Eurocode, deel 3, toekomstig NEN 6706).

Het Naviduct moet in staat zijn de door grond, water, ijs, temperatuur, aanrijdingen en aanvaringen veroorzaakte belastingen op te nemen en naar de ondergrond af te voeren. Het polderpeil binnen de Naviduct-polder is zodanig ontworpen dat dit 0,60 m onder het laagste punt van de weg ligt.

Het doorgaand fietsverkeer moet de mogelijkheid geboden worden om het Naviduct ongelijkvloers en

zonder stremming te kruisen.

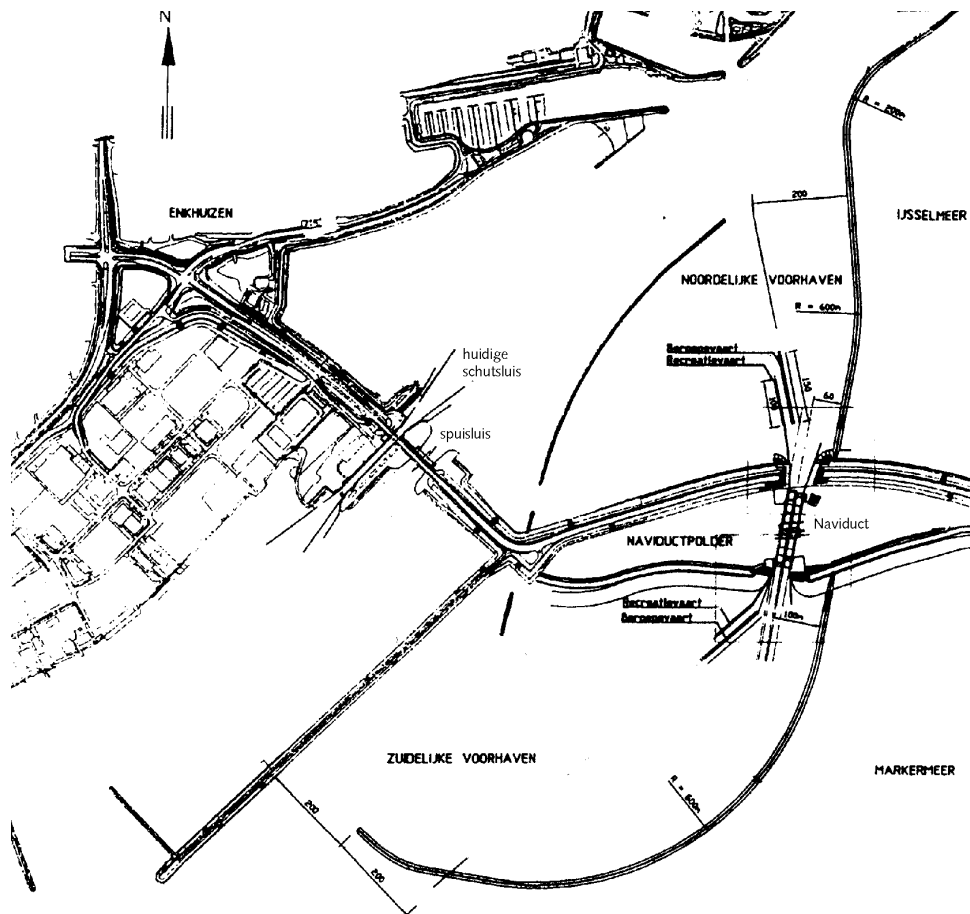
Het gedrag van het wegverkeer kan waargenomen worden vanuit het bedieningsgebouw.

Drainagesysteem

Hemelwater en lekwater moeten zodanig afgevoerd worden dat het wegverkeer hiervan nagenoeg geen hinder ondervindt. De hemelwaterafvoer is daarom gedimensioneerd op een maatgevende bui met een frequentie van 1 keer per 250 jaar. Het polderpeil wordt gecontroleerd door middel van een drainage-systeem en het overtollige polderwater wordt afgevoerd naar één van de voorhavens.

23.4.3 Civieltechnische constructies

23.4.3.1 Locatie polder

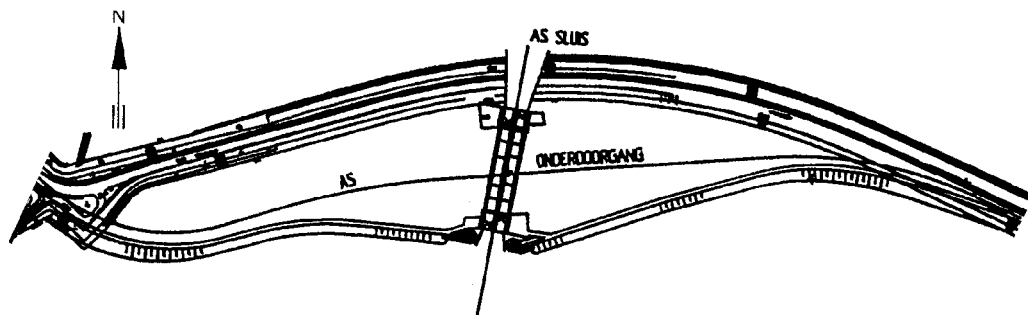


Figuur 23.26 Situatie

De bouwkosten van het Naviduct worden in grote mate bepaald door de kosten van het grondwerk. Om het grondwerk te beperken dient de sluis zoveel mogelijk in noordelijke richting te worden geschoven, tegen de Houtribdijk aan.

De locatie van het Naviduct in oost-westrichting is afhankelijk van het gekozen hellingspercentage (5%) van het lengtetracé van de onderdoorgaande weg en de gekozen verticale afrondingsstralen.

De oriëntatie van de sluis (ten opzichte van het noorden) is zodanig dat de lengte van de leidammen beperkt blijft, terwijl tevens voldoende manoeuvreerruimte voor de scheepvaart in de voorhavens aanwezig is. Dit heeft ertoe geleid dat de as van de sluis een hoek van 10° maakt met het noorden (fig. 23.26).



Figuur 23.27 Positie sluis en onderdoorgang in polder

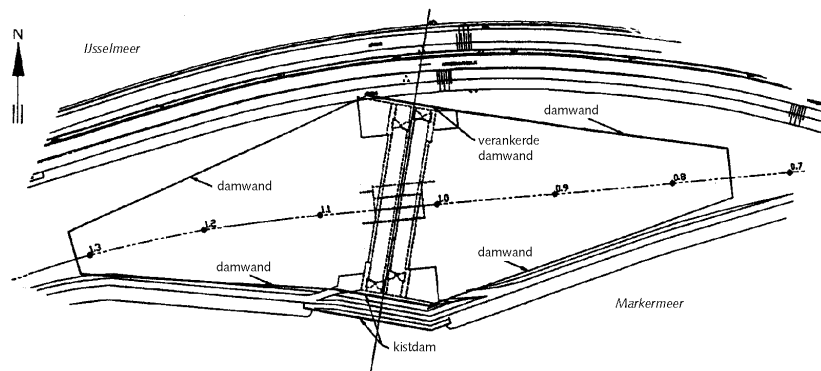
Wanneer de sluis zoveel mogelijk in noordelijke richting wordt aangelegd ter beperking van het (dure) grondverzet, brengt dit met zich mee dat er stabiliteitsproblemen van de Houtribdijk kunnen ontstaan. Om toch het grondwerk te beperken en geen stabiliteitsproblemen met de dijk te krijgen, zijn zes varianten ontwikkeld om de sluis meer noordelijk te leggen. In deze varianten waren onder meer verwerkt een tijdelijke wegomlegging om de wegbelasting van de dijk te verminderen, eerst het zuidelijke deel van de sluis met onderdoorgang te bouwen en daarna het noordelijke deel, de onderdoorgang en de sluis te onderheien of de onderdoorgang als afgezonken tunnelelement uit te voeren. In een keuzematrix zijn alle varianten beoordeeld op aspecten van grootte voorhavens, hoeveelheid grondverzet, stabiliteit Houtribdijk, bestuurlijke problemen, tijd voor engineering, tijd voor uitvoering en bouwkosten. Uiteindelijk is gekozen voor variant 3 (fig. 23.27) waarbij eerst het zuidelijke deel van de sluis met onderdoorgang wordt gebouwd, vervolgens het wegverkeer door de onderdoorgang wordt geleid en ten slotte het noordelijke deel van de sluis wordt afgebouwd. De sluis maakt een hoek van 75° met de wegas.

23.4.3.2 Vormgeving polder

Het ontwerp van het Naviduct is zodanig dat de doorgaande autoweg, het fietspad en de sluisconstructie in een kunstmatig aangelegde polder komen te liggen. Het diepste punt van de autoweg ligt op ca. NAP -10,50 m.

Wat de grondgesteldheid betreft, ter plaatse van deze polder bevindt zich tot aan NAP -13,00 m een ondraagkrachtige en slecht waterdoorlatende holocene top laag van klei en veen. Daaronder bevindt zich een pleistoceen zandpakket tot NAP -25,00 m en daar weer onder een afsluitende Eemkleilaag tot NAP -31,00 m. Terwijl het waterpeil van het Markermeer NAP -0,20 m is, ligt de grondwaterstand in het pleistoceen zand en in de Eemkleilaag op NAP -2,00 m. Dit onderspannen grondwater moet in stand blijven.

Het holocene pakket is ongeschikt voor de polder vanwege de zettingen en wordt daarom grotendeels weggebaggerd tot NAP -11,50 m en vervangen door zand uit de omgeving. Hierbij resteert dus een afsluitende grondlaag van 1,50 m die de verticale scheiding vormt tussen de twee grondwaterstanden. Met de weggebaggerde grond wordt aan de zuid-oostzijde van het werk een natuurbouwproject gerealiseerd.



