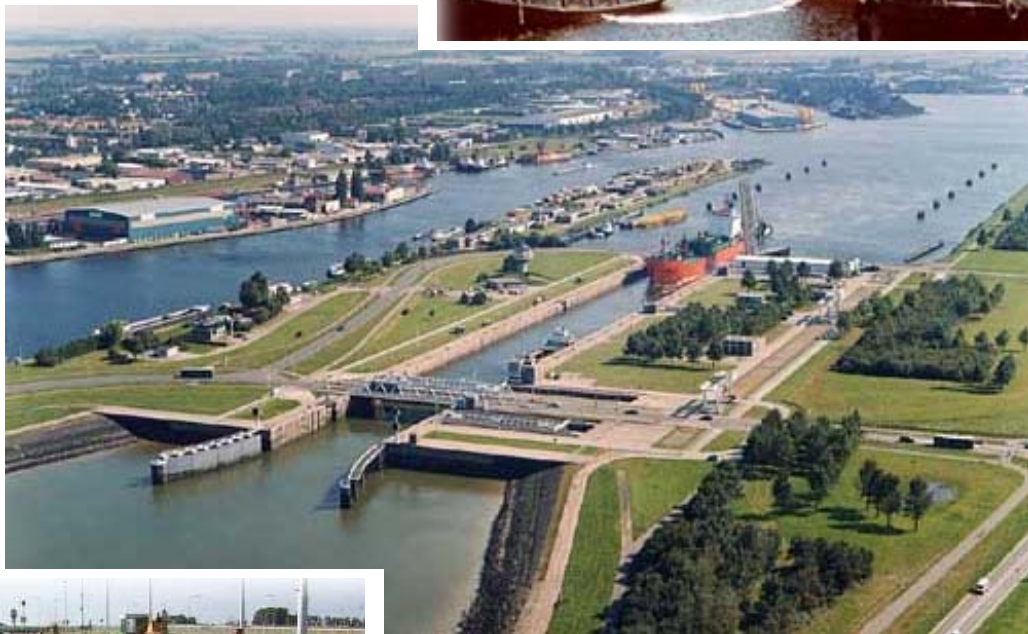


Flexibele zeesluis als nieuwe maritieme toegang kanaal Gent Terneuzen

Afstudeerverslag

J.M. Bonnes



Flexibele zeesluis als nieuwe maritieme toegang kanaal Gent Terneuzen

Afstudeerverslag

Student: J.M. Bonnes
Studentnummer 1025643

Afstudeercommissie:
Prof.drs.ir. J.K. Vrijling
Ir. W.F. Molenaar
Ir. W.J.M. Peperkamp

Delft: 1 februari 2005



Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Sectie Waterbouwkunde

Voorwoord

De voor u liggende scriptie vormt het resultaat van mijn afstudeerproject en is uitgevoerd ter afsluiting van de studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft. Het afstudeeronderwerp betreft het ontwerp en de haalbaarheid van een flexibele sluis die aan een toekomstige functionaliteitsveranderingen aangepast kan worden met behoud van zoveel mogelijk bestaande sluiselementen.

Voor de totstandkoming van dit rapport wil ik mijn afstudeercommissie, Prof.drs.ir. J.K. Vrijling, Ir. W.F. Molenaar en Ir. W.J.M. Peperkamp bedanken voor hun begeleiding.

Daarnaast wil ik mijn familie bedanken voor hun steun en geduld gedurende de gehele studie en tijdens het afstuderen.

Jeroen Bonnes,

Delft, 1 februari 2005.

Samenvatting

De havens van Gent en Terneuzen zijn bereikbaar via het sluizencomplex bij Terneuzen. Dit sluizencomplex vormt de toegang voor zeeschepen naar het kanaal van Gent naar Terneuzen en de hieraan liggende havens. Het sluizencomplex bestaat uit drie sluizen, de Westsluis, de Middensluis en de Oostsluis. Via het sluizencomplex worden jaarlijks circa 65.000 schepen geschut. Alleen de Westsluis is geschikt voor het schutten van grotere zeeschepen tot Panamax formaat met een maximaal tonnage van ongeveer 80.000 Dead Weight Tonnage (dwt). Dit komt overeen met maximaal te schutten scheepsafmetingen van 265 m lang, een breedte van 34 m en een diepgang van 12,25 m.

De havens zijn van groot belang voor de regionale economie. De activiteiten rond de haven van Gent zorgt na Antwerpen voor de grootste toegevoegde waarde van het Vlaamse deel van België.

Door ontwikkelingen in het maritieme scheepvaartverkeer en ambities van de havens voldoet de huidige toegang niet meer aan alle eisen en wensen van de gebruikers. Het huidige sluizencomplex heeft zijn maximale capaciteit bijna bereikt. Verdere groei van de trafieken zullen leiden tot langere wachttijden. De beperkte capaciteit beperkt ook de verdere groei van de havens en kunnen zelfs leiden tot achteruitgang. Bulkgoederen vormen de belangrijkste goederen die overgeslagen en verwerkt worden in de havens. De bulkgoederen, ijzererts en kolen nemen het grootste deel van het totale transportvolume voor rekening. De huidige trend in met name de bulkscheepvaart is schaalvergroting. De grootste schepen die ontvangen kunnen worden zijn Panamaxschepen. In geval van schaalvergroting kunnen minder schepen de havens bereiken, of moeten meer schepen gelichter worden voordat deze kunnen worden geschut. In geval van schade en/of storingen aan de Westsluis zijn de havens voor een groot deel van de zeeschepen niet meer bereikbaar. De kans op stremmingen van de Westsluis kunnen gezien de ouderdom van de sluis toenemen. Verbeteringen aan de huidige toegang zijn dan ook gewenst.

Een verbetering kan een extra zeesluis zijn naast de Westsluis. Het belangrijkste aspect bij een extra sluis is van welke afmetingen deze moet zijn. Moet deze gelijk sluis gelijk zijn aan de huidige Westsluis, dus een sluis geschikt voor het schutten van Panamaxschepen. Of is het beter te kiezen voor een grotere sluis, welke geschikt is voor het schutten van gelichterde Cape-Size schepen. De dimensies van een sluis is gebaseerd op diverse aspecten zoals economie, techniek en de maatschappij. Kiezen voor bepaalde sluisafmetingen is een afweging tussen kosten en baten maar ook tussen hetgeen wenselijk is en wat (economisch) haalbaar is. Vanuit de perspectief van de haven van Gent is een gelichterde Cape-Size sluis wenselijk, maar heeft op basis van de kosten en de baten een beperkte haalbaarheid. Ook zijn de maatschappelijke gevolgen ingrijpender.

Op basis van de investeringskosten en de daarbij horende baten is een sluis groter dan Panamax formaat niet duidelijk aangetoond. Daar komt bij dat een grotere sluis niet optimaal benut kan worden door de beperkingen die het kanaal oplegt. De grotere sluis is dan ook niet efficiënt in gebruik zonder grootschalige kanaalaanpassingen. Het daadwerkelijk tot uitvoering komen van deze kanaalaanpassingen in de toekomst is allerm minst zeker.

In de huidige situatie en op korte en middenlange termijn is de noodzaak van een grotere sluis niet duidelijk aanwezig. Op langere termijn is dit mogelijk wel het geval. De toekomstige ontwikkelingen, met name op langere termijn, zijn moeilijk in te schatten. De inzet van schepen wordt bepaald door de marktwerking en de wereldwijde economische omstandigheden. Thans nog niet te voorziene ontwikkelingen kunnen bijvoorbeeld leiden tot de inzet van grotere schepen. Voor een haven is het belangrijk hier op te kunnen inspelen om verlies aan goederenstromen en gebruikers te voorkomen.

Ter plekke is ruimte voor slechts één extra nieuwe sluis. Deze sluis bepaald mede de maximale scheepsomvang die de havens in de kanaalzone kunnen bereiken. Hiermee zijn de ontwikkelingen van de havens in de kanaalzone voor een lange tijd vastgelegd en de mogelijkheden beperkt om op veranderingen in te spelen. Een derde grotere zeesluis is echter niet meer mogelijk wegens ruimtegebrek. Aanpassing van de huidige Westsluis, in plaats van een derde zeesluis, zal

waarschijnlijk leiden tot een dure oplossing en bovendien tot een ongewenste langdurige stremming van de sluis.

Dit maakt de keuze voor een bepaalde sluis moeilijk. Een oplossing hiervoor kan gevonden worden in een sluis die aangepast kan worden aan de toekomstige ontwikkelingen, in de vorm van een flexibele sluis. Om een beeld te krijgen of een flexibele sluis een haalbaar en een interessant alternatief vormt voor een "standaard" sluis is de flexibele sluis verder uitgewerkt.

Doelstelling:

Onderzoek naar de mogelijkheid en de haalbaarheid van een nieuwe zeesluis bij Terneuzen waarvan de hoofdafmetingen op relatief eenvoudige wijze kunnen worden aangepast (aan toekomstige veranderingen) zodat grotere schepen kunnen worden gesluisd ter verbetering van de maritieme bereikbaarheid van het kanaal van Gent naar Terneuzen.

Bij het uitwerken van de flexibele sluis is uitgegaan van een sluis van Panamaxformaat. De toekomstige uitbreiding moet het mogelijk maken dat gelichterde Cape-Size schepen gesluisd kunnen worden. Om Panamaxschepen te kunnen sluisen zijn de minimale kolkafmetingen van 405 m bij 40 m nodig. De maximale diepgang voor het schip is 12,25 m. Voor een gelichterde Cape-Size is dat 445 m bij 57 m en een maximale diepgang van 16,36 m.

Om de haalbaarheid van de flexibele sluis te kunnen inschatten zijn de kosten van de verschillende sluiscomponenten en/of oplossingen globaal bepaald en geschat aan de hand van kosten van vergelijkbare sluisen. Bij de uitvoering van de sluis is uitgegaan van de bouw van de sluis in een droge bouwput om de kosten van de flexibele sluis te kunnen vergelijken met de geraamde kosten voor "gewone" sluisen waarvan de maatgevende scheepsgrootten Panamaxschepen of gelichterde Cape-Size schepen zijn. Deze geraamde kosten zijn in het kader van eerder uitgevoerde onderzoeken naar de noodzaak en haalbaarheid van een nieuwe zeesluis in de rapporten: "Beleidsanalyse voor de modernisering van de maritieme toegang tot de havens van Gent en Terneuzen", en "Economische analyse van de maritieme toegang tot de havens van Gent en Terneuzen" uitgevoerd.

Van de sluis zijn de te vervullen functies bepaald. Deze functies zijn verder vertaald in het programma van eisen. Ten aanzien van de flexibiliteit zijn extra eisen gesteld aan de sluis. De sluis moet aanpasbaar zijn aan veranderende functionele eisen in de toekomst zonder grootschalige sloop- en/of nieuwbouwwerkzaamheden waardoor de sluis voor een lange periode niet beschikbaar is. Het verlies aan goederenstromen en de wachtkosten voor schepen en goederen worden bij een lange niet-beschikbaarheid, groter dan het voordeel van een grotere sluis.

De vormgeving van het hoofd wordt direct bepaald door het type deur. Voordat gekeken is naar de uitbreidingsmogelijkheden is het deurtype vastgesteld. Hierdoor is een specifiek beeld te geven van de mogelijkheden en de te verwachten knelpunten. In principe zijn er drie deurtypen geschikt om toegepast te worden in een sluis van dergelijke afmeting. Dit zijn de rechte roldeur, gebogen roldeur en de "Thames" deur. Een rechte roldeur lijkt hier de beste oplossing. Per hoofd worden twee deuren toegepast, waarbij de deuren elkaar kunnen vervangen. Hierdoor is de kans op stremming minimaal. Het hoofd bestaat dus uit loodrecht op de sluisas staande deuren waarin de deur zich in geopende stand bevindt.

Uitbreidingsmogelijkheden sluis:

Er zijn drie uitbreidingsmogelijkheden van de sluis te onderscheiden. Niet alle mogelijkheden zijn echter even interessant om uitgevoerd te worden:

- Verdieping: Het is technisch mogelijk een sluis naderhand te verdiepen, echter kan dit alleen door middel van grootschalige sloop en hoge kosten, of een dure sluisconstructie. Hierdoor is deze uitbreidingswijze niet interessant.
- Verlenging: Deze optie is niet interessant omdat tegen relatief lage kosten de sluis direct met een grotere lengte uitgevoerd is. De investeringskosten nemen per meter extra kolk lengte maar

0,08% toe. Het achteraf verlengen is daarentegen een kostbare aangelegenheid aangezien dan de kolk verlengt moet worden en er een nieuw sluishoofd gebouwd moet worden.

- Verbreding: Bij een verbreding ligt het minder duidelijk voor de hand om direct te kiezen voor een bredere sluis omdat de kosten bij vermeerdering van de sluisbreedte voor elke meter extra relatief snel toeneemt. Het nut van een bredere sluis is momenteel niet aantoonbaar aanwezig door de beperkingen die het huidige kanaal op de maximale scheepsafmetingen oplegt.

Het verbreden van een sluis van Panamaxformaat is verder uitgewerkt. Ingegaan is op de verschillende sluiscomponenten en de beperkingen van de bestaande sluisconstructies op de flexibiliteit en welke aanpassingen noodzakelijk zijn om een uitbreiding mogelijk te maken zonder gedeeltelijke sloop ervan. Hiertoe zijn per component oplossingsconcepten en schetsontwerpen gepresenteerd voor de diverse componenten. De bekeken sluiscomponenten zijn:

- De kolk.
- Oeververbinding over de sluis.
- De deuren.
- Het geleiding- en bewegingssysteem.
- Het vul- en ledigingssysteem.
- Het hoofd.

De kolk:

Bestaande kolkconstructies zijn minder geschikt om toegepast te worden in de flexibele sluis. Kenmerkend voor deze constructies is dat ze niet of beperkt herbruikbaar en niet verplaatsbaar zijn. In geval van een verbreding zal een deel van de kolk moeten worden afgebroken. Dit maakt een uitbreiding een langdurige en kostbare aangelegenheid. Een oplossing kan bestaan uit een kolk bestaande uit een caissonwand. Deze wand beschikt over de mogelijkheid de wandelementen te hergebruiken. De caissons die voor een dergelijke wand nodig zijn hebben afmetingen van 40 m lang, 20 m breed en 20,5 m hoog. In principe is het voldoende om één zijde van de kolk uit te voeren in caissons. De andere wand is als L-wand uitgevoerd omdat uitgegaan is van uitvoering in een droge bouwput. De vloer bestaat uit een open vloer met steenbestorting.

De oeververbinding:

Het verkeer kan op de volgende vier manieren de sluis te passeren:

- Via beweegbare bruggen.
- Via een hoge vaste brug.
- Via onderdoorgang (naviduct).
- Via de deuren.

Door de hoge realisatiekosten, als gevolg van het benodigde profiel van vrije ruimte voor de brug en de grote aanlegdiepe en inpassingsproblemen zijn de vaste hoge brug en de tunnel geen geschikte oplossingen. Van de overige twee manieren is het laten passeren van het verkeer via de deuren de meest geschikte oplossing voor een flexibele sluis.

De deuren:

De breedte van de deur is afhankelijk van de af te sluiten doorvaartopening. Bij een sluis van gelichterde Cape-Size formaat is een deur nodig met een breedte van 10 m, terwijl voor een Panamaxsluis een deurbreedte van ongeveer 6 m voldoende is. In geval van verbreding zal de breedte van de doorvaartopening toenemen. Aanpassen of vervanging van de deuren is dan noodzakelijk. Er zijn drie oplossingen voor de deur bekeken. Voor een flexibele sluis is geopteerd voor een verlengbare deur.