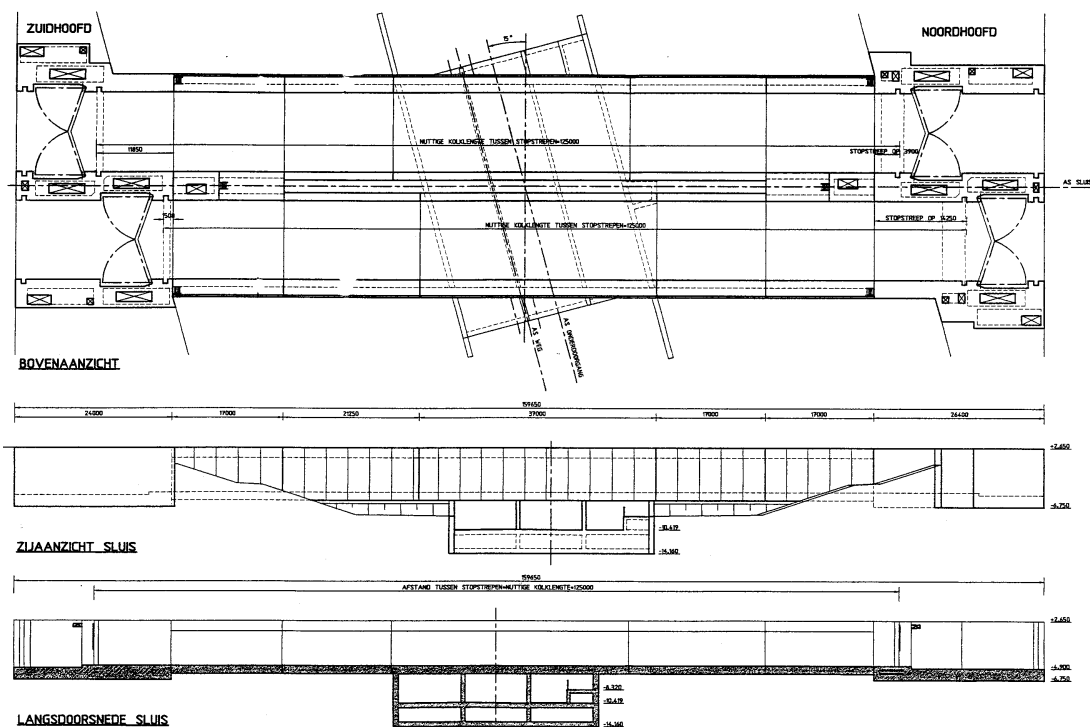
Figuur 23.28 Ruit van damwanden

Als horizontale begrenzing van de polder worden onverankerde damwanden aangebracht die tot in de Eemkleilaag reiken (fig. 23.28). De aanvulhoogte ter plaatse van de te maken waterkerende schermen is ca. NAP +0,50 m. Als de zandaanvulling begaanbaar is voor het werkverkeer worden de verticale schermen van de Naviductpolder gerealiseerd. Aanvankelijk werd gedacht aan cement/bentoniet-wanden in plaats van damwanden. Deze cement/bentoniet-wanden kunnen echter geen buigend moment opnemen als de grondlagen gaan werken.

Ter plaatse van het wegcunet en de sluisconstructie die binnen de ruit (of ring) van damwanden liggen, wordt het gehele holocene pakket tot NAP -13,00 m verwijderd. Binnen deze ruit is het gevaar van lekkage van water naar het pleistocene zand niet aanwezig. Zo kunnen de weg, de sluis en de onderdoorgang direct op het pleistocene zand gefundeerd worden, zonder gevaar voor grote zettingen.

Bij de Houtribdijk worden de slappe lagen onder 1 : 4¹/₂ weggebaggerd en ter plaatse van het Markermeer onder 1 : 2¹/₂. Deze taludhellingen zijn voldoende om in zowel de bouwfase als op langere termijn de veiligheid tegen afschuiven te garanderen. Vanwege de taludhellingen resteren grondriedhoeken met slappe lagen. Het noordelijke sluishoofd dat tegen de Houtribdijk aanligt, zou zonder maatregelen in conflict met deze driehoek van slappe lagen komen. Om dit te voorkomen wordt langs de Houtribdijk een verankerde damwand geslagen en daarachter wordt een grondverbetering aangebracht zodat het noordelijke sluishoofd hierop gefundeerd kan worden. Deze verankerde damwand zal tevens dienst doen als bouwkuipwand. Voor het zuiderhoofd wordt op soortgelijke manier een kistdam als kerende wand gebruikt waarachter een grondverbetering wordt aangebracht. Genoemde damwanden vormen in de gebruiksfase tevens de onderloopsschermen van de sluis.

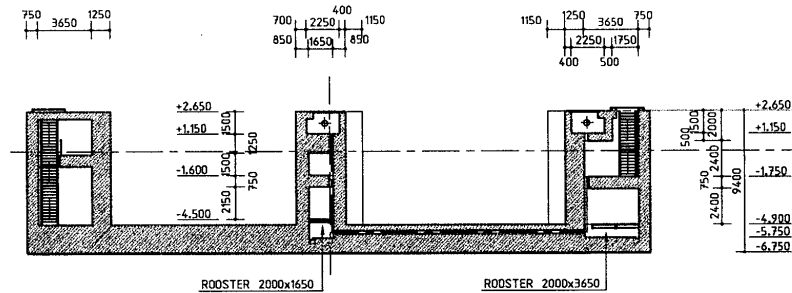
23.4.3.3 Sluishoofden



Figuur 23.29 Overzicht sluisen

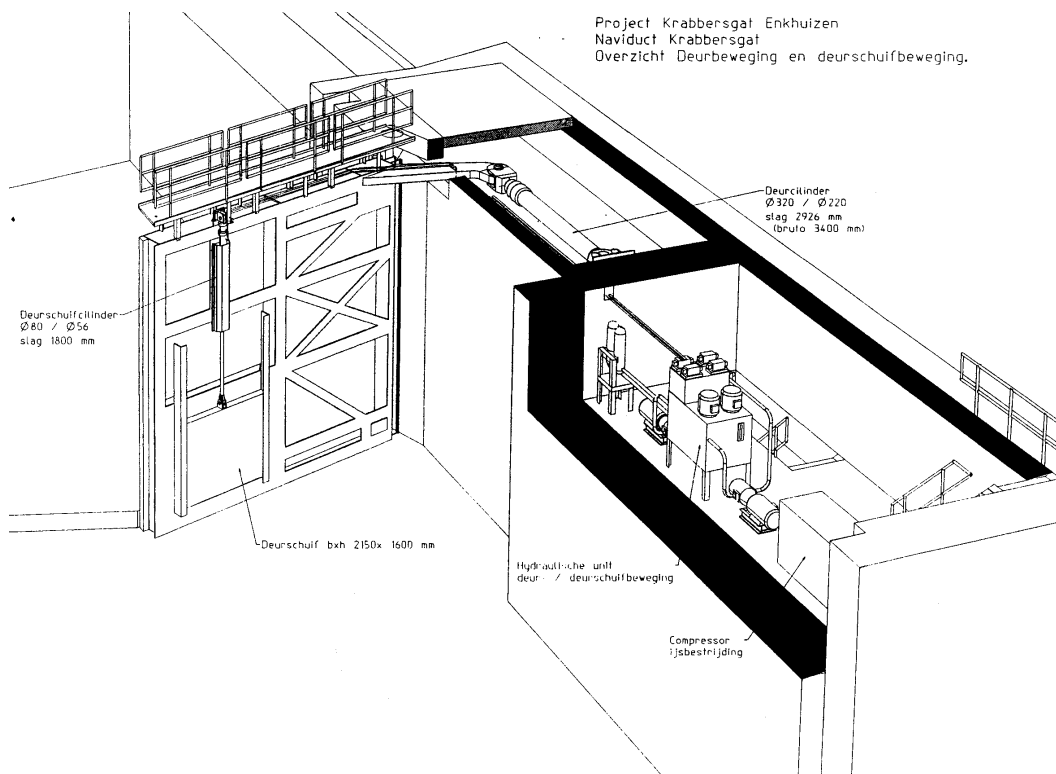
De vormgeving van zowel het noorder- als het zuiderhoofd had als uitgangspunt het toepassen van onafhankelijk van elkaar te bedienen, dubbelkerende puntdeuren met hydraulische bewegingswerken. Vanwege de puntdeuren moeten ook in het middeneiland kelders worden gemaakt voor de hydraulische bewegingswerken. Hiertoe moet het middeneiland een minimale breedte hebben (fig. 23.29 en 23.30). Om deze minimale breedte te realiseren zijn de bewegingskelders van de beide deuren achter elkaar in

plaats van naast elkaar geplaatst. Deze oplossing was alleen mogelijk als de puntdeuren, ten opzichte van elkaar, in de richting van de sluisas werden verschoven. De breedte van het middeneiland moest minimaal zijn om de totale breedte van de sluis te beperken en daarmee de lengte van de onderdoorgang en dus de diepteligging van de weg.



Figuur 23.30 Dwarsdoorsnede noordelijke sluishoofden

De wanden van de hoofden zijn voorzien van droogzetspanningen, zodat de hoofden, maar ook de kolken, drooggezet kunnen worden. De taatsen, aanslagen en de dilatatievoegen van de kolkmoten kunnen in den droge geïnspecteerd worden. Het noorderhoofd heeft een vloeroppervlak van 26,40 m lengte en 41,95 m breedte. Het vloeroppervlak van het zuiderhoofd is 24,0 m lang en 41,45 m breed. Het zuiderhoofd is op enkele onderdelen na gelijk aan het noorderhoofd; door minder kabel- en leidingwerk zijn de schachten kleiner. Noorderhoofd en zuiderhoofd zijn gefundeerd op een grondverbetering. Fig. 23.31 geeft een impressie van de bewegingswerkkelders.



Figuur 23.31 Bewegingswerkkelders in de sluishoofden met opstelling bewegingswerken

De sluishoofden worden gebouwd in de dijkring van de Naviductpolder; het noorderhoofd in de Houtribdijk en het zuiderhoofd in de nieuw gemaakte Markermeerdijk. De beide hoofden worden als monoliete, gewapend-betonconstructies in een open bouwput gemaakt.

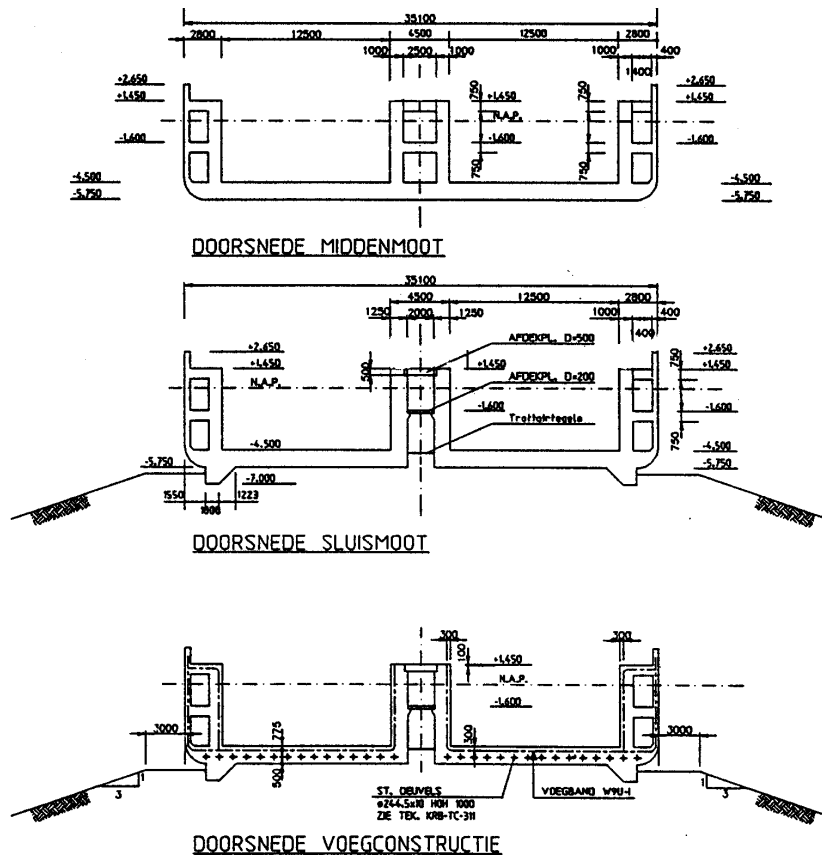
23.4.3.4 Sluiskolken

De sluiskolken van het Naviduct verschillen qua constructie van de traditionele sluiskolken omdat de sluiscolk niet in de grond maar 'in de lucht' wordt gebouwd. Dat betekent dat er aan de waterdichtheid van de wanden en de bodem van de constructie hoge eisen worden gesteld. Tevens is het zo dat de sluiswand een kerende functie heeft ten aanzien van de Naviductpolder. De twee randvoorwaarden van waterdichtheid en kerende functie bepalen in grote lijnen het constructief ontwerp van de sluiskolken. De kolken worden gefundeerd op de grondverbetering.