Het geleiding- en bewegingssysteem:

De deuren worden door middel van het geleidings- en bewegingssysteem geopend en gesloten. De deur wordt ondersteund door twee onderrolwagens. Door middel van een tweezijdige aandrijving met één kabeltrommel wordt de deur bewogen. De aandrijving is tussen de twee deuren in geplaatst in plaats van in het verlengde zoals gebruikelijk is. Hierdoor is verlenging van de deuren met behoud

van de bestaande aandrijving mogelijk. De benodigde kracht voor het openen en sluiten van de deuren neemt toe bij een langere deur. Een op de deurlengte afgestemde bewegingswerk zal vervangen dan wel aangepast moeten worden.

Het vul- en ledigingssysteem:

Een vul- en ledigingssysteem bestaande uit langsriolen die alleen aan de deurkaszijde zijn gesitueerd en hierbij onder het hoofd doorlopen is het meest geschikt om toegepast te worden in een flexibele sluis. Het zoutbezwaar op het kanaal kan dan beperkt blijven doordat het systeem in de basis gelijk is aan het systeem ‘Terneuzen’. In geval van verbreding kan het systeem behouden blijven, omdat het ‘niet in de weg zit’ bij het verlengen van de deurkassen en het verbreden van de doorvaartopening.

Bij verbreding neemt de schuttijd toe bij behoud van het huidige vul- en ledigingssysteem. Een systeem afgestemd op de toekomstige situatie is, in geval van een verbreding over 30 jaar, de goedkoopste oplossing.

Het hoofd:

Door de vele raakvlakken met andere componenten vormen de hoofden de meest complexe onderdelen om aan te passen. De constructie van het hoofd is in principe gelijk aan die van een Panamax hoofd en een Cape-Size hoofd en ligt qua afmetingen tussen beide hoofden in. De breedte van de deurkassen en de lengte van de voorwanden met de deuraanslagen zijn gedimensioneerd op de bredere deur en op de toekomstige situatie na verbreding. Een eenvoudige oplossing en/of constructie van het hoofd om de verbreding eenvoudig te kunnen uitvoeren is niet gevonden.

Kosten:

De kosten van de flexibele sluis zijn globaal bepaald en vergeleken met die van een Panamaxsluis en een Gelichterde Cape-Size sluis. Uit deze globale kostenraming blijkt dat de bouw van een flexibele sluis qua constructiekosten tussen een Panamaxsluis en een gelichterde Cape-Size in ligt. Een flexibele sluis kost 47 miljoen Euro meer dan een Panamax. Wordt gelijk een gelichterde Cape-Size sluis gebouwd dan is de investering 44 miljoen Euro meer dan een flexibele sluis. De stremmingskosten bij een verbreding van de sluis variëren bij een verbreding over 20 jaar van 146.000 Euro/dag tot 347.000 Euro/dag bij een verbreding na 30 jaar. De kosten van de verbreding zelf zijn niet bepaald.

Conclusies:

Een flexibele sluis kan een goed alternatief vormen voor een gelichterde Cape-Size, de bouwkosten ervan zijn lager. De voorwaarde is dat de kosten van de toekomstige verbreding, bestaande uit de uitvoeringskosten en de stremmingskosten, niet te hoog oplopen. Bij te hoog oplopende kosten moet de uitvoering van de verbreding binnen een afzienbare tijdsperiode gerealiseerd worden. Anders leggen de stremmingskosten een groot beslag op hetgeen uitgegeven mag worden aan de uitvoering van de verbreding.

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Samenvatting	2
1 Inleiding	12
1.1 Knelpunten van de huidige situatie	13
2 Keuze van de sluis grootte	16
2.1.1 Sluistypen	16
2.1.2 Panamax sluis	16
2.1.3 Post-Panamax sluis	16
2.1.4 Gelichterde Cape-Size sluis	16
2.1.5 Economie	17
2.1.6 Belanghebbende industrieën en bedrijven	17
2.1.7 Kosten	18
2.1.8 Baten	19
2.1.9 Sluiskeuze	20
3 De flexibele sluis	21
3.1 Aanleiding	21
3.2 Flexibele zeesluis als nieuwe maritieme toegang	21
3.3 Wat is er anders aan een flexibele sluis?	22
3.4 Onderzoeksvragen en doelstelling	23
3.5 Opzet uitwerking	23
4 Functies en componenten van de sluis	25
4.1 Inleiding	25
4.2 Functies van de sluis	25
4.2.1 Scheepvaartfunctie	25
4.2.2 (Water)Keringsfunctie	25
4.2.3 Waterbeheerfunctie	25
4.2.4 Verbindingsfunctie	26
4.3 Het systeem sluis	26
5 Programma van eisen	28
5.1 Inleiding	28
5.2 Randvoorwaarden	28
5.2.1 Locatie	28
5.2.2 Hydraulische randvoorwaarden	28
5.2.3 Wind	29
5.2.4 Bodemgesteldheid	29
5.3 Uitgangspunten en aannamen	31
5.3.1 Aannamen	31
5.3.2 Uitgangspunten	31
5.4 Programma van eisen	32
5.4.1 Functionele eisen t.a.v. de scheepvaart	33
5.4.2 Functionele eisen t.a.v. de waterkering	33
5.4.3 Functionele eisen t.a.v. het waterbeheer	34
5.4.4 Functionele eisen t.a.v. wegverkeer	34
5.4.5 Gebruikerseisen	34
5.4.6 Onderhoudseisen	35
5.4.7 Omgevingseisen in gebruiksstadium	35
5.4.8 Uitvoeringseisen	35
5.4.9 Constructieve eisen	35
5.4.10 Eisen t.a.v de flexibiliteit	36
6 Sluisafmetingen en peilen	37
6.1 kolkafmetingen	37
6.1.1 Kolklengthe	37

6.1.2	Kolkbreedte en diepgang	38
6.1.3	Overzicht kolkafmetingen	39
6.1.4	Capaciteit	39
6.2	Aanlegniveau drempel, dekzerk en deurbeplating	39
6.2.1	Drempelniveau buitenhoofd	39
6.2.2	Aanlegniveau drempel binnenhoofd	39
6.2.3	Dekzerkhoogte en deurhoogte	40
6.3	Bepaling kerende hoogte	40
7	Deuren/afsluitmiddelen sluiskolk	43
7.1	Functies van de afsluitmiddelen	43
7.2	Deurtypen	43
7.2.1	Deuren roterend om verticale as	44
7.2.2	Deuren roterend om horizontale as	44
7.2.3	Horizontaal bewegende deuren	45
7.2.4	Verticaal bewegende deuren	45
7.2.5	Overig	46
7.3	Toe te passen deuren	46
7.4	Deurkeuze	46
7.5	Deurtype	46
7.6	Aantal deuren	47
7.6.1	Tussenhoofd	49
7.6.2	Buiten- en binnenhoofd	49
8	Inventarisatie flexibiliteit voor sluis met rechte roldeuren	50
8.1	Inleiding	50
8.2	Uitbreidingsmogelijkheden	50
8.3	Verbreden van de sluis	50
8.3.1	Verbreidingsmogelijkheden	50
8.3.2	Knelpunten bij een verbreding	51
8.4	Verlenging	54
8.4.1	Verlengingsmogelijkheden	54
8.4.2	Knelpunten van een verlenging	55
8.5	Verdieping	56
8.6	Wanneer welke uitbreiding	57
8.6.1	Panamaxsluis als uitgangspunt	57
8.6.2	Andere sluisafmetingen als uitgangspunt	57
8.6.3	Het nut van de aanpassingen	57
8.7	Verdere uitwerking	58
9	Sluiskolk	60
9.1	Inleiding	60
9.2	Kolkvormen	60
9.3	Kolkconstructies	60
9.3.1	Kolk uit één constructief geheel	61
9.3.2	Kolk als constructief geheel en als op zichzelf staand	62
9.3.3	Op zichzelf staande kolkwandconstructies	65
9.3.4	Flexibiliteit van de bestaande kolkconstructies	67
9.4	Uitgangspunten, randvoorwaarden en eisen voor flexibele kolk	67
9.5	Verplaatsbare wandconstructies	68
9.6	Blokkenwand	69
9.7	Caissonwand	69
9.8	Ontwerp caissonwand	70
9.8.1	Principe van de wand	70
9.8.2	Opzet van de uitwerking	71
9.8.3	Uitgangspunten en randvoorwaarden voor de caissonwand	71
9.8.4	Belastingen	71
9.8.5	Belastinggevallen	72

9.8.6	Constructie.....	73
9.8.7	Grootte en aantal caissons	73
9.8.8	Bepaling minimale caissonafmetingen.....	74
9.8.9	Bepaling betondoorsnede	79
9.8.10	Kosten.....	79
9.9	L-wand.....	81
9.9.1	Constructie en afmetingen.....	81
9.9.2	Belastingen en belastingcombinaties.....	82
9.9.3	Dimensionering L-wand.....	82
9.10	Resulterende doorsneden.....	83
9.11	Kosten van de kolkdoorsneden.....	85
9.11.1	Kosten niet flexibele kolkconstructies.....	85
9.12	Vergelijking tussen flexibele kolk en 'normale' kolk	87
9.13	Conclusies flexibele sluiskolk	87
10	Wegverbinding over sluis.....	88
10.1	Inleiding.....	88
10.2	Situering	88
10.3	Eisen	88
10.4	Passeer mogelijkheden wegverkeer van de sluis.....	88
10.4.1	Via beweegbare bruggen	88
10.4.2	Vaste hoge brug.....	90
10.4.3	Onderdoorgang/tunnel.....	91
10.4.4	Rijdek op de deuren.....	91
10.5	Vergelijking en keuze oeververbinding.....	92
10.6	Implementatie in verdere uitwerking.....	93
11	De deuren	94
11.1	Inleiding.....	94
11.2	Ontwerp van de deur	94
11.2.1	Uitgangspunten en randvoorwaarden	94
11.2.2	De constructie.....	95
11.2.3	Deurlengte	97
11.2.4	Breedte van de deur.....	97
11.2.5	Deurhoogte	97
11.3	Belastingen op deuren	98
11.3.1	Belastingcombinaties.....	99
11.4	Bepaling benodigde deurbreedte	99
11.5	Gevolgen verbreding op deurbreedte	100
11.6	Rijdek op deur	100
11.7	Deuroplossingen bij verbreding van de sluis.....	102
11.7.1	Verlengen van de deur.....	102
11.7.2	Nieuwe deur	103
11.7.3	Lange deur.....	103
11.8	Kosten van de verschillende deurenoplossingen	104
11.9	Deurkeuze.....	104
12	Geleiding en bewegingssysteem.....	105
12.1	Inleiding.....	105
12.2	Geleiding	105
12.3	Glijdende oplegging	107
12.4	Bewegingswerken bij twee onderrolwagens	108
12.5	Bewegingswerken voor kruiwagentype	111
12.6	Gevolgen verbreding en deurkasverlenging.....	111
12.6.1	Gevolgen voor bewegingswerken	112
12.6.2	Gevolgen geleiding.....	113
12.7	Concept oplossingen voor alternatieve plaatsing van het bewegingssysteem.....	114
12.8	Toe te passen systeem	115

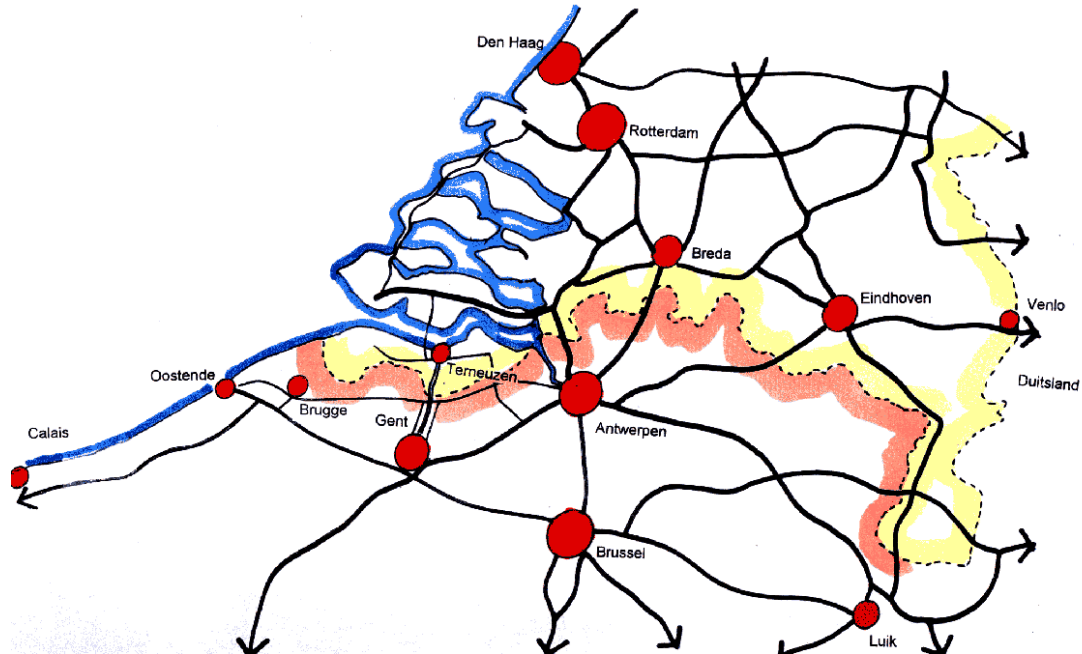
13	Vul- en ledigingssysteem	116
13.1	Inleiding.....	116
13.2	De systemen	116
13.2.1	Korte omloopriolen	117
13.2.2	Langsriolen.....	118
13.2.3	Deurvulling.....	120
13.2.4	In- en uitstroomopeningen.....	120
13.2.5	Zout/zoetscheiding met kort omloopriool	121
13.2.6	Zout/zoetscheiding met langsriool	121
13.2.7	Overige zout/zoetscheidingmogelijkheden.....	121
13.2.8	Keuze van rioolsysteem.....	122
13.3	Capaciteit vul- en ledigingssysteem.....	122
13.3.1	Troskrachtcriterium	122
13.3.2	Bepaling van vultijd van de kolk.....	122
13.4	Keuze rioolafmetingen	127
14	Het sluishoofd.....	129
14.1	Inleiding.....	129
14.2	Ontwerpaanpak en doel	129
14.3	Uitgangspunten, randvoorwaarden en eisen	129
14.4	Functies hoofd	130
14.5	Vormgeving en basisafmetingen	131
14.5.1	Basisafmetingen hoofd	132
14.6	Belastingen	137
14.7	Belastingcombinaties.....	139
14.8	Dimensionering sluishoofdelementen	139
14.8.1	De deurniswand	139
14.8.2	De buitenwanden	139
14.8.3	De tussenwand.....	140
14.8.4	De achterwand.....	140
14.8.5	De voorwand	140
14.8.6	De vloer	141
14.9	Inpassing van het bewegingssysteem en overbrugging	142
14.10	Stabiliteit hoofd	145
14.11	Schetsontwerp hoofden	147
14.12	Verbreiding van doorvaartopening hoofd.....	150
14.13	Deurniswand uitgevoerd als caisson	150
14.14	Conclusies ontwerp hoofd flexibele sluis.....	151
15	Ontwerp flexibele sluis.....	152
15.1	Overzicht van de componenten en afmetingen.....	152
15.2	Overzichtstekening flexibele sluis.....	154
16	Uitvoering en inpassing van de sluis	156
16.1	Uitvoeringsmethoden	156
16.2	Uitvoering in droge bouwput.....	156
16.2.1	Afmetingen bouwput.....	157
16.2.2	Bemaling	158
16.2.3	Inpassing.....	159
16.2.4	Uitvoering in bouwkuip.....	161
16.2.5	Gedeeltelijke ontgraving en beperkte onttrekking.....	161
16.2.6	Uitvoering in den natte	162
16.2.7	Prefabricage.....	162
16.2.8	Pneumatisch afzinken.....	162
16.3	Overzicht uitvoeringsmethoden.....	163
16.3.1	Combinaties van kolkconstructies en uitvoeringsmethode	164
16.4	Terugkoppeling uitvoering naar flexibele sluisontwerp	165
17	Kosten raming	166

17.1	Inleiding.....	166
17.2	Constructiekosten Panamax en Gelichterde Cape-Size.....	166
17.3	Kosten raming flexibele sluis	167
17.3.1	Kostenraming hoofd	167
17.3.2	Kostenraming kolk	167
17.3.3	Kostenraming systeem van omloopriolen/vul- en ledigingssyteem	168
17.3.4	Kostenraming vleugelwanden	168
17.3.5	Kostenraming deuren.....	168
17.3.6	Kostenraming overbrugging deuren.....	168
17.3.7	Kostenraming rioolschuiven en bewegingsinrichting deuren.....	168
17.3.8	Kostenraming elektrische installaties en noodstroomvoorzieningen	168
17.3.9	Kostenraming afwerking	168
17.3.10	Totale kosten flexibele sluis	168
17.4	Kosten van uitbreiding	169
17.4.1	Bouwkosten uitbreiding.....	169
17.4.2	Stremmingskosten	170
17.5	Conclusies kosten	172
18	Conclusies en aanbevelingen.....	173
18.1	Conclusies	173
18.2	Aanbevelingen.....	174
19	Literatuurlijst	175

Bijlagen: A t/m N

1 Inleiding

Terneuzen en Gent liggen in Zuid-West Nederland en in Noord-West Vlaanderen. De havens van Gent en Terneuzen zijn doormiddel van het Kanaal Gent Terneuzen met de Westerschelde verbonden. Het kanaal is via een sluizencomplex nabij Terneuzen bereikbaar voor zeeschepen. De haven van Terneuzen in Zeeuws-Vlaanderen ligt halverwege de Noordzee en Antwerpen nabij de Westerschelde, terwijl de haven van Gent ongeveer 30 kilometer landinwaarts ten zuiden van Terneuzen ligt. In de bijlage A is de situatie in de 'kanaalzone', zoals het gebied ook wordt genoemd, geschetst.



Figuur 1.1: Ligging van Gent en Terneuzen

Sluizencomplex:

Het sluizencomplex is gelegen aan de Westerschelde bij Terneuzen. De grootste sluis van het complex, de Westsluis, is geschikt voor het schutten van schepen met afmetingen van maximaal 265 meter lang 34 meter breed en een diepgang van 12,25 meter.



Figuur 1.2: Locatie sluizencomplex



Foto 1.1: Het sluizencomplex, met op de voorgrond de Westsluis

De grootste schepen die gesluisd kunnen worden en de havens aandoen hebben een tonnage van ongeveer 80.000 dwt. Naast de Westsluis liggen twee kleinere sluizen, de Middensluis en de Oostsluis, deze zijn beschikbaar voor de binnenvaart en de kleine zeevaart. Totaal worden er jaarlijks meer dan 65.000 schepen gesluisd.

Belang van de havens:

De havens van Gent en Terneuzen zijn minder bekende havens en zijn vergeleken met andere havens in West-Europa als Rotterdam, Antwerpen, Amsterdam, Hamburg relatief klein. Jaarlijks worden in de havens 32 miljoen ton aan maritieme goederen overgeslagen. De toegevoegde waarde van de havens zijn voor Gent bijna 2,4 miljard euro en voor Terneuzen 1,5 miljard euro per jaar. De gehele kanaalzone is goed voor bijna 3,9 miljard euro aan toegevoegde waarden per jaar. Na Antwerpen zorgt het gebied rond de haven van Gent voor de grootste toegevoegde waarde in Vlaanderen en is daarmee zeer belangrijk voor de Vlaamse economie. Voor Zeeuws-Vlaanderen is de haven van Terneuzen en de daaraan verbonden activiteiten en werkgelegenheid de belangrijkste economische motor. De havens verschaffen aan circa 35.000 mensen directe arbeidsplaatsen en indirect aan ongeveer hetzelfde aantal.

In het literatuurrapport worden de feiten en cijfers over de havens en het sluizencomplex gepresenteerd.

1.1 Knelpunten van de huidige situatie

Door verdere ontwikkelingen in het maritieme scheepvaartverkeer en ambities van de havens voldoet de huidige toegang niet meer aan alle eisen en wensen van de gebruikers. Verbetering van de huidige toegang is dan ook gewenst. Hiertoe zijn al diverse onderzoeken uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de operationele capaciteit van het sluizencomplex bereikt is. Het complex biedt onvoldoende ruimte voor verdere groei van de maritieme trafiek. Bij groei van de trafieken zullen de wachttijden en hiermee de congestiekosten toenemen. Het mogelijke gevolg is dat reders en verladers deze toenemende kosten niet zullen accepteren en uitwijken naar andere omliggende havens. Stagnatie van het aantal trafieken en stilstand van havenontwikkelingen betekenen meestal achteruitgang. De beperkte sluiscapaciteit is zeer nadelig voor met name de just-in-time ladingen, alsmede het feit dat er slechts één ‘poort’ beschikbaar is. De bedrijfszekerheid is dus niet optimaal. In geval van storingen, defecten, aanvaringen, enz zijn de havens niet bereikbaar.

Vooraf vanuit Vlaanderen wordt de bouw van een tweede zeesluis wenselijk geacht. De belangrijkste beperkingen en problemen van het huidige sluizencomplex en dan met name de Westsluis zijn:

- De beperkte toegang voor zeeschepen tot maximaal Panamax afmetingen.
- De capaciteit van het sluizencomplex.
- Slechts één toegang beschikbaar voor zeeschepen.
- Ouderdom van de Westsluis, 35 jaar, waardoor kans op storingen en stremmingen kunnen gaan toenemen.

Daarnaast stelt ook het kanaal beperkingen aan de bereikbaarheid van de haven van Gent met betrekking tot de maximale scheepsafmetingen. Deze zijn gelijk aan die van de sluis. Naast de uitbreiding van het sluizencomplex zijn aanpassing aan het kanaal wenselijk.

Beperkte toegang:

In de havens van Gent en Terneuzen vormen bulkgoederen de belangrijkste goederen die worden overgeslagen. Deze bulkgoederen zoals ijzererts en kolen worden met bulkschepen vervoerd. De huidige trend in met name de bulkscheepvaart is schaalvergroting. De scheepsgrootte van de in te zetten bulkschepen is een uitermate belangrijke factor voor het kostenefficiënte transport van ijzererts en kolen. Vooral op de lange maritieme afstanden en potentiële schaalvoordelen gelden hierbij als belangrijke drijfveren voor het inzetten van grote schepen. IJzererts en kolen vormen een belangrijk deel van de totale trafieken naar de haven van Gent. Voor een groot deel van de wereldbulkvloot is het echter niet mogelijk de havens aan te doen. Het niet kunnen ontvangen van de grotere schepen in de haven heeft als gevolg dat er extra handelingen noodzakelijk zijn zoals overladen en lichten van schepen. De kosten worden dus vergroot wat nadelig is voor de concurrentiepositie. Reders, bedrijven en vervoerders kunnen overwegen naar andere naburige havens te vertrekken waar de grotere schepen wel kunnen aanlopen.

Capaciteit:

In de huidige situatie heeft het sluizencomplex een maximale operationele capaciteit van maritieme goederenstromen van ongeveer 35 miljoen ton. Momenteel ligt de maritieme trafiek door de sluizen tussen de 30 en 32 miljoen ton. Dit betekent dat de maximale capaciteit bijna bereikt is en er nauwelijks ruimte is voor een toename van het goederentransport. Mogelijke gevolgen hiervan zijn langere wachttijden voor de sluis. Deze is momenteel gemiddeld twee uur. Bij een toenemend goederentransport zal deze toe kunnen nemen tot 4 uur à 5 uur, met als gevolg stijgende congestiekosten en mogelijke uitwijking naar andere omliggende havens. Ook voor just-in-time ladingen is de beperkte capaciteit met langere wachttijden nadelig.

Bedrijfszekerheid:

De havens in de kanaalzone, de havens van Gent en Terneuzen en de havens in het tussen liggende gebied langs het kanaal, zijn voor zeeschepen alleen via de Westsluis bereikbaar. In geval van stremming van de Westsluis zijn de havens in de kanaalzone dus niet meer bereikbaar en kunnen schepen in het gebied deze niet meer verlaten. De op te lopen schade is afhankelijk van de stremmingsduur. De kans op stremmingen neemt over het algemeen toe bij toenemende ouderdom van de sluis. Door het plegen van onderhoud en vervanging van onderdelen kan de levensduur verlengd worden. Echter hiervoor zal de sluis voor kortere of langere perioden buiten gebruik moeten worden gesteld met stremmingen tot gevolg. Gezien de ouderdom van de sluis, ongeveer 35 jaar, is de verwachting dat de kans op storingen en defecten naar de toekomst toe groter worden.

Keuze wel/geen sluis en de grootte van de sluis:

De grootte van de sluis bepaald direct het maximaal te schutten scheepsgrootte. In de beleidsanalyse valt de keuze op de bouw van een sluis voor het type schip van gelichterde Cape-Size formaat. De bouw van een dergelijke sluis heeft als gevolg dat het grootste deel van de wereldhandelsvloot de sluizen qua lengte en breedte kunnen passeren. De schepen zullen wel gelichter dienen te worden om de diepgang te beperken. Daarnaast zullen er kanaalaanpassingen plaats moeten vinden om de schepen toe te kunnen laten op het kanaal. Deze kanaalaanpassingen kunnen eventueel, los van de sluis, op een later tijdstip worden uitgevoerd. Deze ingrepen bestaan uit het vervangen van bruggen door tunnels en

het verruimen van enkele bochten. Indien geen kanaalaanpassingen uitgevoerd zullen worden, zal de nieuw te bouwen sluis alleen dienen ter ontlasting van de huidige Westsluis.

De keuze voor een gelijkwaardige sluis aan de huidige Westsluis zal alleen dienen ter ontlasting van deze sluis. Aan de wens om grotere schepen toe te laten wordt niet tegemoet gekomen. De sluis zal echter wel goedkoper zijn om te bouwen en kanaal aanpassingen zijn niet direct noodzakelijk.

De bouw van een sluis geschikt voor schepen van Cape-Size formaat heeft als voordeel dat de schepen niet meer gelichter hoeven te worden, op voorwaarde dat het kanaal ook wordt aangepast. Hiervoor zijn echter ingrijpende ingrepen aan het kanaal noodzakelijk.

De keuze van een kleiner type sluis (gelijk aan de huidige) of helemaal geen extra sluis kan er toe leiden dat bepaalde industrieën zoals de staalindustrie minder zullen gaan investeren en op den duur mogelijk geheel of gedeeltelijk zullen worden verplaatst naar andere havens. Dit heeft weer een negatieve invloed op bedrijven in de haven die verbonden zijn met deze bedrijfstak. Over het algemeen wordt gesteld dat stilstand in de havenontwikkelingen achteruitgang betekenen. De extra sluis gelijk aan de bestaande kan wel weer zorgen voor het aantrekken van goederenstromen waarvoor geen grotere sluis vereist is maar wel een betrouwbare toegang.

De huidige toegang beperken de havens tevens om door te kunnen groeien naar een doorvoerhub naar het achterland. Dit ondanks de gunstige positie en de centrale ligging van de havens ten opzichte van het Europese achterland, zoals Noord Frankrijk met Parijs, België en Duitsland.

Een nieuwe sluis van hetzij Panamax, Post-Panamax of (gelichterde) Cape-Size lijkt de oplossing voor het probleem. Uit eerdere onderzoeken naar een nieuwe sluis gedaan in ‘Beleidsanalyse voor de modernisering van de maritieme toegang tot de havens van Gent en Terneuzen’ werd de voorkeur uitgesproken voor een sluis van gelichterde Cape-Size formaat. Toch is het maar de vraag of een dergelijke sluis werkelijk de meest geschikte oplossing is. Daarom is ook gekeken naar alternatieven voor een sluis. Deze alternatieve oplossingen zijn in de bijlage B gepresenteerd. In het volgende hoofdstuk worden in een kort perspectief de drie sluisalternatieven toegelicht.

2 Keuze van de sluis grootte

2.1.1 Sluistypen

De keuze voor de een bepaald sluistype is niet eenvoudig te maken, maar is wel van belang aangezien deze in belangrijke mate de toekomstige ontwikkeling en de mogelijkheden van de kanaalzone kan bepalen. De vier alternatieven voor het formaat van de nieuwe sluis zijn:

- Panamax (lengte*breedte* diepgang $\approx 400*40*14$)
- Post-Panamax ($\approx 425*45*16$)
- Gelichterde Cape-Size ($\approx 450*60*18$)
- Cape-size ($\approx 450*60*20$)

De bouw van een sluis voor volledig geladen Cape-Size schepen is echter economisch niet te rechtvaardigen, omdat voor deze schepen een grote diepgang nodig is. Deze diepgang is noch op de Westerschelde noch in het kanaal aanwezig. De maximale diepgang van schepen die Terneuzen binnen één getij kunnen bereiken is, na voltooiing van de verdiepingswerkzaamheden op de Westerschelde 16 meter (Bron: Langetermijnvisie Schelde-estuarium). Verdere verdieping van de Westerschelde in de toekomst is niet waarschijnlijk. Voor volledig afgeladen Cape-Size schepen is het dus niet mogelijk Terneuzen te bereiken.

De overige drie sluis alternatieven zullen hierna volgend elk behandeld worden. Per sluistype worden de belangrijkste voor- en nadelen genoemd. Vervolgens komen de economische aspecten aan bod en worden globaal de kosten en de baten bepaald en naast elkaar gezet. Daarna volgt een overzicht welke sluis de voorkeur geniet per havenactiviteit.

2.1.2 Panamax sluis

Deze variant bestaat uit de bouw van een tweede sluis van dezelfde orde grootte als de bestaande sluis. De globale kolkafmetingen voor dit type sluis zijn een lengte van 400 m, een breedte van 40 meter en een diepte van 14 m zodat de maximale diepgang voor schepen 12,25 m is. Voordelen van een sluis van het type Panamax t.o.v. de andere twee sluistypen zijn:

- Goedkoper te bouwen.
- Eerder beschikbaar door kortere bouwtijd.
- Kanaalaanpassingen zijn niet direct noodzakelijk, echter om de volledige capaciteit van het sluizencomplex te kunnen benutten is één extra wacht/passeerplaats noodzakelijk.
- Inpassing in omgeving.

Nadelen en/of beperkingen die genoemd kunnen worden zijn:

- Geen besparing lichterkosten.
- Havens niet bereikbaar voor grotere schepen, geen schaalvoordelen.
- Inspelen op toekomstige ontwikkelingen en expansie m.b.t. scheepsgrote zijn niet mogelijk.

2.1.3 Post-Panamax sluis

De afmetingen van deze sluis zijn ongeveer 425 m lang, 45 m breed en 16 m. Dit sluis type bevindt zich tussen de Panamax en Cape-Size in, qua kosten, bouwtijd. Ook voor deze sluis zijn kanaalaanpassingen noodzakelijk, hoewel minder ingrijpend, om de volledige capaciteit te kunnen benutten. Nadat deze kanaalaanpassingen hebben plaatsgevonden zijn besparingen op de lichterkosten te behalen. De voordelen door schaalvoordelen zijn beperkter. Door het relatief kleine aandeel van Post-Panamax schepen in de wereldbulkvloot is de extra ruimte en kosten die een type Post-Panamax sluis inneemt ten opzichte van een type Panamax sluis daardoor minder effectief en heeft derhalve een beperkte meerwaarde.