De dwarsafmetingen van de kolknoten zijn over de gehele sluisconstructie gelijk. De dagmaat van de kolken is 12,50 m. De kolkvloer is 1,25 m dik en de buitenwanden zijn opgebouwd uit twee elementen, een binnenwand van 1,00 m dik en een buitenwand van 0,40 m dik. De totale breedte van de sluis is 35,10 m en de totale lengte van de sluisconstructie is 159,65 m.

De beide sluiskolken zijn verdeeld in vijf moten per kolk: de middenmoot en vier sluismoten.

Voor een overzicht van de diverse moten van de sluiskolk, zie fig. 23.29 en 23.32.



Figuur 23.32 Doorsneden sluiskolk

De middenmoot is gekoppeld en de sluismoten zijn niet-gekoppeld. Gekoppeld wil zeggen dat de beide kolken als één monoliete constructie zijn uitgevoerd. Niet-gekoppeld wil zeggen dat de beide kolken in dwarsrichting los van elkaar staan. De scheiding van beide kolken was noodzakelijk omdat de kruising van de weg en de sluis is ontworpen met een hoek van 75°. Het kruisen betekent dat de langswanden van de onderdoorgang, die de sluiskolk dragen, de sluis-as onder dezelfde hoek snijden. De dilatatievoegen staan haaks op de sluisas om wringing in het voegband te vermijden. Om de uitkraging van de middenmoot over de dragende langswanden van de onderdoorgang te beperken, is gekozen voor een getrapte dilatatie door de aansluitende kolknoten verschillende lengten te geven. Door dit lengteverschil moeten beide kolken gescheiden worden.

Op deze manier zijn er drie rigide blokken ontstaan, te weten het noorderhoofd, de middenmoot en het zuiderhoofd die door middel van een flexibele verbinding, zijnde de niet-gekoppelde sluismoten, zijn verbonden.

23.4.3.6 Zettingen

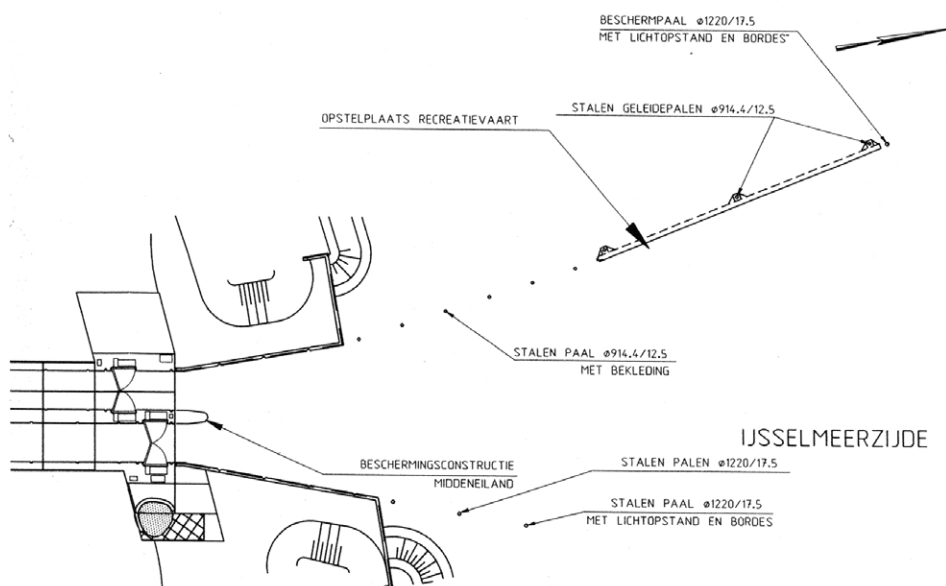
Voor het aanleggen van de sluisconstructie worden de slappe holocene lagen tot NAP -13,00 m ontgraven tot aan het Pleistocene zandpakket. De ontstane uitgraving wordt aangevuld met zand en de sluis wordt op deze grondverbetering gefundeerd.

Uit berekeningen is gebleken dat de sluisconstructie onderhevig is aan zettingen. Deze zettingen worden veroorzaakt door het verlagen van de waterstand in de polder, door het vervangen van het holocene pakket door zwaardere aanvulzand c.q. door de sluisconstructie, door het verhogen van het maaiveld van ca. NAP - 3,00 m naar maximaal NAP +2,65 m en door de samendrukking van de Eemkleilaag. Bovendien is er een sterke wisseling van het maaiveldniveau in de polder waardoor de zettingen niet overal gelijk zijn.

Voor de sluisconstructie zullen de zettingen ter plaatse van de hoofden en kolken groter zijn dan ter plaatse van de onderdoorgang. Onder invloed van deze zettingsverschillen lopen de voegprofielen tussen de moten kans te bezwijken. Om dit te voorkomen wordt een constructie toegepast die een grote dwarskracht-vervorming kan opnemen en een aanzienlijke rotatiecapaciteit heeft. Dit geschiedt door middel van stalen deuvels die de vloeren van de sluis moten verbinden (fig. 23.22).

23.4.3.7 Voorhavens

De sluisconstructie wordt zowel aan de noord- als aan de zuidzijde omsloten door een voorhaven. Deze voorhavens hebben tot doel de polder en de sluis te beschermen tegen golfaanvallen en de vaartuigen in een nautisch rustige omgeving de sluis te laten naderen (fig. 23.26).



Figuur 23.34 Noordelijke voorhaven

In de voorhavens wordt een opstelplaats voor de recreatievaart gebouwd in de vorm van een doorgaand remmingwerk. De geleidewerken naar de sluis worden uitgevoerd als losse, stalen palen. Voor de fuiken van de sluishoofden zijn damwanden toegepast en voor het middeneiland is een beschermconstructie geplaatst. Er is géén verbindingsmogelijkheid van opstelplaats naar de sluisen om te voorkomen dat recreanten zich op het sluis terrein begeven. In de toekomst wordt gedacht aan een tweezijdig remmingwerk vóór het voornoemde remmingwerk te plaatsen, zodat dan een boxconstructie ontstaat voor de recreatievaartuigen (zie foto 23.24).

De oeverbeschermingen van de Houtribdijk aan de IJsselmeerzijde zijn ter plaatse van de vleugelwanden qua vormgeving en opbouw teruggebracht in de oorspronkelijke vorm. De zuidelijke oever van de nieuw aan te leggen dijk (Markermeerzijde) bestaat uit een oeverbescherming van kraagstukken en bestorting met talud 1 : 3. De bodembescherming van de voorhavens bestaat uit een geballast zinkstuk.

23.5 Bewegingswerken Oranjesluizen te Amsterdam

(tekst van RWS Bouwdienst, Haskoning, BVN en HBW)



Foto 23.25 Het Oranjesluizencomplex tijdens de reconstructie (1999)

Inleiding

Het oude Oranjesluizencomplex bestaat uit drie schutkolken. Na de reconstructie is per kolk in het benedenhoofd 1 stel deuren aanwezig en in het bovenhoofd 2 stel deuren, waarvan 1 stel bedoeld is als reserve-deuren. Er zijn in totaal dus 18 deuren. Zie voor een overzicht van het sluiscomplex tijdens de reconstructie foto 23.25.

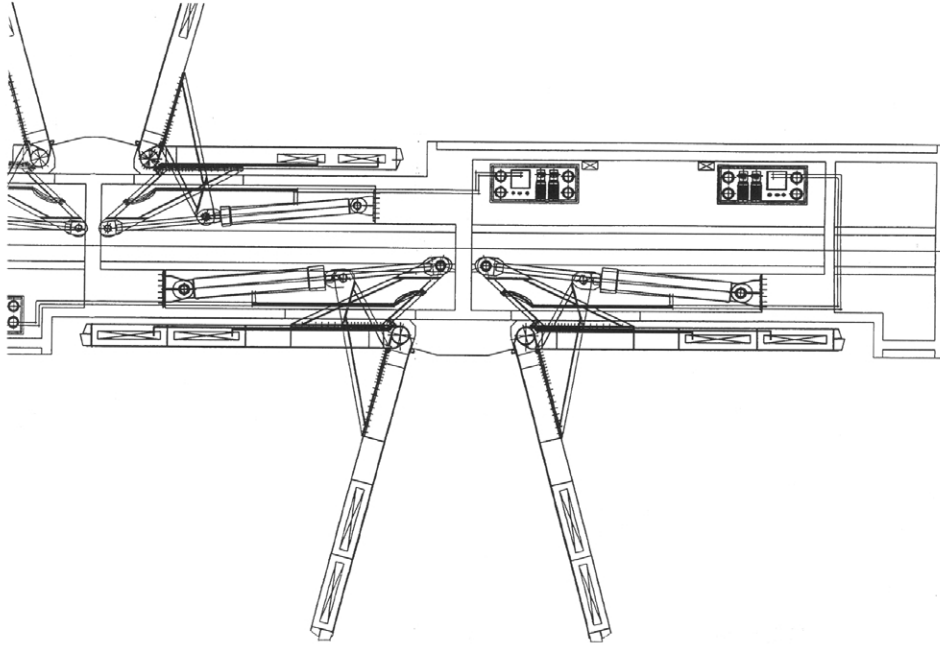


Foto 23.26 De puntdeuren met heboomarmen

De nieuwe deuren worden met behulp van hydraulische cilinders bewogen. Deze zijn verbonden aan een heboomarm die op de deur gemonteerd is (foto 23.26). Op deze wijze worden de deuren door de cilinder opengeduwd en dichtgetrokken. Het toepassen van een heboomarm heeft als voordeel dat geen

kwetsbare duwstangen in de schutkolk de deur bewegen, maar dat de cilinders in de bewegingswerkelders zijn ondergebracht. (Opm.: Bij de meeste schutsluizen beweegt de duwstang van de puntdeur wél in de sluisenkolk). Het bewegingswerk bestaat uit een pompeenheid, met reservoir en leidingen en de hydraulische cilinder. Voor de opstelling zie fig. 23.35.