2.1.4 Gelichterde Cape-Size sluis

De afmetingen van de sluis zijn ongeveer 450 m lang, 60 m breed en 18 m diep.

Voordelen t.o.v. de kleinere sluistypen zijn:

- Een belangrijk deel van de wereldbultvloot kan de sluizen passeren.
- Schaalvoordelen en besparing lichterkosten, echter alleen na kanaalaanpassingen.
- De oplossing is toekomstvast.

Nadelen zijn:

- Grotere investering.
- Later beschikbaar door langere bouwtijd.
- Volledige capaciteit van de sluis pas te benutten na aanpassing van het kanaal.
- Grotere zoutlast op kanaal.
- Inpassing bestaande in omgeving.

2.1.5 Economie

Alle drie de sluisoplossingen hebben een positieve invloed op de concurrentiepositie van de kanaalzone en het aantrekken van meer havenactiviteiten. In de diverse studies/prognoses gaat men van een zelfde stijging van het goederenverkeer uit, ongeacht het sluisstype.

2.1.6 Belanghebbende industrieën en bedrijven

De havens in de kanaalzone in het algemeen zullen profiteren van de capaciteitsuitbreiding van het sluizencomplex. Echter niet voor elke bedrijfstak en industrie is het noodzakelijk dat deze uitbreiding plaatsvindt in de vorm van een Cape-Size sluisstype en een kanaalaanpassing. Onderstaand volgt een overzicht van de belangrijkste bedrijfstakken en industrieën die momenteel in de kanaalzone gevestigd zijn en bij welk sluisstype zij het meest gebaat zijn.

Industrie	Belangrijkste bedrijven	Producten en goederen	Sluisstype	Gebaat bij aanpassing kanaal
Staal	Sidmar	IJzererts en staal kolen	Cape-Size	Ja
Energie	Electrabel	Kolen	Cape-Size	Ja
Automobiel	Volvo, Honda	Auto's Trucks	Panamax/ Post-Panamax	Beperkt
Agriproducten	Vamo Mills overige	Granen, veevoeders	Panamax/ Cape-size	Beperkt
Chemicaliën en petroleumproducten	O.a: Dow Chemicals, BP Belgium, Fina, enz	Diverse	Panamax	Nee
Forrest products	Verbrugge, Stora	Houtproducten, pulp, papier en karton	Panamax	Nee
Meststoffen	O.a: Zuidchemie, Rhodia	Kunstmest, zwavelzuur, enz	Panamax	Nee
Fruitsappen	Coolstores	Sinaasappelsap	Panamax	Nee
Overig		Machines, (containers)	Panamax	Nee

Tabel 2.1: Havenactiviteiten/bedrijven en belang van sluisuitbreiding

Staal en energie:

De staalindustrie en dan met name het staalbedrijf Sidmar is het meest gebaat bij een uitbreiding in de vorm van een gelichterde Cape-Size voor zowel sluis als kanaal. Daarnaast kan ook Electrabel voordeel behalen bij de aanvoer van kolen voor de kolencentrale. De totale baten of besparing tot 2032, voor zowel kolen als erts, wordt geraamd op 353 miljoen voor het kunnen ontvangen van de grotere kolen- en ertsschepen. De gevolgen van een uitbreiding in de vorm van een kleinere sluis zijn moeilijk in te schatten.

Automobiellindustrie:

De grootste autoschepen hebben een breedte van 33 meter. Deze schepen kunnen nog gebruik maken van de huidige Westsluis. Een extra sluis van gelijke grootte hieraan voldoet dus. Echter bij een schaalvergroting van deze schepen is de grens al snel bereikt. Een bredere kolk is daarom wenselijk. Daarnaast biedt een bredere kolk voordelen bij het in- en uitvaren en kan bij hogere windsnelheden gesloten worden. De lengte en diepgang van een sluis van Panamax formaat leveren geen beperkingen op. Voor het toelaten van bredere schepen zullen mogelijk ook enige kanaalaanpassing moeten plaatsvinden.

Agriproducten:

Momenteel heeft de haven van Gent een relatief groot aandeel in de behandeling van agriproducten, met name granen, ten opzichte van andere havens in de Le-Havre Hamburg range. Er is een toename te zien in het aantal schepen in de klasse 100.000-150.000 dwt die ingezet worden op de vaart naar Europa. In hoeverre deze trend zich zal doorzetten, is niet bekend. De bouw van een grotere sluis biedt extra perspectieven voor het uitbreiden van de activiteiten. Echter bijna 75 % van de huidige in gebruik zijnde schepen hebben een tonnage van 80.000 dwt en lager.

Overige industrieën:

Voor de overige industrieën en bijbehorende goederenstromen is een grotere sluis dan een Panamax, niet noodzakelijk. Vrijwel de gehele wereldhandelsvloot die ingezet wordt voor de aan- en afvoer van deze goederenstromen kunnen de havens probleemloos bereiken.

2.1.7 Kosten*Zonder kanaaluitbreiding:*

De bouwkosten, geraamd door het Vlaamse Departement Leefmilieu en Infrastructuur, van de sluis zelf zijn ongeveer 300 miljoen Euro voor een gelichterde Cape-Size type, 250 miljoen voor Post-Panamax en ongeveer 200 miljoen voor een Panamax sluis. Hierbij is uitgegaan van een vergelijkbare sluis als de huidige Westsluis, met een zelfde zout/zoetscheidingsysteem en riolensysteem.

Daarnaast zijn er ook investeringen nodig voor het uitbaggeren van o.a. de voorhaven en toegang naar de voorhavens. Deze kosten variëren van 340 miljoen tot 477,5 miljoen voor de verschillende scenario's voor de verwerking van het vrijkomende (verontreinigde) grond.

Het scenario waarbij een deel van de vrijkomende grond wordt verkocht is netto het goedkoopst en geniet de voorkeur. De andere twee scenario's bestaan uit het zand in zee storten of in een zanddepot op het land.

De investeringskosten voor de diverse alternatieven zijn (*1.000.000 euro)

Sluistype:	Sluis zelf	Baggeren/ontgraven	Diverse overige kosten 15%	Totaal
Panamax	200	340 – 477,5	81 – 101,6	621 – 779
Post-Panamax	250	340 – 477,5	88,5 – 109,1	679 – 837
Gelichterde Cape-Size	300	340 – 477,5	96 – 116,6	736 – 894

Tabel 2.2: Investeringskosten sluisalternatieven.

Voor alle sluisstypen zijn voor de baggerwerkzaamheden en speciebergings dezelfde kosten aangehouden. Voor de Post-Panamax en zeker voor de Panamax zullen deze kosten enigszins lager uitvallen aangezien de hoeveelheden te ontgraven en vrijkomende grond kleiner zijn.

Met kanaaluitbreiding:

De totale kosten van een sluis voor Cape-Size schepen in combinatie met een kanaaluitbreiding zijn geraamd op 1,8 miljard tot 2 miljard Euro, afhankelijk van keuze van het baggeren en specieverwerking. Hierbij zijn de extra kosten voor het vervangen van de bestaande oeververbindingen niet meegenomen, waarbij twee bruggen moeten worden vervangen door twee tunnels en twee

bruggen geheel zullen verdwijnen. Het verplaatsen van bestaande infrastructuur zoals langs het kanaal lopende wegen zijn ook niet in de raming meegenomen. Daarnaast zullen er woonbebouwing langs het kanaal moeten worden geamoveerd, wat maatschappelijke problemen met zich meebrengt.

De kanaalaanpassingen voor Post-Panamax schepen zijn eveneens niet zonder gevolgen. Ook hier zullen enkele woningeenheden moeten worden geamoveerd en zal de bestaande infrastructuur verplaatst en/of vervangen worden. Een tweetal bruggen in de kernen Sas van Gent en Zelzate kunnen behouden blijven. De overige bruggen zullen eveneens vervangen moeten worden door tunnels.

2.1.8 Baten

De baten die een extra sluis zonder kanaalaanpassingen tot gevolg hebben zijn:

- De werkgelegenheid bij constructie en onderhoud.
- Vermeden congestiekosten, dus de tijdwinst voor schepen en de goederen.
- Haveninkomsten, zoals havenrechten, binnenvaartrechten en concessiegelden.
- Extra werkgelegenheid bij goederenbehandelingen en industrieën.

Voor een gelichterde Cape-Size komen hier de schaalvoordelen en besparing lichterkosten nog bij, echter alleen in samenhang met kanaalaanpassingen. Aanpassingen aan het kanaal betekenen niet dat er extra industrie of goederen aantrokken wordt. De reden hiervoor is dat het sluisencomplex de belangrijkste beperkende factor is in de capaciteitsgroei. Het huidige kanaal heeft, bij de komst van één extra passeerplaats, voldoende capaciteit om het scheepvaartverkeer welke voorspeld is voor 2030 te accommoderen (Bron: Heacon). Het kanaal vormt alleen een beperking voor het kunnen ontvangen van grotere en dieper stekende schepen.

In onderstaande tabel zijn de baten weergegeven. Hierbij is uitgegaan van het regionale perspectief, wat betekend dat de baten de aan niet-Nederlandse/Vlaamse stakeholders/eigenaren niet worden meegenomen.

Totale baten in miljoenen Euro's over 30 jaar.

Baten:	Gelichterde Cape-Size
Werkgelegenheid constructie en onderhoud	€ 199,2
Vermieden congestiekosten Zee- en binnenvaart	€ 314,5
Haveninkomsten Zee- en binnenvaart	€ 635
Extra werkgelegenheid en maritieme activiteiten	€ 491
Totaal:	€ 1.639,7

Bron: Economische analyse KPMG

Tabel 2.3: Baten sluis van Gelichterde Cape-Size.

De additionele baten bij een kanaaluitbreiding, bestaande uit schaalvoordelen en besparing lichterkosten, zijn 353 miljoen Euro totaal over een periode van 30 jaar.

Voor zowel de Panamax als Post-Panamax alternatief kunnen dezelfde baten aan worden gehouden, met uitzondering van de baten voor werkgelegenheid constructie en onderhoud. Deze zullen enigszins lager uitvallen door de beperktere omvang van het bouwproject, maar zij maken een relatief kleiner deel uit van de totale baten van €1,64 miljard. Daar staat tegenover dat de baten eerder gegenereerd kunnen worden door de korte bouwtijd.

De voor de verschillende sluisstypen vrijwel gelijk blijvende baten zonder de kanaalaanpassingen wordt veroorzaakt doordat het sluisencomplex na de bouw van de nieuwe zeesluis niet meer de beperkende factor is voor de bereikbaarheid van de havens, maar het kanaal.

2.1.9 Sluiskeuze

Een gelichterde Cape-Size sluis in combinatie met kanaalaanpassingen is een investeringsoptie waarbij de kosten (1,8 – 2 miljard Euro exclusief vervangen oeververbindingen) en de baten (2 miljard) vrijwel met elkaar in balans zijn. De bouw van deze sluis zonder de kanaalaanpassingen is, volgens de economische analyse door KPMG, een meer rendabele investering. Deze optie biedt ook goede mogelijkheden om in te kunnen spelen op toekomstige veranderingen, welke nu nog niet te voorzien zijn. Echter om de volledige capaciteit te kunnen benutten zijn er wel ingrijpende kanaalaanpassingen noodzakelijk die een investering vragen van ruim 1 miljard euro aan kanaalaanpassingen, dit is exclusief de vervanging en/of verplaatsing van bestaande infrastructuur. Daarnaast zijn de maatschappelijke gevolgen, zoals het amoveren van wooneenheden langs het kanaal en het verdwijnen van oeververbindingen en de ecologische gevolgen, zoals verzilting, groter dan bij de andere twee sluisstypen. Op korte en middellange termijn zit een uitbreiding van het kanaal er niet in en is een sluis van het type gelichterde Cape-Size dus niet noodzakelijk.

Tot slot kan opgemerkt worden dat een gelichterde Cape-Size sluis slechts voor een beperkt deel van aanwezige industrieën en bedrijven in de kanaalzone van belang is, met name de staal. Deze staalindustrieën zorgen wel voor het grootste deel van de toegevoegde waarden van de kanaalzone. Voor de overige industrieën voldoet een extra sluis gelijk aan de huidige Westsluis.

Om deze redenen kan de gelichterde Cape-Size sluis als minder goede oplossing gezien worden voor de verbetering van de maritieme toegang.

De overige twee sluisstypen Panamax en Post-Panamax verschillen onderling niet veel qua afmetingen, met name het verschil in lengte is gering. Gezien het beperkte aandeel van Post-Panamax schepen in de wereldhandelsvloot, met een gewichtsklasse tussen de 80.000 en 100.000 dwt, de lagere bouwkosten en het achterwege kunnen blijven van ingrijpende kanaalaanpassingen lijkt een Panamax-sluis een logische keuze.

Echter indien nu gekozen gaat worden voor een Panamax-sluis liggen de toekomstige ontwikkelingen van de havens in de kanaalzone voor een lange tijd vast en is de mogelijkheid om in te spelen op toekomstige veranderingen vrij beperkt. Zondermeer staat vast dat ruimte voor een derde grotere zeesluis niet meer voor handen is, mocht deze noodzakelijk zijn. Aanpassen en/of sloop van een bestaande sluis is geen een optie vanwege de langdurige stremming van het (maritieme) scheepvaartverkeer omdat er voor langere tijd slechts één sluis beschikbaar is. Dit maakt het thans bepalen van de sluisafmetingen tot een lastige opgave.

3 De flexibele sluis

3.1 Aanleiding

De dimensies van een sluis is een afweging welke gemaakt wordt op diverse aspecten zoals economie, techniek en de maatschappij. Kiezen voor bepaalde sluisafmetingen betekent een afweging tussen kosten en baten maar ook tussen hetgeen wenselijk is en wat (economisch) haalbaar is. Vanuit de perspectief van de haven van Gent is een gelichterde Cape-Size sluis wenselijk, maar heeft op basis van de kosten en de baten een beperkte haalbaarheid. Ook zijn de maatschappelijke gevolgen ingrijpender.

In hoofdstuk 2 is naar voren gekomen dat op basis van de investeringskosten en de daarbij horende baten een sluis van Panamax formaat de meest voor de hand liggende keuze is. Daar komt bij dat een grotere sluis niet optimaal benut kan worden door de beperkingen die het kanaal oplegt. De grotere sluis is dan ook niet efficiënt in gebruik zonder grootschalige kanaalaanpassingen. Het daadwerkelijk tot uitvoering komen van deze kanaalaanpassingen in de toekomst is allerm minst zeker.

In de huidige situatie en op korte en middenlange termijn is de noodzaak van een grotere sluis niet duidelijk aanwezig. Op langere termijn is dit mogelijk wel het geval. De toekomstige ontwikkelingen, met name op langere termijn, zijn moeilijk in te schatten. De inzet van schepen wordt bepaald door de marktwerking en de wereldwijde economische omstandigheden. Thans nog niet te voorziene ontwikkelingen kunnen bijvoorbeeld leiden tot de inzet van grotere schepen. Voor een haven is het belangrijk hier op te kunnen inspelen om verlies aan goederenstromen en gebruikers te voorkomen.

Ter plekke is ruimte voor slechts één extra nieuwe sluis. Deze sluis bepaald mede de maximale scheepsomvang die de havens in de kanaalzone kunnen bereiken. Hiermee zijn de ontwikkelingen van de havens in de kanaalzone voor een lange tijd vastgelegd en de mogelijkheden beperkt om op veranderingen in te spelen. Een derde grotere zeesluis is echter niet meer mogelijk wegens ruimtegebrek. Aanpassing van de huidige Westsluis, in plaats van een derde zeesluis, zal waarschijnlijk leiden tot een dure oplossing en bovendien tot een ongewenste langdurige stremming van de sluis.

3.2 Flexibele zeesluis als nieuwe maritieme toegang

Een mogelijke oplossing waardoor de besluitvorming omtrent de keuze van de sluisafmetingen vereenvoudigen is de nieuwe zeesluis uit te voeren als een flexibele sluis. Met andere woorden een nieuwe tweede zeesluis die mee kan groeien/aanpasbaar te maken is aan de toekomstige ontwikkelingen. In dit geval een sluis van Panamax-formaat die relatief eenvoudig en tegen geringe kosten uit te breiden is naar een grotere sluis, zodat langere, bredere en diepere schepen de haven kunnen bereiken. De in de toekomst te verrichten aanpassingen zullen op dusdanige wijze kunnen worden uitgevoerd dat zo min mogelijk hinder en stremming van de scheepvaart ontstaat gedurende de uitbreidingsfase.

Een dergelijke sluis zal alleen interessant zijn indien de bouwkosten niet veel hoger zullen uitvallen als de bouw van een normale sluis van gelijke grootte. Daarnaast mogen de uitbreidingskosten ook niet zodanig groot zijn dat de totale kosten van de bouw van een Panamax-sluis + de toekomstige uitbreidingskosten veel hoger zijn dan de bouwkosten van een grotere sluis dan Panamax-sluis.

Mogelijke voordelen die een uit te breiden sluis van Panamax-formaat kan bieden t.o.v. een grotere sluis en een normale sluis zijn:

- Directe investeringen zijn lager dan die van een grotere sluis dan een Panamax-sluis, waardoor mogelijk ook de besluitvorming over het wel of niet bouwen wordt vereenvoudigd.
- Capaciteit van sluis wordt beter benut.
- Er kan ingespeeld worden op toekomstige trends en ontwikkelingen, zoals bijvoorbeeld schaalvergroting van de scheepvaart.

- Geen onnodige grote investering waarvan niet (direct) volledig gebruik van kan worden gemaakt. Immers kanaaluitbreidingen in de toekomst zijn hoogst onzeker, mede door toekomstige ontwikkelingen, zoals bijvoorbeeld betere samenwerking tussen havens waardoor grotere schepen die alleen mainports aandoen en kanaaluitbreidingen onnodig maken.

Nadelen die genoemd kunnen worden zijn:

- Kosten zijn waarschijnlijk hoger dan van ‘‘gewone’’ sluis, er zullen extra investeringen en voorzieningen nodig zijn om de uitbreiding in toekomst mogelijk te maken.
- De uitbreidingsmogelijkheid is gebonden aan beperkingen als gevolg van in het verleden gemaakte keuzes.
- Tijdens de uitbreidingsfase is de sluis tijdelijk buiten gebruik.
- Extra ruimte reservering naast sluis voor eventuele uitbreiding noodzakelijk.

3.3 Wat is er anders aan een flexibele sluis?

Het aanpassen van sluizen betreft normaal gesproken een renovatie of reconstructie van de sluis. Een renovatie wordt uitgevoerd om de levensduur te verlengen zonder extra functionaliteit aan de sluis toe te voegen. Betreft het een reconstructie dan wordt zowel de levensduur verlengt als mede de functionaliteit aangepast aan de nieuw gestelde eisen. Een reconstructie is dan ook de meest ingrijpende ingreep. Voorbeelden van nieuwe eisen zijn:

- Grotere kerende hoogte door veranderde randvoorwaarden;
- Grotere schepen;
- Meer schepen;
- Spuifunctie in het kader van waterbeheer.

Een belangrijk verschil tussen reconstructies in het algemeen en de sluisuitbreiding in dit geval is dat reconstructie plaats vindt bij oudere sluizen die zowel qua levensduur als functionaliteit niet meer voldoen. Bij de uitbreiding is er sprake van een soort economische levensduur, de sluis voldoet niet meer aan de gewenste functionaliteit. De technische levensduur is echter vele malen langer, meestal 100 jaar voor het civiel technische deel, en is dan normaal gesproken nog lang niet bereikt.

Technisch/constructief gezien is aanpassing nog niet noodzakelijk. Er is dus alleen sprake van verandering van het programma van eisen. Namelijk het mogelijk maken dat bijvoorbeeld bredere schepen kunnen worden geschut, omdat deze wereldwijd meer en meer ingezet worden bij het vervoer van een voor de kanaalzone belangrijke goederenstroom.

Een reconstructie kent de volgende beperkingen:

- Huidige sluis geldt als uitgangspunt, het ontwerp is zodanig dat aanpassen van de functionaliteit slechts beperkt mogelijk is. Veranderingen aan hoofdafmetingen zijn wel mogelijk, maar alleen tegen hoge kosten.
- Sluis wordt gestremd: in geval van functionaliteitsveranderingen is stremming onvermijdelijk. Veranderingen aan hoofdafmetingen zijn ingrijpend waardoor de tijdsduur van de stremming langdurig is. In geval van het sluizencomplex bij Terneuzen is een langdurige stremming niet wenselijk

In bestaande sluizen en sluisontwerpen wordt geen rekening gehouden met de mogelijkheid van uitbreiding van de sluis in de toekomst. Aanpassen van de sluis heeft dan ook grote gevolgen of is zelfs niet mogelijk. Mocht uitbreiding noodzakelijk zijn, dan betekent dit meestal dat er een tweede, vaak grotere sluis bij komt indien de ruimte beschikbaar is. Anders zal de bestaande sluis geheel of grotendeels moeten worden vervangen door een nieuwe sluis, met langdurige stremmingen tot gevolg. Bij een flexibele sluis moet een verandering aan één of meerdere hoofdafmetingen op relatief eenvoudige manier mogelijk zijn, zonder langdurige en ongewenste stremmingen tot gevolg hebbende.

3.4 Onderzoeksvragen en doelstelling

Om een beeld te krijgen of een flexibele sluis een haalbaar en een interessant alternatief vormt voor een ‘standaard’ sluis zal de flexibele sluis verder worden uitgewerkt. Geprobeerd wordt antwoord te geven op de volgende vragen:

- Welke aanpassingen aan het sluisontwerp zijn er mogelijk/noodzakelijk om uitbreiding mogelijk te maken?
- Uitvoerbaarheid van deze oplossingen?
- Kosten en baten?
- Meer kosten flexibele sluis tegenover ‘standaard’ sluis, is een flexibele sluis een interessant alternatief voor een ‘standaard’ Panamax sluis?
- Is een flexibele sluis een interessant alternatief voor een gelichterde Cape-Size sluis?
- Keuze tussen verbreden, verdiepen, verlengen of combinatie?
En wat is een betere optie/ goedkoper:
 - Verbreden in toekomst of direct kiezen voor bredere sluis?
 - Verdiepen in toekomst of direct kiezen voor diepere sluis?
 - Verlengen in toekomst of direct kiezen voor langere sluis?

Doelstelling:

Onderzoek naar de mogelijkheid en de haalbaarheid van een nieuwe zeesluis bij Terneuzen waarvan de hoofdafmetingen op relatief eenvoudige wijze kunnen worden aangepast (aan toekomstige veranderingen) zodat grotere schepen kunnen worden gesluisd ter verbetering van de maritieme bereikbaarheid van het kanaal van Gent naar Terneuzen.

3.5 Opzet uitwerking

Voordat begonnen wordt met de uitwerking van de flexibele sluis zal eerst een beeld worden geschetst van de te volgen route. Deze begint met het beschrijven van de te vervullen functies en het inventariseren van de eisen die aan de sluis gesteld worden om deze functies mogelijk te maken. Deze functies worden vervolgens in het programma van eisen vertaald naar eisen. Dit P.v.E geldt als uitgangspunt voor het ontwerp.

Ter vereenvoudiging van de uitwerking wordt het systeem ‘sluis’ opgesplitst in componenten. Het geheel van componenten vormen samen het systeem de sluis, welke als geheel de verschillende functies zal kunnen vervullen. De belangrijkste componenten zullen in aparte hoofdstukken nader worden beschouwd, waarbij onder andere gekeken wordt naar de specifieke functies van de component en de verschillende verschijningsvormen.

Bij het uitwerken van de flexibele sluis zal worden uitgegaan van een sluis van Panamaxformaat. De toekomstige uitbreiding moet het mogelijk maken dat gelichterde Cape-Size schepen gesluisd kunnen worden. Hierbij zal met name worden gekeken naar de gevolgen van een verbreding van de sluis. Hierbij zal ingegaan worden op de verschillende sluiscomponenten en de beperkingen van de bestaande sluisconstructies op de flexibiliteit en welke aanpassingen er noodzakelijk zijn om een uitbreiding mogelijk te maken zonder gedeeltelijke sloop ervan. Hiertoe zullen er oplossingsconcepten worden gepresenteerd voor de diverse componenten als het hoofd, deuren en kolk.

Tot slot vormen de kosten een belangrijke, zo niet, een alles bepalend aspect voor het wel of niet uitvoeren van een ontwerp. Een aanpasbare sluis zal alleen interessant zijn indien de bouwkosten niet veel hoger zullen uitvallen als de bouw van een normale sluis van gelijke grootte. Daarnaast mogen de uitbreidingskosten ook niet zodanig hoog zijn dat de totale kosten van de bouw van een Panamax-sluis + de uitbreidingskosten veel groter zijn dan de bouwkosten van een grotere sluis dan Panamax-sluis.

Met betrekking tot de haalbaarheid van de flexibele sluis zal voor zover in dit afstudeeronderzoek mogelijk is de kosten van de verschillende sluiscomponenten en/of oplossingen worden bepaald en zonodig geschat aan de hand van kosten van vergelijkbare sluisen. De aldus bepaalde kosten van de

flexibele sluis zullen worden vergeleken met de geraamde kosten voor “gewone” sluizen, dit zijn de Panamaxsluis en de gelichterde Cape-Size sluis. Voor deze sluizen zijn in het kader van het eerder uitgevoerde onderzoek naar de noodzaak en haalbaarheid van een nieuwe zeesluis is gedaan in de rapporten: “Beleidsanalyse voor de modernisering van de maritieme toegang tot de havens van Gent en Terneuzen”, en “Economische analyse van de maritieme toegang tot de havens van Gent en Terneuzen” de bouwkosten bepaald.

4 Functies en componenten van de sluis

4.1 Inleiding

Een schutsluis is een sluis bestaande uit een aan weerszijden door deuren afgesloten binnenruimte, waardoor vaartuigen kunnen worden geschut. (Van Dale). In deze omschrijving komen al enige kenmerken, de functies het schutten en doorlaten van vaartuigen naar voren, maar geeft geen compleet beeld van de schutsluis. In geval van de nieuwe schutsluis ter verbetering van de (maritieme) toegang naar de kanaalzone zijn immers meerdere functies te vervullen. Deze zullen hier nader worden gedefinieerd.

4.2 Functies van de sluis

Voor het doen plaatsvinden van de processen worden de volgende belangrijkste (hoofd)functies, welke de nieuwe sluis moeten kunnen vervullen, gedefinieerd:

- Scheepvaartfunctie
- (Water)Keringsfunctie
- Waterbeheerfunctie
- Verbindingsfunctie droge infrastructuur

4.2.1 Scheepvaartfunctie

Een schutsluis is primair bedoeld als een voorziening waardoor schepen in staat zijn vaarwater te bereiken met een ander niveau dan het water waarin ze zich bevinden. De werkwijze is in het schutproces uiteengezet. Voorwaarden die gesteld worden zijn dan ook:

- de mogelijkheid van het doorlaten van schepen,
- het overwinnen van een hoogteverschil

Daarnaast moet voorkomen worden dat schepen in contact komen met de bodem, hetzij niet droog mogen komen te liggen.

De functie kan dan ook als volgt omschreven worden: Het doorlaten van schepen en het verticaal transporteren van schepen in drijvende toestand van het ene waterniveau naar het andere waterniveau.

4.2.2 (Water)Keringsfunctie

Uit de voorgaande functie is al naar voren gekomen dat de schutsluis zich bevindt op de overgang tussen twee wateren met een verschillend waterniveau. In dit geval betekent dit dat onder normale gebruiksomstandigheden kanaalwater gekeerd moet worden tijdens de laagwaterstand op de Westerschelde en andersom tijdens het hoogwater ter voorkoming van het binnenstromen van water uit de Westerschelde het kanaal in. Daarnaast moet de kering gewaarborgd zijn ten behoeve van de veiligheid tegen overstroming gedurende stormvloed, zoals vast gelegd in de o.a. de Wet op de Waterkeringen.

Functieomschrijving: Het keren van water onder alle omstandigheden welke zijn vastgelegd in de geldende wetten en gestelde eisen

4.2.3 Waterbeheerfunctie

Het beheren van water heeft betrekking op het kanaal Gent Terneuzen. Hieronder valt het beperken van de zoutlast op het kanaal evenals het beperken van het zoetwater verlies in droge periodes met weinig aanvoer van water van op het kanaal aansluitende rivieren en beken. Daarnaast kan deze functie inhouden dat eventueel overtollig water gespuid dient te worden om wateroverlast te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Deze functie spuien is in dit geval niet nodig aangezien in de huidige situatie ruim voldoende spuicapaciteit aanwezig is, via de drie bestaande sluizen. Deze capaciteit blijft voorhanden bij de komst van een nieuwe sluis.

Functieomschrijving: Beperken van de zoutbelasting op het kanaal en het voorkomen van grote zoetwater verliezen in perioden met een lage kanaalafvoer.

4.2.4 Verbindingsfunctie

Naast de scheepvaartfunctie zal de sluis ook ten aanzien van de droge infrastructuur zijn rol moeten vervullen als verbinding tussen de oostoever en de westoever van het kanaal. Onder de droge infrastructuur wordt verstaan wegen, kabels en leidingen. In de huidige situatie vormen de bruggen over de bestaande sluizen een doorgaande verbinding tussen Terneuzen en Hoek en zijn tevens een belangrijke verbinding van Terneuzen naar het Chemische bedrijf Dow Chemicals. Daarnaast is de verbinding van belang voor de hulpdiensten. Het wegverkeer zal dus ter plaatse moeten kunnen passeren.

Functieomschrijving: Het (ongehinderd) laten passeren van het wegverkeer en de droge infrastructuur zoals kabels en leidingen.

In het programma van eisen zullen bovenstaande functies zowel kwalitatief als kwantitatief ingevuld in de vorm van eisen.

4.3 Het systeem sluis

Het gehele systeem zal de genoemde functies moeten kunnen vervullen. Het ontwerpproces bestaat dan ook uit het vertalen van deze hoofdfuncties naar een vorm voor het systeem. In dit geval is het systeem de sluis. Echter het systeem is te complex om het als één geheel te kunnen uit te werken en te ontwerpen. Om het ontwerpproces overzichtelijk te houden wordt het systeem de sluis in componenten uitgesplitst. De te onderscheiden componenten waaruit de sluis bestaat zijn:

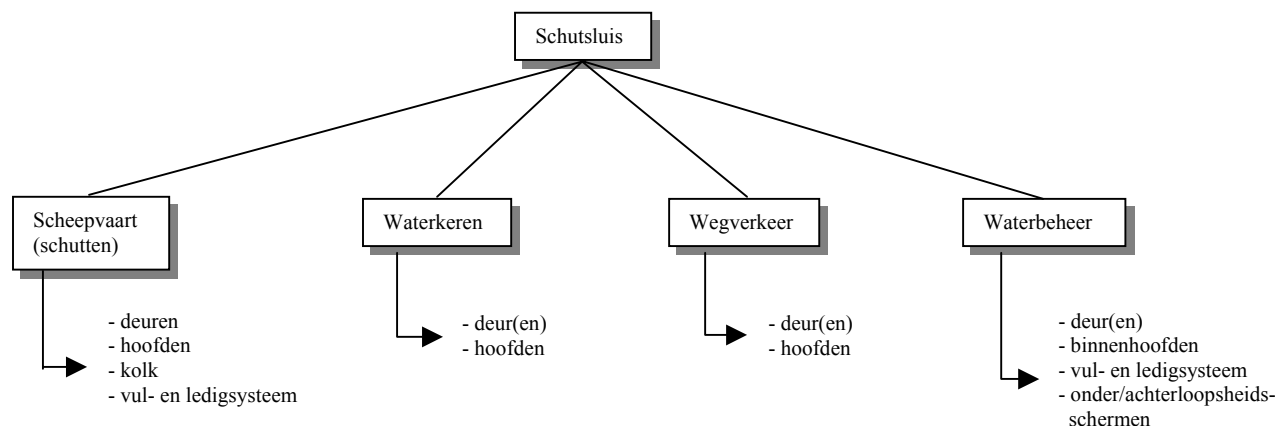
- De afsluitmiddelen/deuren.
- Het buitenhoofd.
- Het binnenhoofd.
- De kolk.
- Het vul- en ledigingsysteem.
- Onder- en achterloopsheidschermen.
- Aanvaar- en beschermingsconstructies.
- Aan- en afmeervoorzieningen.