Bijzonder aan deze nieuwe deuren is het feit dat de deuren ook negatief kunnen keren. De constructie van de hefboomarm en de hydraulische cilinder houdt de deur gefixeerd en zorgt ervoor dat de negatieve waterdruk kan worden weerstaan.



Figuur 23.35 De puntdeuren met hefboomarmen en deurbewegingswerken

Het sluiten en openen van de deuren



Foto 23.27 Hydraulische cilinder deurbewegingswerk



Foto 23.28 Hydraulische cilinder met zuigerstang

Foto's 23.27 en 23.28 geven een impressie van de hydraulische cilinder met zuigerstang, foto 23.29 van de pompunit. Wanneer na het geven van het startsignaal de elektromotoren van de hoofdpompen op toeren zijn gekomen zorgt de besturing ervoor dat de deuren met beheerste snelheid worden gesloten. Wordt de deurbeweging om de een of andere reden geblokkeerd (obstakel) dan wordt de cilinderkracht op de deur begrensd met een drukbeveiliging van maximaal 80 bar.

Voor het geheel sluiten van de deuren wordt altijd een kort moment gestopt (wachtstand), waarna de deuren met een gecontroleerde gelijkloop dichtgaan tot het moment dat met de eindschakelaar "deur dicht" wordt gemeld.

Het openen van de deuren gebeurt op gelijksoortige wijze. De hoofdpompen worden gestart en als de elektromotoren op toeren zijn zorgt de besturing ervoor dat de deuren van uit de gesloten stand beheerst worden bewogen.

De gelijkloop

De controle op het gelijklopen van de deuren wordt uitgevoerd met behulp van een wegmeet-systeem. De tellerstand van de ene deur wordt continu vergeleken met die van de andere deur. Een vooruitlopende deur wordt door de besturing teruggeregeld.

Het geopend en gesloten houden van de deuren

Nadat de eindstand "deur open" of "deur dicht" is bereikt worden met behulp van de accumulatorpompen de deuren met enige voorspanning in de geopende of gesloten stand gehouden (ca. 25 bar). Voor het geopend houden van de deuren in de deurenkasten is deze druk ruimschoots voldoende.

Bij het gesloten houden van de deuren ligt de zaak anders. De deuren worden hierbij voorgespannen op een accumulatorendruk van maximaal 30 bar, zodat de deur ook een negatieve waterddruk kan keren. Wordt de druk echter hoger dan is de compensatie vanuit de accumulatorpomp niet meer mogelijk. Bij verder stijgende negatieve belastingen op de deuren gaan de voorharren wijken. Dit wordt gedetecteerd door de naderingsschakelaars op de voorhar. Hierop wordt de zogenaamde "waakpomp" ingeschakeld. De deur wordt via de waakpomp gesloten en het systeem onder druk gezet. (max. 165/185 bar voor respectievelijk Noorder-, Zuider- / Middensluis)



Foto 23.29 Hydraulische pompunit

Aanvaarbeveiliging

Het risico voor aanvaring is het grootst in de situatie dat een schip de kolk binnenvaart en niet tijdig stopt en bij voortijdig uitvaren, als de deuren nog (deels) gesloten zijn. Bij aanvaring van een deur loopt de druk in de hydraulische cilinder zeer hoog op. Een te voren ingestelde druk zorgt ervoor dat de overstortbeveiliging wordt geopend en de olie van de cilinder overstort. De druk valt weg en de deur wordt als het ware "opengevaren". De druk waarbij de cilinder overstort ligt voldoende ver boven de maximaal optredende druk bij negatief keren. En voldoende ver beneden de bezwijklast van de bewegingswerken.

Nivelleren

Het nivelleren geschiedt met behulp van nivelleerschuiven (2 per deur). Ook deze worden hydraulisch aangedreven. Na het geven van een signaal worden de elektromotoren van de nivelleerpompen gestart. Het openen en sluiten gebeurt met geprogrammeerde karakteristieken.

Literatuur

- [23.1] 'Programma van eisen, Renovatie Zuider- en Kleine Sluis', Bouwdienst Rijkswaterstaat, maart 1994
- [23.2] 'Voorontwerpnota, Renovatie Zuider- en Kleine Sluis', Bouwdienst Rijkswaterstaat, april 1995.
- [23.3] 'Ontwerpnota, Renovatie Zuider- en Kleine Sluis', Bouwdienst Rijkswaterstaat, 1996.
- [23.4] Best C. de, 'Reconstructie Zuidersluis en reconstructie Kleine Sluis', Bouwdienst Rijkswaterstaat, Otar, 6 / 1997.
- [23.5] Best C. de en Nieswaag B.P., 'Variantenafweging van de Zuidersluis en de Kleine Sluis (1) en (2)', Bouwdienst Rijkswaterstaat, Otar, 2 en 3 / 1998.
- [23.6] Best C. de en Nieswaag B.P., 'De poort naar Amsterdam wordt vernieuwd (1) en (2)', Bouwdienst Rijkswaterstaat, Cement 1997/5 en 1997/9.
- [23.7] Bockhoudt, F.M. en Nieswaag, B.P., 'Historisch perspectief Noordzeesluizencomplex te IJmuiden', Bouwdienst Rijkswaterstaat, 1997.
- [23.8] 'Variantennota, Tweede sluis Lith', Bouwdienst Rijkswaterstaat, mei 1994.
- [23.9] 'Beslisdocument voorontwerp, Tweede sluis Lith', Bouwdienst Rijkswaterstaat, juni 1994.
- [23.10] 'Ontwerpnota, Tweede sluis Lith', Bouwdienst Rijkswaterstaat, juni 1995.
- [23.11] 'Ontwerpnota, Complex Nieuwe Oranjesluis', Bouwdienst Rijkswaterstaat, februari 1993.
- [23.12] 'Voorontwerpnota, Naviduct Krabbersgat te Enkhuizen', Bouwdienst Rijkswaterstaat, november 1996
- [23.13] 'Ontwerpnota, Naviduct Krabbersgat te Enkhuizen', Bouwdienst Rijkswaterstaat, mei 1997

Trefwoordenregister

A

aanaarden: 13-43
aanbesteding: 3-4
aandrijftrommel: 7-48
aandrijfunit: 7-61
aanleghoogte: 4-36
aanlegplaats: 4-52
aanslag: 7-12, 7-18, 8-5, 8-9, 12-18, 23-43, 23-44
aansluiting: 5-1, 5-16
aanvaarbalk: 17-9
aanvaarbescherming: 2-27, 23-17
aanvaarsnelheid: 15-16
aanvaring: 2-22, 2-26
aanzethelling: 16-29, 16-32
achterhar: 7-12
achterlandfragment: 10-21
achterloopsheid: 10-2
actieve gronddruk: 13-20
afdichtende regelschuiven: 21-36
afdichting: 7-12, 7-18, 7-22, 12-18, 12-21, 12-40, 23-43
afdrukinrichting: 7-50, 7-54, 7-57
afmeervoorziening: 2-18
afschuiven: 13-42, 16-29
afstoplengte: 4-50
afvoer-coëfficiënt: 6-14
afzinken: 7-21, 13-6, 20-21
afzuigen zouttong: 21-16, 21-30
aluminium deklaag: 22-4
anisotropie: 10-11
ankerkracht: 14-3
ankerscherm: 14-5
ankerschot: 14-4
ankerstang: 14-11
ankerwand: 8-20, 13-7
appendage: 7-61
aquifer: 10-3
arbeidsvermogen: 15-11
autosteiger: 17-25

B

B&O-plan: 19-18
baanschuiver: 7-23
baggerspecie: 2-37
balansgewicht: 7-55
balanskabel: 7-55
ballasttank: 7-21
bebording: 2-23
beddingsconstante: 14-4
bediening: 2-22, 18-1, 18-2
bedieningsgebouw: 2-22, 17-20
bedieningssysteem: 18-9
bedieningstijd: 2-20, 4-11, 4-19
bedrijfsfase: 11-1
bedrijfsproces: 18-3
bedrijfstoestand: 12-2, 12-7
bedrijfsvoering: 2-21, 18-2
begin van beweging: 16-21
beheer- en onderhoudsplan: 3-4, 19-18, 22-17
beheersmaatregel: 21-12
beheren: 18-2
belastingcombinatie: 13-12, 13-27
belastingcombinaties elektrohydraulische bewegingswerken: 12-9
belastingcombinaties staalconstructie: 12-5
belastingcomponent: 13-17
belastingen op deuren: 12-2
belastingfactor: 12-4, 13-11
belastingssituatie: 23-24
bemaling: 8-21, 9-9
benedenrivierengebied: 4-35
benedenvoorhaven: 5-8, 5-17
bentoniet-cementscherm: 8-19
beperkte breedte: 8-22

beplating: 7-11, 7-20
bereikbaarheid: 2-29, 2-33, 17-24, 19-3
beroepsvaart: 2-20
bescherming: 2-27
beschermopaal: 15-5
beschikbaarheid: 2-25
beslissen: 18-2
bestek: 3-4
bestemmingsplan: 2-39
besturing: 18-1, 18-2, 18-9, 20-22
besturingssysteem: 18-9
beton- en wapeningkwaliteiten: 13-46
betonbak: 13-2
betonconstructie: 13-1
betondekking: 13-49
betonnen damwand: 14-6
betonnen L-wand: 14-9
betonscharnier: 8-18, 13-48
betonschort: 23-27
betrouwbaarheid: 2-9, 19-8
betrouwbaarheidseisen: 22-24, 22-31
beweegbare brug: 2-12, 8-2
beweegbare drempel: 20-24
bewegingscyclus: 12-7
bewegingswerk: 7-35, 7-46, 7-53, 7-64, 8-7, 11-9, 20-17, 20-23, 23-60
bewegingswerkkelder: 23-56
bijzondere belasting: 12-4, 12-9, 13-11
bijzondere combinatie: 13-13
binnenhoofd: 4-27, 4-42
binnenvaartschip: 4-5, 4-8
binnenvaarweg: 4-3
blokkenmat: 16-42
bodembescherming: 16-1
bodemgesteldheid: 2-3
bodemschuifspanning: 16-22
bodemsnelheid: 16-15
bodemverdediging: 23-47
bodemverontreiniging: 2-4
bodemvulsysteem: 6-4
boegschroef: 4-7, 4-8, 4-29, 4-51
boegschroefstraal: 16-9, 16-17
bolder: 2-18, 6-10, 9-2, 15-27, 17-11
bolderkracht: 14-3
boom: 17-19
boorpaal: 20-27
bord: 17-4
BOTS: 15-26
botskracht: 15-12
botskrachtberekening: 15-47
botspunt: 15-24, 15-47
bouwkuip: 8-4, 8-19, 23-6
bouwmethode: 8-18, 9-3
bouwput: 8-4
bouwstoffen: 2-35
bouwstoffenbesluit: 2-42
bouwterrein: 2-37
bouwvergunning: 2-39
bovenbelasting: 13-21, 14-3
bovendraaipunt: 8-5, 12-16
bovengeleiding: 7-52, 12-32
bovenhoofd: 4-42, 8-2
bovenkant deurbeplating: 7-32
bovenloopwagen: 12-33
bovenrivierengebied: 4-35
bovenrolwagen: 7-48
bovenvoorhaven: 5-17
boxconstructie: 5-11, 23-59
brandbestrijding: 2-29, 17-24
breekbalk: 6-24, 6-30, 7-14
breekplaat: 6-30
brug: 2-11, 4-30