Daarnaast zijn nog de volgende componenten te onderscheiden welke geen onderdeel vormen van de sluis zelf maar zich o.a. bevinden in de voorhaven en de fuik:

- Remming- en geleide werken.
- Bodembeschermingen.
- Grondkerende constructies (niet behorende tot de sluis zelf, zoals eventueel aanwezige damwanden langs de voorhaven).
- Aan- en afmeervoorzieningen.

Afhankelijk van de eisen die gesteld worden aan de oeververbinding kunnen ook de componenten als brug buitenhoofd en brug binnenhoofd onderscheiden worden, indien niet gekozen wordt het wegverkeer over de deuren te laten verlopen. Deze oeververbindingen zelf worden echter niet nader uitgewerkt, evenals de componenten die geen onderdeel vormen van de sluis.

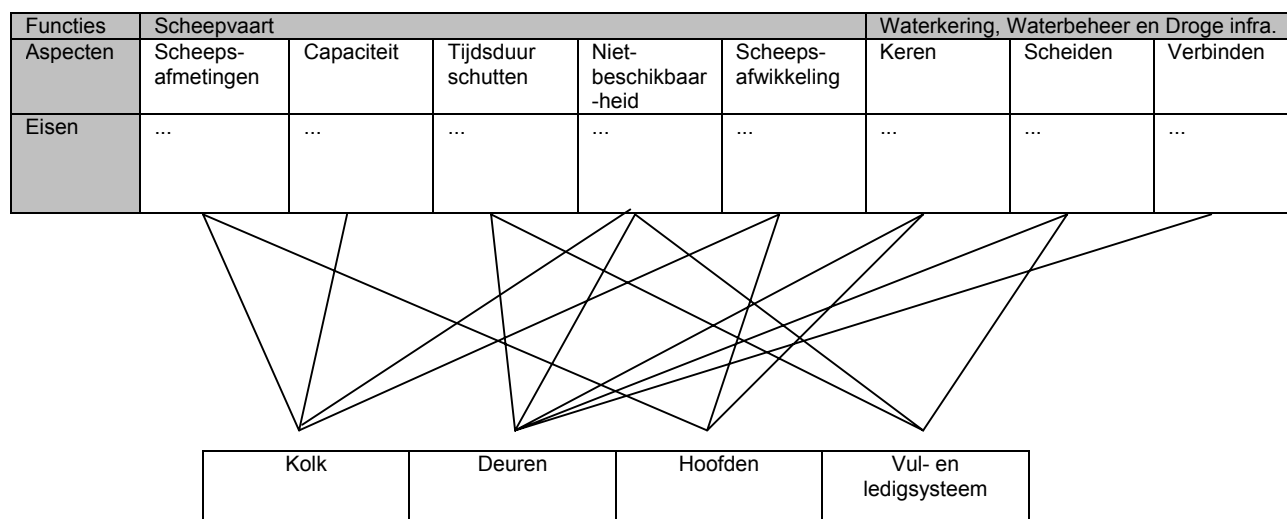
De componenten die primair nodig zijn om de verschillende hoofdfuncties mogelijk maken zijn in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 4.1: Benodigde componenten voor de verschillende hoofdfuncties.

Daarnaast zijn de componenten te onderscheiden die niet direct nodig zijn om één van de hoofdfuncties vervullen, maar wel van belang zijn voor het functioneren van het gehele systeem. Dit zijn de onder- en achterloopschermen en de aan- en afmeervoorzieningen.

In het programma van eisen zijn de functies verder uitgewerkt en vertaald naar eisen. De relaties van de verschillende eisen met de verschillende hoofdcomponenten van de schutsluis worden in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 4.2: Relatieschema componenten en diverse aspecten.

Bij de uitwerking van de sluis worden deze componenten in afzonderlijke hoofdstukken behandeld. Voor de verschillende aspecten worden in hoofdstuk 5 de eisen waaraan de sluis moet voldoen bepaald. In hoofdstuk 6 worden deze eisen nader uitgewerkt en vertaald naar concrete gegevens en waarden.

5 Programma van eisen

5.1 Inleiding

Het ontwerp zal in zijn uiteindelijke vorm zoveel mogelijk moeten voldoen aan de vooraf gestelde eisen. Deze eisen kunnen gezien worden als een vertaling van de geldende randvoorwaarden, uitgangspunten en aannamen. Hiertoe zullen eerst de aannamen uitgangspunten en randvoorwaarden worden opgesteld die beperkingen opleggen, en bepalend zijn voor het ontwerp van de sluis.

5.2 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden beschrijven de gegevens welke van belang zijn voor het ontwerp en het gebruik van het kunstwerk, en hebben betrekking op de omgeving. De randvoorwaarden zijn:

- Locatie.
- Hydraulische.
- Wind.
- Bodemgesteldheid.

5.2.1 Locatie

De locatie van de nieuwe sluis is ten zuidwesten van de huidige Westsluis zoals in het literatuurrapport is aangegeven. Hierin is tevens het huidige sluizencomplex beschreven. Er zijn een aantal redenen om voor deze locatie te kiezen. De voornaamste reden is omdat dit gebied in het verleden reeds is aangewezen als locatie voor een uitbreiding van het sluizencomplex. In de huidige situatie is voldoende ruimte aanwezig voor een uitbreiding zonder al te grote maatschappelijke gevolgen, wel zullen mogelijk enkele woningen en agrarische bedrijven geëvacueerd moeten worden. Als alternatieve locatie kan gekozen worden voor het situeren van de sluis tussen de Westsluis en de Middensluis in. Er zal niet nader ingegaan worden op de locatiekeuze, uitgegaan wordt van de locatie die in het bestemmingsplan is aangewezen als locatie voor de nieuwe zeesluis. In bijlage C is een overzichtkaart van de locatie voor de nieuwe zeesluis weergegeven.

De locatie en omgeving laat zich kort als volgt beschrijven. Op 500 meter ten zuidwesten van de as van de Westsluis bevinden zich bebouwingsseenheden behorende bij de kleine woonkern Wulpenbek. Ten zuiden van de locatie bevinden zich langs het kanaal enkele agrarische eenheden. Zowel enkele bebouwingsseenheden van Wulpenbek als van de agrarische eenheden zullen geëvacueerd moeten worden ten behoeve van de kanaalverbreding en sluis. Bij de komst van de sluis zal het 11 ha. grote natuurgebied naast de huidige Westsluis verdwijnen. Deze zal gecompenseerd moeten worden volgens het Streekplan Zeeland. De overige grond is hoofdzakelijk in gebruik als landbouwgrond. Daarnaast lopen op de locatie een aantal doorgaande wegen, zie hiervoor het literatuurrapport. Deze zullen moeten worden omgelegd.

Tot slot loopt er een watergang, de Westelijke Rijkswaterleiding. De functie van deze watergang is het afwateren van het achterliggende gebied en het voorkomen van wateroverlast in Sluiskil tijdens extreme regenval. Via een gemaal, op ongeveer 200 m ten noordwesten van de sluisingang, wordt het water in de Westbuitenhaven geloosd. Zowel de watergang als het gemaal zullen verplaatst dan wel vervangen moeten worden.

5.2.2 Hydraulische randvoorwaarden

Waterstanden:

De Westerschelde is onder invloed van een dubbeldaags getij. In het literatuurrapport is de gemiddelde getij kromme bij Terneuzen weergegeven. De belangrijkste waarden welke aangehouden worden zijn:

Getijde	G.H.W. (in m tov NAP)	G.L.W. (in m tov NAP)
Gemiddeld tij	+2,23	-1,96
Springtij	+2,61	-2,21
Doodtij	+1,74	-1,64
	Hoogst waargenomen waterstand (1953)	Laagst waargenomen waterstand (1943)
Maximum en minimum waarneming	+4,96	-3,50

Tabel 5.1: Waterstanden.

Als gevolg van de verdieping van de Westerschelde ten behoeve van de scheepvaart is de verwachting dat de getijslag vergroot. Laag waters worden lager en hoog waters worden hoger. Er wordt een stijgingsniveau van het hoogwater van 0,25 m aangehouden.

Voor de waterstanden behorende bij de verschillende overschrijdingsfrequenties gelden de volgende waarden:

Overschrijdingskans	Hoog water (in m tov NAP)	Laag water (in m tov NAP)
1 * 10 jaar	+4,05	-3,35
1 * 100 jaar	+4,80	-3,65
1 * 1000 jaar	+5,50	-3,90
1 * 4000 jaar	+5,75	-

Bron: RWS Zeeland + Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen.

Tabel 5.2: Overschrijdingskansen extreme waterstanden voor Terneuzen.

Voor het kanaal gelden de volgende waterstanden:

Kanaalpeil	
Streefpeil	NAP +2,13 m
Maximale afwijking	+/- 0,25 m

Tabel 5.3: Kanaalpeil.

Waterkering:

Het gebied ligt in dijkkringgebied 32, Zeeuwsch-Vlaanderen en dijkvak 119. De normfrequentie is 1/4000. De schutsluis valt onder de Wet op de Waterkeringen. Hiervoor worden de eisen uit de TAW-Leidraad ‘Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies’ ontleend.

Door onvolledigheid van de hydraulische randvoorwaarden is het niet mogelijk de kruinhoogte éénduidig en voldoende betrouwbaar te toetsen voor dijkvak 119. Er zullen hiertoe nadere onderzoeken moeten plaatsvinden. Ook de golfdoordringing in voorhaven van de sluizen van Terneuzen moet nog onderzocht worden. In de huidige situatie is de rekenscore voor de kunstwerken ‘onvoldoende’. De sluizen van Terneuzen scoren ‘onvoldoende’ op de aspecten hoogte, en afsluitmiddelen constructie. De kerende hoogte van de sluisconstructie en deuren ligt op N.A.P. +6 m. De kerende hoogte van de aansluitende waterkeringen liggen op N.A.P. +8 m.

5.2.3 Wind

Er zijn windstatistieken beschikbaar van het meetstation Hoofdplaat, een locatie enkele kilometers ten westen van Terneuzen langs de rand van de Westerschelde. Over een periode van 1997 tot 2003 zijn de windgegevens beschikbaar. De gemiddelde windsnelheid over deze periode is 5,9 m/s (3 à 4 bft). Windsnelheden van 6 bft, waarbij autoschepen niet meer gescht mogen worden, kwam ruim 8% van de tijd voor. Vanaf 8 bft mag helemaal niet meer gescht worden, dit kwam 0,2% van de tijd voor. De overheersende windrichting is zuidzuidwest tot west.

5.2.4 Bodemgesteldheid

In het gebied is een geologisch onderzoek uitgevoerd en zijn een aantal sonderingen beschikbaar ter plaatse van de huidige Westsluis.

De bodem ziet er globaal als volgt uit beginnend op een diepte van ca. N.A.P. –55 m waar het Boven Mioceen direct op het Midden Oligoceen ligt. De Boven Mioceen behoort tot de afzettingen in het Tertiair. De bovenkant in het gebied ligt op een diepte tussen 16 – 28 m beneden N.A.P. Dit Boven Mioceen bestaat uit leem en/of zand, maar in het algemeen bestaat de bovenste 15 meter uit een vrij stugge tot harde donker-grijs-groene leem en vormt indien aanwezig een afsluitende laag. Onder deze leemlaag ligt een laag fijn groen zand tot aan de bovenkant van het Midden Oligoceen. De Oligocene klei vormt de afsluitende laag op- 55 m beneden N.A.P, daar waar de Mioceen uit zand bestaat.

Het Kwartair omvat het ijstijdvak Pleistoceen en de huidige periode het Holocene en is afgezet op het Boven Mioceen. De eerste laag is het Poederliën bestaande ten dele uit zandige klei met veel grof schelpgruis en soms veel fijn grind en voor het grootste deel uit zand met veel fijn en grof schelpgruis en grind. De dikte is maximaal 8 meter.

De volgende afzetting is het Boven Pleistoceen, de Afzetting van Vlissingen genoemd. Aan de basis van dit pakket komt vrij grof zand met grof schelpgruis en kleine en grotere grindstukjes voor. Het grote deel bestaat uit continentale afzettingen, die in het Weichselien (laatste glaciële tijdperk) zijn afgezet. Dit pakket bestaat uit dekzanden met ingesloten leemlenzen en leemstroken. Het zand behorende tot het Weichselien is vrij fijn. Op een diepte van ongeveer 13 meter beneden N.A.P. ligt een lemig complex bestaande uit sterk lemig zand tot leem. Ook in het bovenste deel van het Weichselien komt plaatselijk een soms enkele meters dikke laag leem voor. De bovenkant van het Weichselien ligt op ca 3 meter beneden N.A.P.

Het gebied behoort tot het zogenaamde ‘randveengebied’, dit betekend dat er op boven het Pleistoceen sprake was van veengroei. Het veenpakket ligt direct op het Weichselien. Boven dit veenpakket vonden later diverse afzettingen plaats van klei en zand.

De doorlatendheid van het pleistocene varieert van 0 voor de leemlagen tot 4 tot 6 m/d voor de normale zanden van het Weichselien. De grovere basis heeft een doorlatendheid van 11,5 m/d. De doorlatendheid van het Holocene deel van het geologische profiel is vrijwel nihil. Het lemige deel van het Boven Mioceen is eveneens vrijwel ondoorlatend en vormt een waterafsluitende laag. Het zandige deel van het Boven Mioceen verschilt qua doorlatendheid nauwelijks met die van het Pleistoceen.

Het maaiveldniveau ligt op gemiddeld N.A.P. +1 m.

Op de locatie van de nieuwe sluis zijn ook enkele sonderingen en boringen verricht. Hieruit is naar voren gekomen dat op de locatie een 10 tot 15 meter dikke vrijwel waterdichte klei/leemlaag aanwezig is tot circa N.A.P -31 m. Deze boringen zijn echter niet beschikbaar.

In bijlage D is een sondering toegevoegd welke ten behoeve van de huidige Westsluis zijn uitgevoerd en is de bodemopbouw weergegeven, aangevuld met de bodemparameters waarvan uitgegaan zal worden.

Grondwater:

Van de polder ten westen van de bouwlocatie zijn er meetgegevens beschikbaar van een peilbuis in de omgeving. Er is over een periode van 15 jaar, van 1986 t/m 2000, om de twee weken metingen gedaan naar het grondwaterniveau. De maximaal gemeten grondwaterstand is N.A.P +18 cm, de minimale grondwaterstand is N.A.P. –100 cm. De gemiddelde grondwaterstand over 15 jaar is N.A.P. –50 cm. De grondwaterstroming is door het niveauverschil van 2,5 tot 3,5 meter tussen het kanaalpeil en het freatische oppervlak in de naast liggende gronden is gericht naar deze gronden.

Slechts de bovenste laag bestaat uit zoet water. Het zoet-zout grensvlak bevindt zich op ongeveer 3,5 meter diepte beneden maaiveld op enige afstand van het kanaal en Westbuitenhaven tot nul direct langs de oevers.

5.3 Uitgangspunten en aannamen

5.3.1 Aannamen

Er wordt gebruik gemaakt van de grondgegevens uit de omgeving van de bouwlocatie o.a. ter plaatse van de Westsluis. Aangenomen wordt dat de grond op de locatie van de nieuwe sluis niet wezenlijk verschilt in samenstelling en draagkracht.

Schutten is niet meer toegestaan bij een waterstand lager dan N.A.P. – 3,5 m. en hoger dan N.A.P. + 4 m, dit is gelijk aan de huidige situatie. Een waterstand lager dan –4 m is sinds 1878 nog niet gemeten. Een waterstand hoger dan 4 m is in de afgelopen 14 jaren één keer voor gekomen.

De sluis hoeft niet droog gezet te kunnen worden voor onderhoud. Voor onderhoud aan de sluisonderdelen zoals bijvoorbeeld een deurrail wordt gebruik gemaakt van een kuip of caisson.

Voor de vrijkomende grond is een oplossing beschikbaar waarbij de eventueel verontreinigde grond wordt afgevoerd naar een slibdepot voor verontreinigde grond zoals de Slufter. De schone grond wordt zoveel mogelijk verkocht of hergebruikt in het werk. De overblijvende grond wordt eventueel opgeslagen in een depot en/of gestort in zee.

Door de bouw van de sluis ontstaat er een soort eiland tussen de Westsluis en de nieuwe sluis in. Het grondwaterniveau wordt op dit eiland gelijk gesteld aan het niveau van het kanaal van + 2,13 m N.A.P. en met een maximale variatie gelijk aan die van het kanaal van +1,88 m tot +2,38 m N.A.P. Zie bijlage C.

Aannamen t.a.v de flexibiliteit:

Er is genoeg ruimte beschikbaar om uitbreiding mogelijk te maken

De sluis hoeft maar één keer uitgebreid te worden. Na deze eerste keer is het niet noodzakelijk dat de hoofdafmetingen opnieuw behoeven te worden aangepast.

Overige aannamen:

- Het sluisencomplex heeft in zijn huidige vorm voldoende spuicapaciteit beschikbaar. Extra spuicapaciteit ten behoeve van de waterkwantiteit is niet noodzakelijk.
- De sluis wordt los gezien van het kanaal en voorhavens. In de toekomst moet echter rekening worden gehouden met de verbetering van het kanaal van Gent naar Terneuzen.
- Windgevoelige en/of slecht manoeuvreerbare schepen maken gebruik van sleepboothulp.
- Handhaving van het wegverkeer zowel tijdens bouw als in gebruiksfase
- Zeeschepen wachten op de Westerschelde voordat zij aan de beurt zijn om te worden geschut.
- De sluis wordt alleen gebruikt door de beroepsvaart, dus voorzieningen voor kleinere schepen als plezierjachten zijn niet nodig.

5.3.2 Uitgangspunten

Scheepsafmetingen:

In onderstaande tabel zijn de bovengrenzen van de ontwerpafmetingen voor diverse type schepen weergegeven, welke aangehouden wordt.

	Scheepslengte	Scheepsbreedte	Zoetwaterdiepgang
1. Panamax	265 m	34 m	12,25 m
2. Post-Panamax	270 m	40 m	14 m
3. Gelichterde Cape-Size	300 m	50 m	16,36 m
4. Cape-Size	300 m	50 m	18 m

Tabel 5.4: Maatgevende scheepsafmetingen.

Scheepvaartverkeer:

Er wordt uitgegaan van het verkeersaanbod in 2032, zoals opgesteld is in het onderzoek van KPMG. Uit het onderzoek eerder uitgevoerd in het kader van de beleidsanalyse komt een vergelijkbaar aantal scheepvaartbewegingen naar voren. Het sluisencomplex moet dit scheepsaanbod zonder sterke vertragingen kunnen verwerken.

Aantal schepen in 2032 in enkele richting.

Klasse 50		Klasse 51		Klasse 52		Klasse 53		Klasse 54	
0 – 10	5.226	0 - 10	754	0 - 20	182	0 - 10	807	0 - 10	384
10 – 20	107	10 - 20	137	20 - 50	334	10 - 20	121	10 - 20	83
20 – 50	64	20 - 30	335	50 - 80	352	20 - 50	19	>20	0
50 – 80	14	30 - 50	2	>80	30	50 - 80	5		
Totaal	5.411		1.228		898		952		467

Tabel 5.5: Aantal schepen in één richting.

Totaal aantal schepen in de klasse 50 t/m 54 is ongeveer 9000 schepen. Dit is een verdubbeling van het aantal schepen in deze klasse ten opzichte van 1999.

Scheepsoorten per klasse:

- Klasse 50: vrachtschepen voor stukgoed.
- Klasse 51: container-, ro-ro en lashschepen.
- Klasse 52: bulkcarriers.
- Klasse 53: tankers voor olie en vloeibare lading.
- Klasse 54: tankers voor samengeperste gassen.

5.4 Programma van eisen

De primaire functie van de nieuwe sluis is het doorlaten van scheepvaart waarbij schepen in drijvende toestand in een afsluitbare ruimte van het ene naar het andere waterniveau wordt gebracht. Dit moet op een maatschappelijke en economische verantwoorde manier gebeuren. Naast deze primaire functie zijn voor de sluis diverse andere functies welke de sluis moet kunnen vervullen. Deze functies zijn het keren van hoogwater, het doorlaten van wegverkeer en het scheiden van zoet en zout water.

Om deze functies te kunnen vervullen is het noodzakelijk dat het ontwerp zoveel mogelijk aan eisen van de gebruikers voldoet. Onderstaand is een overzicht van de eisen voor de diverse gebruikers en stadia gegeven. Deze zullen nader worden toegelicht en ingevuld. Hier komen de algemeen geldende eisen aan bod voor het functioneren van de sluis als geheel en de algemene uitvoeringseisen. In een later stadium komen per sluiscomponent zoals de kolk en de hoofden de hiervoor geldende specifieke eisen aan bod.

- Functionele eisen:
 - Voor de scheepvaart/capaciteit
 - Voor de waterkering
 - Waterbeheerder
 - Voor het wegverkeer/droge infrastructuur
- Gebruikseisen
 - Peilen
 - Bedieningstijden
 - Nivelleertijden
 - Bediening
 - Beschikbaarheid
 - Afmeervoorzieningen
 - Beschermingconstructie
 - Veiligheid
 - Bereikbaarheid
 - Levensduur

- Onderhoudseisen
- Omgevingseisen in gebruiksstadium
- Uitvoeringseisen
 - Grondwateronttrekking
 - Verontreinigde grond
 - Stremming van scheep- en wegverkeer
 - Waterkering
- Constructieve eisen

Ten opzichte van de gewone sluis wordt aan deze sluis een bijzondere eis gesteld, namelijk de uitbreidingsmogelijkheid in de toekomst.

Daarnaast moet ook rekening worden gehouden met de verschillende vergunningen, wetten en procedures. Binnen dit kader wordt hierop niet verder ingegaan.

5.4.1 Functionele eisen t.a.v. de scheepvaart

Grootte van de sluis:

Het is bekend welk type schip de havens moet kunnen bereiken. Als eis kan dan ook gesteld worden dat de sluis een schip van maximaal Panamax afmetingen moeten kunnen schutten.

De afmetingen van het maatgevende schip zijn:

- L = 265m
- B = 34 m
- Diepgang zoet water (gelichter) = 12,25 m.

Daarnaast dient rekening gehouden te worden met sleepboten, aan zowel voor- als achterzijde van het maatgevende schip. De extra lengte die hiervoor benodigd is, wordt bepaald in hoofdstuk 6.

Capaciteit:

De capaciteit van de sluis dient zodanig te zijn dat het gehele sluizencomplex het volledige scheepvaartaanbod over kan accommoderen zonder dat de wachttijden noemenswaardig toenemen.

5.4.2 Functionele eisen t.a.v. de waterkering

De maatgevende hoogste waterstand (MHW) bij Terneuzen is NAP +5,75 met een ontwerp golf H_d van 2,80 m en een periode van 5,5 sec. De frequentie van voorkomen is eens per 4000 jaar.

In de TAW worden de volgende eisen geformuleerd t.a.v.:

1. Overlopen en overslag:

De toe te passen waakhogte voor overslag en overlopen is afhankelijk van het bergend vermogen van het achterliggende (water)systeem en het daarmee samenhangend maximum toelaatbare overslagdebit tijdens het maatgevende hoogwater. Het toelaatbare overslagdebit kan eveneens bepaald worden door de bodembescherming. De waakhogte kan verder gereduceerd worden indien voldoende bergend vermogen aanwezig is voor overlopend water naast datgene wat nodig is voor het overslagdebit.

2. Sterkte en stabiliteit

Voor een waterkerend kunstwerk als een schutsluis geldt dat de constructie de waterkerende functie geheel zelfstandig moet kunnen vervullen.

3. Betrouwbaarheid sluiting deuren

Indien slechts een volwaardige hoogwaterkering beschikbaar is, bijvoorbeeld bij een lagere deur in het binnenhoofd, worden er eisen gesteld aan de betrouwbaarheid van het sluiten van de deur in het buitenhoofd (de waterkering). Er moet dan voldaan worden aan:

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

waarin P_{fa} = actuele faalkans door een falend afsluitmiddel en
norm = ontwerp frequentie (1/jaar)

Indien twee volwaardige hoogwaterkeringen aanwezig zijn worden er vanuit de waterkerende functie geen extra eisen aan de betrouwbaarheid van sluiten gesteld.

5.4.3 Functionele eisen t.a.v. het waterbeheer

Waterkwantiteit:

Beperking van de (zoet)waterverliezen tijdens perioden met een lage aanvoer van water vanuit België.

Waterkwaliteit:

Beperken van de zoutbelasting op het kanaal als gevolg van het schutproces. Scheiding tussen zout en zoet water om de zoutpenetratie zoveel mogelijk te beperken en het eventueel spuien van binnen gedrongen zout water.

5.4.4 Functionele eisen t.a.v. wegverkeer

Gebruikers:

Al het huidige verkeer moeten de sluizen kunnen passeren, zowel voetgangers, fietsers, langzaam verkeer als het autoverkeer.

Verkeersklasse:

Wegverkeer tot en met verkeersklasse 600 (VOSB 1995) moet de sluis kunnen passeren.

De maximale toegestane snelheid over de sluizen/verbinding is 50 km/u.

Betrouwbaarheid en beschikbaarheid:

Het wegverkeer mag niet gestremd worden als gevolg van het normale schutproces, dit in verband met het laten passeren van hulpdiensten.

5.4.5 Gebruikerseisen

Peilen:

Het maximum schutpeil is het peil is N.A.P. +4 m. Voor het minimum schut geldt een minimum peil van N.A.P. -3,5 m.

Bedieningstijden:

De bedieningstijd is 24 uur per dag 7 dagen in de week.

Nivelleertijden:

De nivelleertijd mag maximaal 15 minuten bedragen bij een verval van 4 m. Dit is ongeveer het verschil tussen gemiddeld kanaalpeil en gemiddeld laag water. (De nivelleertijd is een economische afweging tussen wachttijd en investering in vul-en ledigingssysteem. Uit de praktijk blijkt voor grote zeesluizen 11 tot 15 minuten gebruikelijk.)

Beschikbaarheid:

De beschikbaarheid van de sluis moet zo groot mogelijk zijn. Voor de gemiddelde niet-beschikbaarheid wordt 1 % aangehouden. Bij de huidige Westsluis bedraagt de gemiddelde niet-beschikbaarheid 2 % van de tijd van het jaar. Ter vergelijking: voor de Noordersluis bij IJmuiden bedraagt dit gemiddeld 0,5%.

Afmeervoorzieningen sluis:

In de sluis dienen voldoende afmeervoorzieningen aanwezig te zijn voor te schutten schepen en sleepboten. De bolders moeten worden gedimensioneerd op 1000 kN.

Beschermingsconstructie:

Er dient aan beide zijden van de sluis kolkwandbescherming aanwezig te zijn. Voorbeelden zijn houten drijfrahmen en/of het toepassen van wielfenders. De constructie dient ook om opstuw- en klefeffecten van schepen aan de kolkwand te voorkomen.

Overige gebruikerseisen die genoemd kunnen worden maar niet direct van belang zijn voor het ontwerp zijn bijvoorbeeld de veiligheid, zoals het aanbrengen van ladders en hekwerken, en de bereikbaarheid van het complex.

Levensduur:

De ontwerp levensduur voor de sluis is 100 jaar voor de vaste en moeilijk te onderhouden of te vervangen constructiedelen zoals de kolk, sluishoofden funderingen, onder- en achterloopsheidschermen. De overige onderdelen worden ontworpen op basis van minimale kosten van investeringen, onderhoudskosten en vervanging gedurende de periode van 100 jaar.

5.4.6 Onderhoudseisen

Tijdens onderhoud van een deur moet de functie kunnen worden overgenomen door een andere deur. Hiertoe is het noodzakelijk een reserve deur te hebben welke uitgewisseld kan worden, of kiezen voor het toepassen van twee deuren per hoofd.

5.4.7 Omgevingseisen in gebruiksstadium

Inpassing:

De sluis mag niet als storend, horizon vervuילend, voor de omgeving worden ervaren.

Milieu:

Voor de constructie dient gebruik te worden gemaakt van duurzame en niet onacceptabel milieubelastende materialen.

5.4.8 Uitvoeringseisen

Grondwateronttrekking:

Als algemene eis geldt dat er niet meer en langer dan strikt noodzakelijk zowel zout als zoet water mag worden onttrokken voor het uitvoeren van het werk. Voor het onttrekken van zout water gelden geen bijzondere beperkingen, wel moet rekening gehouden worden met eventuele verontreinigingen. Er mag geen immobilisatie optreden als gevolg van de onttrekking. Voor tijdelijke onttrekkingen van zoet water zijn er wel beperkingen. Bij grote onttrekkingen wordt voorgeschreven dat (gedeeltelijk) retourbemaling moet plaatsvinden. Daarnaast wordt er nog onderscheid gemaakt tussen kwetsbare en niet kwetsbare gebieden. Door de bouw van de sluis op de locatie verdwijnt het aanwezige 11 ha grote kwetsbaar gebied. De omgeving rond om de locatie is niet aangemerkt als kwetsbaar gebied. Dit betekent dat onttrekkingen groter dan 10 m³ per uur vergunningsplichtig zijn maar verder geen bijzondere beperkingen kent. Wel dient rekening te worden gehouden met de aanwezige infrastructuur en kunstwerken. Deze mogen als gevolg van de grondwaterstandsverlaging geen schade oplopen.

Stremmingen:

Tijdens de uitvoer moet het overige verkeer, zowel scheepvaart als wegverkeer zo min mogelijk hinder ondervinden. Afsluiten van de vaargeulen, sluizen en wegen is niet toegestaan. Wel mogen wegen tijdelijk dan wel permanent worden omgelegd.

Waterkering:

Tijdens de uitvoering moet de waterkering in stand worden gehouden, zie hiervoor ook de functionele eisen ten aanzien van waterkeren, paragraaf 5.4.2.

Voor werken aan een primaire waterkering geldt een "gesloten seizoen". Van 1 oktober tot en met 15 maart mogen werkzaamheden aan de primaire kering worden uitgevoerd onder voorwaarde dat het waterkerend vermogen van de waterkering verzekerd blijft. Buiten het gesloten seizoen kan en mag er onder bepaalde omstandigheden aan de kering gewerkt worden. (TAW, Leidraad Kunstwerken 2003)

5.4.9 Constructieve eisen

Voor het technische ontwerp dient gebruik worden gemaakt van normen, zoals de NEN en richtlijnen als de TAW en CUR rapporten.