brugbeheer: 18-3
bruginstallatie: 18-24
bruikbaarheidsgrenstoestand: 12-2, 12-7, 13-13
bruine vloot: 4-7
bufferbekken: 21-37
bufferveer: 7-36, 7-38, 7-40
bui-oscillatie: 4-36
buisligger: 15-9, 15-28
buispaal: 15-9
buitenhoofd: 4-27

C

caisson: 13-64
calamiteit: 4-58, 18-4
capaciteit: 4-14
capaciteit van de wachtruimtes: 15-3
capaciteitssluis: 4-14, 4-15, 4-23, 5-5
cardanisch: 7-38
cavitatie: 6-17, 7-63
cement-bentonietwand: 22-6
CEMT-klassen: 4-74
centrale bediening: 18-16
centrale bedieningsruimte: 18-13
centrale besturingssysteem: 18-12
checklist: 2-47
chloride-gehalte: 21-3, 21-11
cilinder: 7-60
classificatie van schepen: 4-4
classificatie van vaarwegen: 4-3
coating: 22-3
combinatiefactor: 13-11
combiwand: 14-12, 23-14
communicatiemiddelen: 2-23, 17-3, 18-25
compartimenteringswand: 13-9
complexbeheer: 18-3
conservering: 2-32
conserveringssysteem: 23-45
containerschip: 4-8
contragewicht: 7-6, 7-54, 12-36, 15-26
corrosie: 2-30
corrugated plaat: 22-8
creepcoëfficiënt: 10-19
cruiseschip: 4-8

D

damwand: 10-23, 13-6, 14-1, 23-55
damwandfui: 8-4
damwandkuip: 13-5, 13-32
damwandprofiel: 9-4
decompositie: 19-9
deelkolk: 4-20, 21-13
definitie-fase: 3-2, 23-4
deining- en golfgegevens: 2-3
dekzer: 4-13, 4-28, 4-44, 7-33
demping: 15-19
deuraanslag: 13-50
deurbepaling: 4-44, 7-33
deurbeweging: 11-6
deurbewegingswerk: 7-35, 12-23, 23-15, 23-44
deurdikte: 12-14, 12-19
deurenbergplaats: 2-32
deurendok: 7-30
deurgeleiding: 7-22, 7-25, 7-48, 12-31, 12-35
deurkas: 4-39, 7-15, 7-19, 7-23, 8-5, 8-11, 12-14
deurkeuze: 7-30
deurnis: 4-39, 7-17, 7-19, 7-23, 8-8, 8-11, 8-14
deuropening: 6-2, 6-11, 6-15
deurschuif: 7-59, 12-40
deurversnelling: 11-9
deuvel: 13-48
dichte constructie: 15-5
dichte kolkvloer: 10-26
dichtheidsstromen: 21-5
dichtheidsverschil: 6-7, 6-10, 6-12, 11-3, 21-10
dienstengebouw: 17-20
diepe put: 21-16, 21-28
diepte: 4-54
diepwand: 9-4, 13-6, 14-7, 14-12, 23-26
diepwandpaneel: 23-35
diffuser: 5-10

dijkkring: 4-33
dilatievoeg: 8-3, 13-47
divergerend: 6-26
dobberbuis: 15-27
doorlatendheid: 10-11
doorspoeldebiet: 21-11
doorvaarhoogte: 2-15, 4-13, 4-30
downtimes: 19-20
draagvoet: 23-42
draaideur: 7-28, 7-29, 7-43, 12-29
draaipunt: 7-12, 12-13, 12-16
drempel: 4-13, 4-24
drempelniveau: 2-15, 4-19, 4-27, 4-43
drempelverlaging: 20-4
drenkeling: 2-28
drijfkist: 7-20
drijfraam: 2-27, 4-42, 15-9, 17-14
drijfsysteem: 7-20
drijfvermogen: 15-26
drijvend geleidewerk: 15-5
drijvende bolder: 17-12
droge infrastructuur: 2-11
droogzetschacht: 7-63
droogzetten sluis: 2-33, 8-2, 9-10, 20-31
ducdalf: 15-49
duurfactor: 12-4
duurzaam bouwen: 19-16, 22-19
duurzaamheid: 19-3
duweenheid: 4-8
duwstaven: 4-29
duwvaartsluis: 4-23
dwanghaven: 2-7, 4-59
dwarskrachten: 13-38, 21-38
dwarsriolen: 21-37
dwarsstroom: 4-54, 5-3, 5-9, 5-18, 17-16, 21-40

E

eenmassa/veersysteem: 11-9
eenparige deurbeweging: 11-10
éénzijdig keren: 7-27, 7-28
éénzijdig spuimiddel: 5-9
effectieve massa: 15-23
eindportaal: 7-20
eindschot: 7-24
elektrotechnische installatie: 18-24
energie: 15-11
energievoorziening: 2-22, 2-25, 18-25
enkele draaideur: 7-4, 7-17, 8-8, 11-6
erosie: 10-2
erosiekuil: 16-29
esthetica: 2-35
evenaarconstructie: 7-54
evenwichtsdiepte: 16-32
exploitatiekosten: 19-15

F

faalkans: 2-9
faalkansanalyse: 19-11
faalkansruimte: 22-37
fendering: 15-9, 15-30, 17-13
filemodel: 22-25
filter: 9-2
filterlaag: 16-37, 16-38
fragmentenmethode: 10-7, 10-10
frame: 15-9
front: 11-40, 21-5
fui: 2-7, 2-17, 4-48, 4-51, 5-8, 15-2
fuivormige voorhaven: 11-40
fuikwand: 14-10
functioneel ontwerpen: 22-23, 22-31
functionele analyse: 3-2
functionele eis: 2-5, 19-4
fundamentele combinatie: 13-12
fundering: 13-1, 20-26
fundering betonbak: 13-40

G

gabion: 16-42
GAO: 19-22
gebruikseis: 2-14, 19-6

geleiderol: 7-5
geleidewerk: 4-48, 4-51, 15-1
geleidewiel: 7-5, 7-52
geleiding: 4-48, 7-46, 7-53, 7-57, 7-59
gelijkloop: 23-62
gemengd schutten: 4-19
geohydrologische gegevens: 2-3
geotechnische aspecten: 13-41
geotextiel: 16-39
geperforeerde kolkvloer: 21-34
geschakelde deurkas: 8-11
gespannen kabel: 17-9
getijgebied: 21-3
gevaarlijke stof: 2-7, 2-16
gewichtconstructie: 9-4, 20-5, 23-12
gezette steen: 16-42
glijbaan: 23-42
glijdeur: 7-5, 7-24, 23-42
glijdschuif: 7-63
glijdslof: 7-5
glijdvlak: 14-4
glijgeleiding: 22-4
glijlager: 22-5
glijstrip: 22-4
goederenvervoer binnenvaart: 4-9
golfdoordringing: 5-3
golfhinder: 5-16, 5-19
golfhoogte: 11-28, 11-38, 11-47, 11-50
golflap: 11-26
golflengte: 11-31
golfopwekking: 5-3
golfoverslag: 4-36
golfperiode: 11-32
golfweerstand: 11-11
granulaire filter: 16-38
grendel: 7-44
grendelraam: 12-30
grensevenwicht: 10-4
grenssnelheid: 11-44
grenstoestand: 12-2, 12-7, 13-11
grensvlak: 11-5, 21-6, 21-34, 21-39
grensvlakstabiliteit: 16-38
groene kolk: 9-6
grondbelasting: 14-3
gronddruk: 13-17
grondeigenschap: 15-18
grondgesteldheid: 8-22, 9-9, 14-4
grondkerende constructie: 14-1
grondmechanisch onderzoek: 2-3
grondwater: 10-1
grondwateronttrekking: 2-37
grondwaterstand: 2-37, 9-3, 13-28, 13-29
grondwaterstroming: 2-3, 8-3, 10-1, 10-5
grondwaterwetvergunning: 2-41
grote sluis: 7-27
groutanker: 8-20, 13-7, 14-5, 20-21, 23-27
groutinjectiepaal: 20-27
gunning: 3-4

H

haakgrendel: 7-44, 8-8
haalbaarheidsstudie: 3-2
haalkom: 2-18, 6-7, 6-10, 9-2, 17-11
haalpen: 15-34
haling: 4-25
halsbeugel: 7-11, 8-5, 12-16, 22-5
halsspen: 7-11, 12-16
hardhout: 2-35
hardware besturingsinstallatie: 18-12
harmonisatie: 19-14
hars: 22-9
havenmond: 4-50
heave: 10-5, 10-21
heave-criterium: 10-33
hefboom: 7-43
hefdeur: 2-35, 7-6, 7-24, 7-30, 7-53, 8-14, 12-21, 12-35
hefportaal: 8-14
hefprogramma: 6-5
hefsnelheid: 6-15, 6-16
heftijd: 6-16

heftoren: 7-26, 8-14
heien: 14-15
hek: 17-26
hellingen van de waterspiegel: 11-24
heugel: 8-7
heugelaandrijving: 12-26
heugelstang: 7-37
hijskabel: 12-22
hoekafwerking: 13-49
hoge sterkte beton: 22-3
hoofd: 2-7, 8-2
hoofd met een enkele draaideur: 8-7
hoofd met een hefdeur: 8-13
hoofd met een rol- of glijdeur: 8-9
hoofd met puntdeuren: 8-5
hoofdafmeting: 4-1
hoofdonderdeel: 20-11
hoofdvaarwater: 5-16
hooggelegen L-wand: 14-12
hoogwater: 4-57
horizontale afmeting: 4-1
horizontale regel: 7-11
houdkracht: 12-12
houten damwand: 14-7
houten palen: 20-5, 20-26
HSB: 22-3
hydrauliek unit: 7-38
hydraulische aandrijving: 7-60, 8-7
hydraulische belasting: 11-1
hydraulische cilinder: 7-38, 7-43, 12-27, 23-15, 23-60
hydraulische installatie: 12-29
hydraulische marge: 4-25
hydraulische vormgeving: 6-21
hydro- en meteomeetapparatuur: 18-26
hydro-installatie: 23-40
hydrostatisch lager: 7-51, 7-52, 22-5, 23-40
hydrostatische kracht: 11-3
hydrovoet: 23-41

I

ijs: 7-14, 7-19, 7-23, 7-26
ijsbelasting: 14-3
ijsbestrijding: 17-17
ijsbezwaar: 2-22
ijsgang: 4-58
ijsvorming: 7-14
impuls: 6-10
impulsafname: 6-12
in te storten voorzieningen: 8-16
in-/uitvaarstrook: 5-5
incidentele combinatie: 13-13
indompeling drijvende ligger: 15-51
inheidiepte: 15-20, 15-37
initiatiefase: 3-2
initieel verval: 11-3
inklemlengte: 15-39
inspecteerbaarheid: 19-8
inspectierapport: 20-9
installatie: 18-9, 18-19
installatiegebouw: 17-20
instandhouding waterkering: 2-38
instandhoudingsplan: 22-18
interne golfbeweging: 21-5, 21-6
invaarmanoeuvre: 4-50
invaren: 11-47
invering: 15-12
inzinking: 4-25, 4-26, 11-45
IVS: 17-3

J

jachtensluis: 4-24
JIT-schepen: 4-8
jukconstructie: 23-14

K

kabel: 7-56, 12-33, 12-36
kabellierwerk: 7-50, 7-53, 7-54, 12-33
kabels en leidingen: 2-12
kabelschacht: 2-13
kabelspaninrichting: 7-47

kabelspanner: 7-54
 kabeltrommel: 7-46, 7-53, 12-37
 kamlengte: 11-34
 kantelen: 13-43
 kantelstabiliteit: 13-44
 karakteristieke belasting: 12-5
 kasweerstand: 11-15
 keermuur: 9-5
 kegelligplaats: 4-49
 kegelschip: 2-16, 4-8, 4-52, 5-8
 kelder: 8-7, 20-17
 keren van water: 22-24
 kern: 13-44
 keuze sluisdeur: 7-27
 keuzecriteria: 3-9
 kielspeling: 4-22, 4-26, 4-69
 kinetische energie: 15-19
 kistdam: 13-7, 14-6, 14-11, 23-46
 kleine sluis: 7-27
 klepdeur: 7-5
 klink: 4-36
 klossenrem: 7-53
 kolk: 2-7, 9-2
 kolkafmeting: 4-14
 kolkomzetting: 6-7
 kombergingsfactor: 4-38
 korrelspanning: 13-40
 kosten-batenanalyse: 3-2
 Krabbersgat: 13-62, 23-49
 krachten op schepen: 11-24, 21-9
 kritieke eigenschappen: 19-8
 kritieke onderdelen: 19-8
 kritieke snelheid: 16-22
 kritieke stroomsnelheid: 16-30
 kruiphoogte: 4-30
 kruiplijncoaster: 4-4
 kruisende droge infrastructuur: 2-11
 kuildiepte: 16-30, 16-32
 kuillengte: 16-33
 kunststof deur: 22-3, 22-4
 kunststof sluisdeur: 22-8
 kwaliteitsborging: 3-4
 kwaliteitsnota: 3-3
 kwelscherm: 10-5
 kwelweg: 10-9, 10-19, 10-35

L

L-wanden: 13-9, 13-10
 laadvermogen: 4-5
 laadvermogenklasse: 4-7
 laagdikte: 16-39
 laagwater: 4-58
 ladder: 2-29, 17-26
 laminaatopbouw: 22-9
 langskracht: 6-11
 langsstroming: 21-40
 lay-out: 5-1
 ledigen: 6-17
 leiding: 2-12
 leidschijf: 7-48, 12-33
 leidwiel: 7-48
 lekkende kolkvloer: 10-11
 leklengte: 10-10
 lengte bestorting: 16-28
 lengte van de deurkas: 4-41
 lengte van het sluishoofd: 4-41
 levensduur: 19-6
 levensduureisen: 2-30
 levensduurkosten: 22-40
 lichtniveau: 2-24
 liertrommel: 12-33
 lierwerk: 7-46, 7-55
 ligplaats: 4-71, 5-5
 ligplaatslengte: 4-56
 Line of Creep: 10-18
 lineaire golftheorie: 11-35
 LOCKAIR: 21-24
 LOCKDIM: 6-14
 LOCKFILL: 6-14, 6-40, 16-12, 23-29
 LOCKGATE1: 11-8

LOCKGATE2: 11-13
 LOCKGATE3: 11-17
 LOCKGATE4: 11-41
 LOCKGATE5: 11-52
 lokale bediening: 18-16
 loopbrug: 2-29
 loopwiel: 7-48
 loswal: 2-29
 lucht: 6-34
 luchtaanzuiging: 6-17
 luchtbellenscherm: 6-3, 8-2, 21-15, 21-20
 luchtdebiet: 21-22
 luchtkist: 23-43

M

m.e.r.: 2-40
 Maatgevend Hoogwater (MHW): 2-15, 4-33, 4-36
 maatvoering: 8-16
 maatvoeringsrapport: 20-10
 manoeuvreren: 5-3, 5-16
 mantelbuis: 15-27
 markering: 2-24
 massatraagheidsmoment: 11-7
 matras: 16-42
 maximum-botskracht: 15-47
 maximum-energie: 15-47
 maximum-schutpeil: 4-28, 4-44
 meerpaal: 2-19
 meerpennen: 17-27
 meerput: 15-9
 meerstoel: 2-19, 15-8, 23-17
 meetrapport: 20-10
 meetsysteem: 18-9
 menging: 21-21, 21-34
 methode Blum: 15-37
 metselwerk: 20-27
 middelgrote sluis: 7-27
 middeneiland: 23-56
 milieu-effectrapportage: 2-40
 milieubeheer: 2-40
 milieueisen: 2-35
 minimum-schutpeil: 4-25, 4-42
 minimumsluis: 4-14, 4-15, 4-23, 5-5
 moment: 13-37
 monitoring: 2-33
 monoliet: 8-18
 morfologie: 2-3, 5-3
 MPILE: 15-25
 MSEEP: 10-28

N

natte doorsnede: 4-27
 natuurbeschermingswet: 2-42
 nautische eisen: 4-28
 naviduct: 23-49
 neer: 5-18
 neerwaarts uitwisselen: 21-34
 negatief keren: 7-40, 7-44, 23-15
 negatieve kleef: 14-4
 negatief verval: 11-3
 Netto Contante Waarde: 22-40
 netto kolk lengte: 4-39
 neutrale gronddruk: 13-17
 niet-beschikbaarheid: 2-26, 18-6, 19-4, 19-11, 22-16
 niet-breken: 11-33
 niet-primaire waterkering: 4-34
 nieuwe ontwikkelingen: 22-1
 niveau van de drempel: 4-42
 niveleeropening: 7-14, 12-15
 niveleerproces: 6-7
 niveleertijd: 2-20, 6-14
 nivelleren: 7-14, 7-18, 7-22, 7-25, 21-9
 nomogrammen/VAT methoden: 4-61
 noodsluif: 6-34
 noodstop: 12-11
 norm: 2-44
 nulinspectie: 19-18
 nuttige breedte: 4-42

O

objectidentificatie: 19-19
obstakel: 12-12
omarmend zoet water: 21-37
omgevingseisen: 2-35, 2-37
omloopkanaal: 5-10
omloopriool: 6-2, 6-3, 6-12, 6-17, 6-34
omloopschijf: 7-46, 7-48, 12-37
onderaanslag: 8-6
onderdoorgang: 23-58
onderdraaipunt: 12-17
ondergeleiding: 7-51, 12-32
onderhoud: 2-32, 15-13, 19-1
onderhoudbaarheid: 19-8
onderhouds- en inspectieplanning: 19-19
onderhoudsbewust ontwerp: 19-1
onderhoudsconcept: 3-4
onderhoudseisen: 2-32
onderloopsheid: 10-2
onderrand: 7-63
onderrolwagen: 7-48, 12-21, 12-31
onderwaterbeton: 13-8, 14-11, 23-26
onderwaterbetonvloer: 8-19, 8-33, 13-50
ongeroerde grond: 10-23
ongevalsituatie: 15-11
ontgrondingenwet: 2-40
ontgrondingskuil: 16-29
ontlastplaat: 13-10, 14-4
ontlasttank: 7-20
ontlastwand: 20-20
ontwerpbelasting: 12-1
ontwerpfase: 3-3
ontwerpfilosofie: 22-15
ontwerpfrequentie: 2-9
ontwerplevensduur: 2-30
ontwerppeil: 2-15, 4-35
ontwerpproces: 3-1
ontwerpwaterstand: 11-3
opdrijven: 13-43
open bouwput: 13-4, 13-31
open constructie: 15-5
open kolkvloer: 9-6, 10-26
openstaande sluis: 2-8
ophanging: 12-41
oplegging: 7-20
oplegstoel: 8-5
opnemer: 17-18
opslagruimte: 2-34
opstellen: 4-52
opstelplaats: 5-8
opstelruimte: 2-6, 4-49, 5-5, 15-2
optimaal ontwerpen: 22-15
opvangconstructie: 2-27, 17-7
opvanginrichting: 4-40
opwaaiing: 4-36
opwaarts uitwisselen: 21-34
overall-inpassing: 5-1
overbrenging: 12-37
overgang: 16-41
overgewicht: 7-20
overligger: 4-21
overligtijd: 4-65
overloop: 4-32, 4-36
overnachtingshaven: 2-6, 4-56
overslag: 4-32
overslagfactor: 4-37
overstortende straal: 16-7

P

paalraam: 15-29
palenscherm: 5-10
palenwand: 14-8
Panamawiel: 7-35, 8-7, 12-23
Panamax schepen: 4-4
partiële materiaalfactoren: 13-12
passeertijd: 2-5, 4-14, 4-16, 4-17, 4-65, 5-3
passieve gronddruk: 15-21
peilmaat: 4-1, 4-32, 4-42
penant: 4-39, 8-5
penetratie: 16-42

permanente belasting: 12-3, 12-8, 13-11
personenvervoer: 4-10
piping: 8-3, 10-3, 10-18
plaatsingsnauwkeurigheid: 8-16
planstudie: 23-3
plat: 7-57
PLC: 18-13, 20-23
pneumatisch afzinken: 13-6, 13-63, 23-25, 23-34
pneumatisch caisson: 8-20
polder: 23-54
pomp: 5-3
pompkelder: 23-58
ponton: 21-13
praatpaal: 17-3
preferent kanaal: 10-22
primaire waterkering: 4-34
probabilistische belasting: 12-5
procedure: 2-39
procesbeschrijving: 2-21
productkwaliteitsplan: 3-3
prognose: 4-9, 4-10
Programma van Eisen: 2-1, 3-3
puntdeur: 7-2, 7-7, 7-28, 7-29, 7-35, 8-5, 11-6, 12-13, 23-15

Q

quasi-statische windgolfbelasting: 11-26, 11-55

R

raamgrendel: 12-29
radar: 17-3
rail: 7-25, 7-50, 7-57, 12-32
railbaan: 8-12
randvoorwaarde: 2-2, 19-3
realisatiefase: 3-4
rechte heugel: 12-26
reconstructie: 20-2, 23-1
recreatie: 2-36
recreatievaart: 4-10, 4-11
recreatievaartuig: 4-7, 4-8
recreatievaarweg: 4-4
reductiefactor: 13-11
redundantie: 19-17
referentieperiode: 13-11, 13-13
reflectiecoëfficiënt: 11-32
registratiesysteem: 18-9
rekenpeil: 4-35
rekenprogramma's voor civiele techniek: 22-21
rekenwaarde belasting: 12-4, 13-11
relatief dichtheidsverschil: 21-6
Reliability Engineering: 19-14
remmingwerk: 2-19, 5-6, 15-1, 23-17, 23-32
renovatie: 20-2, 23-1
representatieve waarde belasting: 12-4, 13-11
reserve-kering: 7-33
reserve-onderdelen: 19-7
reservedeur: 2-32, 2-35, 4-43, 7-33, 19-15
restverval: 11-3
retourstroom: 4-69, 11-45, 16-8, 16-16
richtingsspreiding: 11-34
richtlijn: 2-44
Richtlijn Waterkerings- en Beschikbaarheidseisen: 22-23
Rijnvaartheogte: 4-3
RIO: 18-13
riool: 7-62
rioolmond: 5-9, 8-11, 21-42
rioolschuif: 7-62, 12-41
rioolsysteem: 6-3
risico: 2-9
roestvast staal: 22-2
roldeur: 7-5, 7-19, 7-30, 8-11, 12-19, 12-31, 23-39
rolfender: 4-51
rollen: 7-25
rolwagen: 7-19
ronde deuropening: 23-45
rondsel: 7-35, 7-38, 7-53, 12-24, 12-26
rubber-wielfender: 2-27
rust-/overnachtingsplaats: 5-14
ruwheid bodem: 16-24

S

samengestelde constructie: 15-5
 SAO: 19-22
 SCADA: 18-13
 schaalvergroting: 4-6, 4-19
 scheefstand: 12-38
 scheepsafmeting: 4-5
 scheepsclassificatie: 4-5
 scheepsgolf: 5-19, 16-10
 scheepsklasse: 4-73
 scheepsmanoeuvre: 15-19
 scheepsstoot: 8-2
 scheepsstoten: 14-3
 scheepvaartomleiding: 5-10
 scheiding scheepsoorten: 2-16
 scherm lengte: 10-7
 scheurvorming: 13-49
 scheve golfinval: 11-35
 schoep: 6-30
 schoorpaal: 13-10, 13-42
 schort: 15-9, 15-33, 23-27
 schotbalk: 8-2, 8-6
 schroefstraal: 4-55, 16-8, 16-14
 schuif: 6-24, 7-14, 7-59, 12-40
 schuifbewegingswerk: 7-59
 schuifgeleiding: 7-59, 12-17
 schuifgrendel: 7-44
 schuifonderrand: 6-31
 schuifprogramma: 6-21
 schuifschacht: 7-63, 8-2
 schuifspanningssnelheid: 16-32
 schuifweerstand: 13-42
 schuiver: 7-25, 7-51, 7-53, 7-58, 12-32
 schutbeheer: 18-2
 schutcapaciteit: 4-17
 schutdebiet: 4-20
 schutkolk: 4-13
 schutpeil: 2-14
 schutproces: 2-7, 2-21
 schutschijf: 6-1
 schutten: 4-13, 22-25
 schuttijd: 4-65
 schutwaterverlies: 5-3
 sediment: 4-54
 sedimentatie: 5-3, 5-18, 5-26
 segmentdeur: 7-4
 seiches: 4-25, 4-36
 seinapparatuur: 18-26
 seinen: 17-4
 selectie: 3-10
 Shields-coëfficiënt: 16-31
 signalering: 2-23
 significante golfhoogte: 11-28
 SIVAK: 4-16
 sleepboot: 4-7
 sleepboothulp: 4-51
 slibafzetting: 23-32
 sloopkosten: 19-15
 sloopvergunning: 2-39
 sluisbreedte: 4-22
 sluiscapaciteit: 4-16, 4-21
 sluiscomplex: 5-5
 sluisdeur: 11-1, 23-28
 sluisdrempel: 4-42
 sluiseiland: 5-6, 14-10, 15-3
 sluishoofd: 8-1, 13-2, 23-55
 sluisingang: 5-9
 sluis kolk: 9-1, 13-3, 23-57
 sluismeubilair: 17-26
 sluisonderdeel: 20-11
 sluisplateau: 2-8, 4-28, 4-29
 sluisverlenging: 20-4
 sluiten in stromend water: 11-21
 sluitpeil: 2-15
 sluisgeneratie: 20-5
 snelheidsreductie: 16-10
 snijrand: 13-64
 SOBEK: 11-22
 software besturingsinstallatie: 18-14
 spaarbekken: 2-10, 4-20

spant: 15-31
 sparring: 8-16
 spatkracht: 7-11, 13-22
 speling: 7-11
 spelingsvrij draaipunt: 12-14
 spindel-aandrijving: 7-61, 7-62
 sponning: 8-6
 spreidingslengte: 10-11
 sprong: 11-47
 spuidebiet: 5-8
 spuien: 5-3, 5-8, 18-4, 21-11, 21-13
 spuimiddel: 5-9
 spuistroming: 16-7
 staal- en werktuigbouwkundige constructies: 12-1
 staalconstructie: 12-2
 staande golf: 11-31
 staande segmentdeur: 7-4
 staat van onderhoud: 20-9
 stabiliteit: 20-15
 stabiliteitsrelatie: 16-21
 stalen damwand: 14-5, 14-11
 standaardisatie: 19-14
 standaardchip: 4-3, 4-5
 stappenplan: 22-24
 steenbestorting: 9-2
 steendiameter: 16-37
 steensortering: 16-45
 steilheid: 11-33
 stempel: 23-11
 sterkte en stabiliteit betonbak: 13-37
 stichtingskosten: 19-15
 stijfheid betonbak: 13-37
 stijghoogte: 2-3, 10-10
 stijghoogte grondwater: 8-23, 9-10
 stoplengte: 5-25
 stopstreep: 8-2, 17-6
 stopstreepafstand: 4-40
 storing: 2-26
 stormvloed-/hoogwaterdeur: 4-46
 stortsteen: 13-8
 straal: 6-21, 16-4
 straalafbraak: 16-13
 straalwerking: 6-12
 stremming: 18-4, 19-4, 20-30
 strijkhooft: 4-30
 strijklengte: 5-20, 11-28
 stroming: 4-54, 17-16
 stroming door deurspleten: 16-6
 stromingsdruk: 10-4
 stromingsweerstand: 11-10
 stroombeeld: 6-21, 21-20
 stroomgradiënt: 5-18
 stroomlijn: 10-6
 stroomverdeling: 6-21
 systeem Duinkerken: 21-17, 21-33
 systeem Hansweert: 21-41
 systeem Terneuzen: 21-31
 systeemanalyse: 19-19

T

taats: 7-11, 8-5, 12-17, 22-5
 taatskom: 7-11, 12-17
 taatskuip: 2-33, 8-2, 19-17, 20-31
 taludhelling: 16-25
 tandwiel: 7-36, 12-24
 TAO: 19-22
 TAV Leidraad: 4-36, 13-14
 terre armée: 9-4
 terugspoelen zoutwater: 21-16, 21-28
 TGB 1990: 13-11, 13-12
 toegankelijkheid: 2-14
 toegevoegd massatraagheidsmoment: 11-7
 toelatingsbeleid: 4-27
 toetsingscriteria: 3-3
 toetspeil: 4-35
 toplaag: 16-21
 topografie: 2-2
 toren: 7-24
 torsiestijfheid: 12-16
 totale weerstand: 11-18

translatiegolf: 4-25, 4-69, 6-8, 6-11, 11-37
translatiegolfhoogte: 11-22
transmissiviteit: 10-12
Transport Economisch Model: 4-10
trap: 17-26
trek/duwstang: 7-35, 7-43, 12-25, 12-34, 23-16
trekpaal: 8-20, 8-33, 13-8, 23-26
trillen: 14-14
trilling: 6-31
tros: 13-21
troskrachtcriterium: 6-10
tunnel: 2-11
turbulentie-intensiteit: 16-15, 16-23
tussenfragment: 10-21
tussenhoofd: 7-33, 8-3
TV-camera: 17-3
twee-lagenstroming: 21-5
tweezijdig keren: 7-27, 7-29

U

U-bakconstructie: 23-4, 23-9
uiterste grenstoestand: 12-2, 12-7, 13-12
uitvaren: 11-49
uitwisselbaar: 4-46
uitwisselen: 21-6, 21-9
uitwisselingsproces: 21-3
uitwisselingsstroom: 21-6, 21-20
uitzicht: 5-19

V

vaarbaan: 15-17
vaarsnelheid: 4-70
vaarstrook: 4-48, 4-50
vaartijdenwet: 2-16, 4-71
vaarwegclassificatie: 4-3
vaarwegklasse: 2-5
vangnet: 17-10
variantennota: 3-3, 3-8
vaste brug: 2-11
VAT-model: 4-16
veerconstructie: 7-54, 12-25, 12-38
veerstijfheid: 15-20, 15-22, 15-41
veiligheid: 2-28
veiligheid schutbedrijf: 18-6
veiligheidsklasse: 13-11
veiligheidsmarge: 4-18, 4-25, 4-37
veiligheidsstrook: 4-48, 5-5, 15-2
veranderlijke belasting: 12-3, 12-8, 13-11
verankering: 14-11
verbindende waterkering: 4-34
verende plaat: 7-22, 22-4
vergrendeling: 7-42, 7-43, 12-29
vergunning: 2-39
verhanglijn: 10-3, 10-5
verkeersaanbod: 4-9, 4-11
verkeersafwikkeling: 2-6, 2-14, 4-13, 4-14, 5-5
verkeersproductiemodel: 4-10
verkeersprognoses: 4-9
verkeersregeling: 17-2
verkeerstoedelingsmodel: 4-10
verlichting: 2-23, 17-2
verlichtingsinstallatie: 18-26
verlichtingsplan: 2-24
vermoeding: 2-30
verontreinigde grond: 2-37
verouderingsgedrag: 19-17
verplaatsing remmingwerk: 15-24
versnelde deurbeweging: 11-7
versterkingsvezel: 22-9
verticale buispaal: 15-27
verticale stijl: 7-11
vervalbelasting: 13-22
vervuiling: 7-14
vierkant sluiten: 7-17
visualisatieapparatuur: 18-26
visuele richtmiddelen: 17-6
vleugelwand: 8-4, 14-10
vlinderklep: 20-24
vlootsamenstelling: 2-5, 4-5, 4-9
vlotheid: 5-3

vlotheid sluis: 18-6
vluchthaven: 2-7, 4-57, 5-15
vluchtigplaats: 5-15
voeg: 13-47
voetbrug: 17-26
voor- en achterspring: 6-10
voorbereidingsfase: 3-4
voorhar: 7-11
voorhaven: 2-6, 2-19, 4-48, 5-5, 15-2, 17-1, 23-59
voorhavenlengte: 5-5
voorhavenmond: 5-3, 5-18
voorlandfragment: 10-21
voorontwerp: 3-1, 22-34, 23-4
voorontwerpfase: 3-3
voorontwerpnota: 3-3
voorschrift: 13-11
voorspanning: 12-18, 12-25
voortplantingssnelheid: 21-6
vorm- en wrijvingsweerstand: 11-10
vormfactor: 10-9
vormvastheid: 8-16
vrijdraaiingspunt: 7-12, 12-13
vrije ruimte: 2-6, 4-48, 4-50, 5-8, 15-2
vrijstaande meerpaal: 15-27, 15-49
vuil: 7-14, 7-19, 7-23, 7-26
vul- en ledigingsstromen: 16-5
vul- en ledigingssysteem: 6-1
vul- of ledigingproces: 6-40
vullen: 6-15
vulopening: 6-15
vulstraal: 6-10, 21-5

W

waaierdeur: 7-4
waakhoogte: 4-36
wachtbbox: 5-26
wachten: 4-52
wachtplaats: 5-8
wachtrijlengte: 4-18
wachtruimte: 2-6, 4-49, 15-2
wachttijd: 4-11, 4-14, 4-65
wandopening: 20-24, 21-36, 21-43
wandvulsysteem: 6-4
wandwrijving: 13-24
WAROS: 4-26, 4-69, 11-47
waterbeheer: 2-9, 18-3
waterbesparing: 6-6
waterdoorlatendheid: 16-39
waterdruk: 13-17
waterkering: 2-8, 2-38, 2-39, 4-32
waterkwaliteit: 2-2
waterlozen en -inlaten: 2-10, 4-54
wateronttrekking: 4-54
waterschaarste: 5-3
waterspiegelverlaging: 11-44
waterstand: 2-2, 13-29
waterverlies: 2-10
watervoerend zandpakket: 10-3
weerstandsfactor: 10-9, 10-10
weg: 2-11
wegdrukken: 14-15
wegenplan: 17-24
wegverkeer: 7-23, 7-26
wel: 10-3
werkplaats: 2-34, 17-24
werktuigbouwkundige constructie: 12-7
Wet beheer RWS-werken: 2-42
Wet bodembescherming: 2-41
Wet Geluidhinder: 2-42
Wet milieubeheer: 2-40
Wet op de Waterhuishouding: 2-41
Wet op de waterkering: 2-39
Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren: 2-41
wiel: 7-24, 7-25, 12-31
wielfender: 17-14
wielschuif: 7-63
wind: 2-3
windgolf: 5-19, 11-28, 16-10
windhinder: 17-19
windopzet: 11-31

windscherm: 17-19
windsnelheid: 11-26
woelkelder: 6-2, 6-12, 6-17, 6-31, 6-35, 8-2
wrijfhout: 2-27
wrijving: 6-10, 6-12, 15-19

Z

zakdeur: 7-7
zandmeevoerende wel: 10-3
zeer kleine sluis: 7-27
zeeschip: 4-4, 4-7
zeesluis: 4-9
zeespiegelrijzing: 4-36
zeevaarweg: 4-3
zetting: 4-36, 13-45
zettingsspleet: 10-23
zettingstvloeing: 16-29
zijgeleiding: 12-41
zijgeleidingswiel: 7-57
zijschuiver: 7-62
zinkstuk: 16-40
zoetwateraanvoer: 21-14
zoetwaterverlies: 21-3, 21-38
zout/zoetscheiding: 2-10, 6-3
zout/zoetscheidingssysteem: 21-1
zoutbalans: 21-11
zoutbelasting: 21-3, 21-14
zoutbestrijdingssysteem: 6-3, 20-23
zoutdoordringing: 5-3
zoutdrempel: 21-15, 21-25, 21-44
zoute liftbak: 21-18, 21-45
zoute schuttschijf: 21-16, 21-27
zoute tong: 21-6
zoutput: 21-28
zoutscherm: 21-28
zoutwaterkelder: 20-25
zoutwaterriolen: 21-37
zuigbuis: 15-27
zuiger: 7-40
zuigersnelheid: 7-40
zuigerstang: 7-38, 7-60, 12-28
zuigmond: 21-29

Geografisch register

A

Almere-Haven: 6-37, 13-59, 13-63
Amsterdam: 8-10, 13-56, 20-6, 20-26, 23-37, 23-60

B

Belfeld: 15-4
Bergsediepsluis: 16-2, 20-23, 21-41, 21-50
Born: 6-31, 17-9, 20-8

D

Dalemse Sluis: 20-31
Delfzijl: 11-59
Den Helder: 13-57, 21-30
Den Oever: 20-8, 21-25

E

Eefde: 6-22
Engelen: 22-31
Enkhuizen: 5-26, 23-49

F

Farnsum: 11-59

G

Gorinchem: 17-21, 20-2
Grave: 18-31

H

Hansweert: 8-10, 13-55
Heel: 5-22, 15-2
Helmond: 13-63

I

Ijmuiden: 6-28, 15-7, 15-32, 17-2, 17-5, 17-22, 20-7, 20-18,
20-22, 20-33, 21-3, 21-25, 23-1
IJsselmeergebied: 4-35

K

Kornwerderzand: 21-25
Krammer jachtensluizen: 21-41, 21-49
Krammerduwvaartsluizen: 18-28, 21-33, 21-39, 21-48
Kreekraksluizen: 21-39
Krimpen a/d IJssel: 17-22, 18-2

L

Lith: 5-25, 8-5, 13-61, 13-63, 14-5, 14-7, 14-8, 14-9, 14-10,
14-14, 15-6, 16-40, 22-20, 23-19

M

Maasbracht: 6-35, 9-2, 17-9
Maastricht: 20-8

N

Nieuwe Oranjesluis: 15-33, 16-40
Nieuwe Statenzijl: 8-7, 13-58, 14-6, 20-6
Nieuwegein: 6-27, 17-17, 17-23

O

Oranjesluizen: 18-30

P

Panheel: 13-54, 17-12
Philipsdam: 21-40
Prins Willem-Alexandersluis: 6-29, 18-30, 23-37

R

Roempotsluis: 16-3

S

Sambeek: 15-6
Schijndel: 13-60, 13-63

T

Terneuzen: 8-9, 18-29, 21-25

V

Vianen: 20-6
Volkeraksluizen: 6-23, 13-53, 15-15, 17-17, 21-21, 21-23

W

Weurt: 6-27
Werkendam: 22-8
Wijk bij Duurstede: 17-11

Z

Zeesluis Terneuzen: 21-29, 21-47
Zuidersluis IJmuiden: 10-24

Colofon

"Ontwerp van schutsluizen" bestaat uit twee delen, waarvan dit boek het eerste deel is met de hoofdstukken 1 t/m 9. Beide delen zijn uitgegeven door Bouwdienst Rijkswaterstaat te Utrecht in juni 2000.

Bouwdienst Rijkswaterstaat is het civiel-technisch ingenieursbureau van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat en heeft als taken de beleidsvoorbereiding en de uitvoering van natte en droge infrastructurele projecten in Nederland. De technische uitwerking op het gebied van schut- en spuisluizen, stuwen, hoogwaterkeringen en gemalen valt binnen de hoofdafdeling Natte Infrastructuur van de Bouwdienst.

Auteurs:	ir. R.C.A. Beem (Hfdst. 22) ir. A. Boogaard (Hfdst. 4, 5 en 17) prof.ir. A. Glerum (Hfdst. 2, 3, 4, 8 en 9), ir. M.A. de Graaf (Hfdst. 14) drs. S.D. Henneberque (Hfdst. 2) ir. P.H. Hiddinga (Hfdst. 2, 4 en 5) ing. D. Kranenburg (Hfdst. 2, 4, 7, 8 en 12) ir. M.T. van der Meer (Hfdst. 19) ir. G. Nagtegaal (Hfdst. 22) ir. M. van der Paverd (Hfdst. 10) ir. L.M.C. Smink (Hfdst. 23) dr.ir. A. Vrijburcht (Hfdst. 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 21, 22 en 23) ir. J. Weijers (Hfdst. 10)
Begeleidingsgroep:	prof.ir. A. Glerum (voorzitter) ir. G.J.M. Hertogh ir. P.H. Hiddinga ing. D. Kranenburg ir. H. Verwoert ir. J.T. de Vries (projectleider) dr.ir. A. Vrijburcht (secretaris) ir. J. Weijers
Eindredactie:	prof.ir. A. Glerum dr.ir. A. Vrijburcht
Figuren:	Bouwdienst Rijkswaterstaat, Natte Infrastructuur, Constructieve Waterbouw
Foto's:	Voornamelijk Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst en Bouwdienst, zie verder Fotoverantwoordingen deel 1 en 2
Tekstcorrectie:	P.L. Spits, Vught
Vormgeving:	Dratex, Lelystad
Druk:	Drukkerij Feiko Stevens, Emmeloord
Binden:	Boekbinderij Abbringh, Groningen

ISBN 90-369-3305-6

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier zonder voorafgaande toestemming van Bouwdienst Rijkswaterstaat.

© 2000 Bouwdienst Rijkswaterstaat

Voor meer informatie:
Bouwdienst Rijkswaterstaat
Griffioenlaan 2, 3526 LA Utrecht
Postbus 20000, 3502 LA Utrecht, tel. 030-2857600, fax. 030-2857950