Belastingen kunnen onderscheiden worden in permanente, veranderlijke en bijzondere belastingen. De belangrijkste voor de sluis zijn:

Permanente belastingen:

- eigen gewicht
- waterdruk
- gronddruk

Veranderlijke belastingen:

- drukverschillen door waterstandverschillen
- golfbelasting, zowel wind als schepen
- stroming
- scheepsstoten
- troskrachten
- verkeersbelasting
- temperatuurbelasting

Bijzondere belastingen

- aanvaring
- explosie
- ijs
- aardbeving

Eventueel treden deze belastingen in combinatie met elkaar op, zodat maatgevende belastingcombinaties zullen optreden. Aan de hand van de belastingcombinaties zal de constructie en constructieonderdelen moeten worden gecontroleerd en doorgerekend.

Er wordt gerekend met de rekenwaarde van de belasting. Hiertoe worden de representatieve waarden van de belastingen vermenigvuldigd met een belastingfactor. De aangehouden belastingfactoren zoals aanbevolen voor waterkerende constructies in de TAW-richtlijn zijn:

Grenstoestand:	Permanente belasting		Veranderlijke belasting	Bijzondere belasting
	Gunstig	Ongunstig		
Uiterste grenstoestand	0,9	1,2	1,25*/1,5	1,0
Bruikbaarheidstoestand	1,0	1,0	1,0	1,0

* Deze waarde geldt alleen voor hydraulische belastingen

Tabel 5.6: Belastingfactoren

Naast deze belastingen, die optreden in de gebruiksfase, zal er tijdens de uitvoeringsfase rekening moeten worden gehouden met uitvoeringsspecifieke belastingen welke mogelijk maatgevend zijn voor de dimensies van sluisonderdelen. De optredende belastingen die op de componenten werkzaam zijn zullen bij de uitwerking ervan nader worden bepaald evenals de maatgevende belastingcombinaties.

5.4.10 Eisen t.a.v de flexibiliteit

Aanpasbaarheid:

De sluis moet aanpasbaar zijn aan veranderende functionele eisen in de toekomst zonder grootschalige sloop- en/of nieuwbouwwerkzaamheden waardoor de sluis voor een lange periode niet beschikbaar is.

Stremmingsduur:

Voor de uitbreiding mag de sluis niet voor een lange periode buiten gebruik zijn, waardoor het verlies aan goederenstromen en de wachtkosten voor schepen en goederen groter worden dan het voordeel van een grotere sluis.

6 Sluisafmetingen en peilen

Aan de hand van het programma van eisen, randvoorwaarden en uitgangspunten zullen hier de diverse afmetingen, maten en peilen nader worden gekwantificeerd. Aan de orde komen de kolkafmetingen, de drempeldiepte, het dekzerkniveau. Ook zal de kerende hoogte, welke ondermeer afhankelijk is van de mate waarin overslag over de sluis is toegestaan, worden bepaald.

6.1 kolkafmetingen

Onderstaand worden de in het programma van eisen genoemde afmetingen nader toegelicht, voor wat de lengte, breedte en diepte van de kolk betreft. In de literatuur zijn geen echte vuistregels voor kolkafmetingen voor zeesluizen beschikbaar. Wel dient met het volgende rekening te worden gehouden.

Lengte van de kolk:

- Zeeschepen varen zeer langzaam de sluis in vanwege het geringe stopvermogen.
- Schepen met een grote blokkering van de natte doorsnede van de kolk worden sterk afgeremd.
- Ruimtereservering voor sleepboten, zowel voor als achter.
- Bij vulopeningen in de kolkwanden bij de deuren, mag deze lengte niet als nuttige kolk lengte worden beschouwd.

Breedte van de kolk:

- Voor de sluis nauwelijks geleidewerken.
- Door de slechte bestuurbaarheid wordt omzichtig gemanoeuvreed, in de kolk is de assistentie door sleepboten slechts beperkt mogelijk.
- Bij kleine kielspeling moet voldoende ruimte naast schip aanwezig zijn om blokkering te voorkomen.
- Ruimte voor windgevoelige schepen.

Kielspeling:

- Door de lage invaarsnelheid is de inzinking gering.
- Zeeschepen hebben een dermate grote diepgang dat de benodigde ontgravingsdiepte voor de sluis een belangrijke kostenfactor is.
- Verschil in diepgang in zoet en zout water.

Als eerste benadering kunnen de volgende afmetingen worden aangehouden:

- Lengte tussen deuren = $1,15 \cdot l_{\text{maatg.schip}} + 2 \cdot 50$ m. (sleepboten)
- Nuttige kolkbreedte = $1,10 \cdot b_{\text{maatg.schip}} + 2 \cdot 1$ m. (fendering)
- Diepte = zoetwaterdiepgang $\cdot 1,10 + 0,30$ m. (vaste bodem)

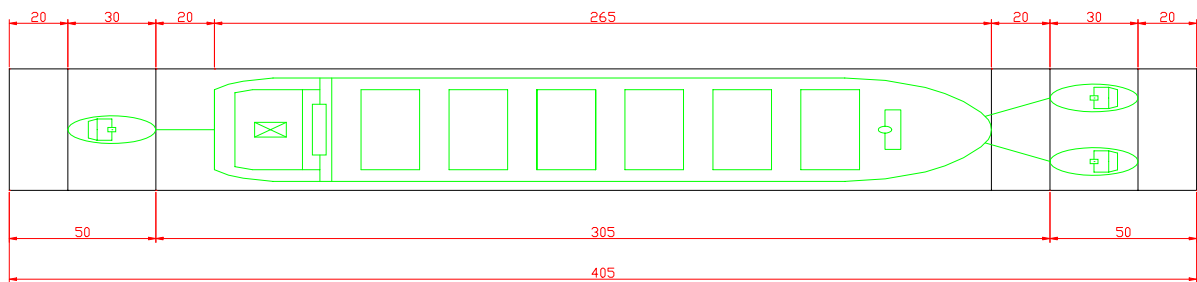
6.1.1 Kolk lengte

Bij zeesluizen is de afstand tussen de deuren gelijk aan de nuttige lengte. Extra lengte ten behoeve van doorschieten wordt niet gerekend, daar het invaren van zeeschepen zeer behoedzaam gebeurt. Indien in- en uitstroomopeningen in de wand nabij de deuren zijn gesitueerd mogen deze niet meegenomen worden in de nuttige kolk lengte, tenzij de openingen diep zijn aangelegd waardoor de vulstralen onder de schepen door schieten. De totale lengte tussen de deuren wordt dan groter.

De nuttige lengte is opgebouwd uit de volgende delen:

- Lengte maatgevend schip, deze is 265 meter
- Toeslag van 15% van maatgevend schip in verband met verkorten invaartijd en een veiligheidsmarge
- Lengte sleepboten voor en achter, de grootste bij Terneuzen in gebruik zijnde sleepboten hebben een lengte van ongeveer 30 meter
- Manoeuvrerruimte sleepboten en ruimte voor sleepkabel, hiervoor wordt 20 meter als uitgangspunt genomen.

De totale nuttige lengte komt dan op $265 + (15\% \text{ van } 265 \text{ m} = 40 \text{ m}) + 2 \cdot 30 + 2 \cdot 20 = 405$ meter. In onderstaande figuur is dit gevisualiseerd.



Figuur 6.1: Nuttige kolk lengte.

6.1.2 Kolkbreedte en diepgang

De breedte en diepgang van de kolk en de hoofden worden enerzijds bepaald door de afmetingen van het maatgevende schip anderzijds door de hydraulische aspecten. Met het oog op de bouwkosten geniet een zo nauw mogelijk profiel de voorkeur. Het maatgevende schip dat de sluis invaart neemt vrijwel het gehele profiel in beslag. Hierdoor ondervindt het schip veel weerstand bij het invaren, waardoor de snelheid afneemt. Assistentie van sleepboten is noodzakelijk. Daarnaast ontstaan er sterke retourstromingen naast en onder het schip met als gevolg dat het schip dieper gaat liggen, vergelijkbaar met de inzinking van een sneller varende schip. De verhouding tussen dwarsoppervlak van het schip en kolkoppervlak bepaald de weerstand die het schip ondervindt tijdens het invaren.

De kolkbreedte tussen de wanden bestaat uit:

- Breedte maatgevend schip, deze is 34 meter
- Overbreedte van 10% om in te kunnen varen en in-/uitvaar weerstand te beperken. (Om autoschepen bij hogere windsnelheden dan 5 beaufort te kunnen schutten is een grotere marge noodzakelijk, zie huidige Westsluis)
- Ruimte reservering voor fenderconstructie langs kolkwand, hiervoor wordt 2 keer 1 meter aangehouden

De breedte tussen de wanden wordt dan $34 + (10\% \text{ van } 34 \text{ m}) + 2 \cdot 1 = 39,4 \text{ m} \Rightarrow 40 \text{ m}$.

De diepgang boven de drempel en kolkvloer worden bepaald door:

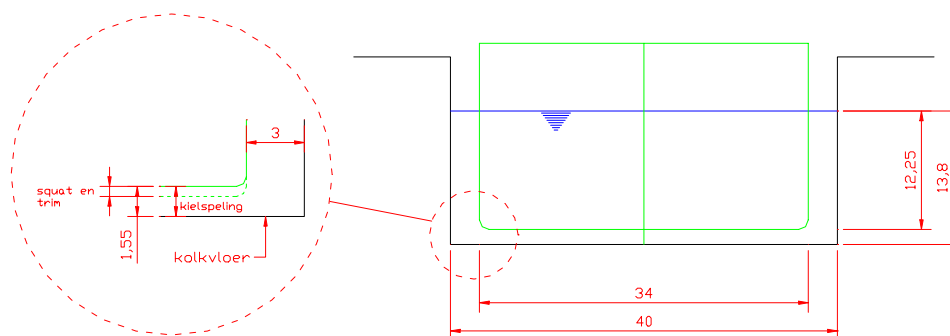
- Zoetwaterdiepgang maatgevende schip, deze is 12,25 m.
- De inzinking en de trim van het schip.
- Verticaal respons van schip op golven (deze wordt verwaarloosd i.v.m de scheepsgrootte).
- Bodemfactor, voor een vaste bodem is dit 0,30 meter
- Kolkbreedte, i.v.m hydraulische weerstand

Het niveau waarop de drempel en vloer komen te liggen wordt in paragraaf 6.2 bepaald.

De diepgang noodzakelijk voor een schip met maatgevende diepgang 12,25 m wordt dan:

$$12,25 + (10\% \text{ van } 12,25) + 0,30 = 13,8 \text{ m, de kielspeling is dan } 1,55 \text{ m.}$$

Uit een veréenvoudigde berekening van de inzinken van het schip tijdens het invaren is de kielspeling voldoende, zie bijlage E.



Figuur 6.2: Breedte en kielspeling.

6.1.3 Overzicht kolkafmetingen

In onderstaande tabel zijn voor de verschillende scheepsgroottes de afmetingen van de kolk weergegeven, welke volgen uit het toepassen van bovenstaande benadering.

	Lengte	Breedte	Diepte
1. Panamax	405 m	40 m	13,80 m
2. Post-Panamax	410 m	46 m	15,70 m
3. Gelichterde Cape-Size	445 m	57 m	18,30 m
4. Cape-Size	445 m	57 m	20,10 m

Tabel 6.1: Minimale kolkafmetingen.

De huidige Westsluis heeft maximale kolkafmetingen van 355 m lang, 38 m breed tussen de drijffenders en een drempeldiepgang van 13,5 m bij gemiddeld kanaalpeil.

6.1.4 Capaciteit

Het aantal schuttingen per jaar voor de huidige Westsluis is 8000 tot 8500. Bij een maximale bezettingsgraad van 1,5 schepen per schutting is de capaciteit ongeveer 12.500 zeeschepen per jaar. Een tweede nieuwe sluis van hetzelfde formaat als de huidige Westsluis zal deze capaciteit grofweg verdubbelen naar 25.000 schepen per jaar. Het totaal aantal te schutten schepen van klasse 50 – 54 is $2 \times 9000 = 18.000$ schepen. De havens zijn voor zeeschepen alleen via het sluizencomplex bereikbaar, dus het totale aantal schepen is door de sluizen is 2 keer het genoemde aantal in bijlage N.

Een sluis met minimale afmetingen zoals in tabel 6.1 is aangegeven heeft voldoende capaciteit om het aanbod te kunnen verwerken. Een langere kolk is met het oog op het vergroten van de capaciteit niet noodzakelijk.

6.2 Aanlegniveau drempel, dekzerk en deurbeplating

6.2.1 Drempelniveau buitenhoofd

Aangenomen wordt een minimaal schutpeil van N.A.P +0,90 m waarbij een maatgevend schip nog geschut kan worden. Deze waarde is overgenomen uit eerdere rapporten over een nieuwe zeeluis. Dit peil geeft een getijvenster van gemiddeld 3,5 uur. In de praktijk komt dat neer op één schutting van een maatgevend schip per hoogwater.

Dit betekent dat de drempel ter plaatse van het buitenhoofd op N.A.P –12,9 m komt te liggen.

6.2.2 Aanlegniveau drempel binnenhoofd

In principe is het mogelijk de drempel bij het binnenhoofd 1,23 meter hoger te situeren, dit is het verschil tussen het kanaalpeil (NAP +2,13m) en het minimale schutpeil (NAP +0,90m) voor het schip met maatgevend diepgang. Gekozen wordt voor een oplossing waarbij het niveau van de drempels in het buitenhoofd en binnenhoofd gelijk aan elkaar zijn, deze ligt op NAP –12,9 m. Hierdoor kunnen identieke deuren in de hoofden worden toegepast. Ook de kolkbodem komt op hetzelfde niveau te

liggen. Daarnaast vormt de drempel in het binnenhoofd geen onzichtbaar obstakel welke tijdens het ledigen kan leiden tot schade aan schepen. In het geval van bijvoorbeeld een roldeur is er niet duidelijk sprake van een drempel maar wordt hier de bovenzijde van de vloer mee bedoeld. De deur rolt over een rails in een sleuf in de bodem.

6.2.3 Dekzerkhoogte en deurhoogte

Bij binnenvaartsluizen geven de wanden een visuele en fysieke geleiding bij het in- en uitvaren van de kolk. Hiervoor zullen de wanden van voldoende hoogte moeten zijn. Bij zeevaartsluizen is dit niet het geval, aangezien dan zeer hoge wanden noodzakelijk zijn. Voor fysieke geleiding worden drijfarmen/fenders aangebracht langs de kolkwand.

Maatgevend voor de dekzerkhoogte en bovenzijde deurbeplating zijn het maximale schutpeil, +4 m N.A.P, of de eisen voor de waterkering, maatgevend hoogwater +5,75 m N.A.P.

Hierbij zijn in principe twee mogelijkheden:

- De bovenzijde van de deurbeplating en dekzerkhoogte van zowel buiten- en binnenhoofd als de kolk zijn aan elkaar gelijk. De maatgevende waterstand is dan + 5,75 m N.A.P voor de gehele sluis. Voordelen: deuren zijn onderling uitwisselbaar, het binnenhoofd kan fungeren als reservekering.
- Alleen de dekzerk en de deuren van het buitenhoofd voldoen aan de eisen ten aanzien van de waterkering. Het binnenhoofd en de kolk worden ontworpen op het maximum schutpeil van +4 m N.A.P. Het nadeel is dan dat de deuren van binnen- en buitenhoofd dan niet uitwisselbaar zijn. In geval van één deur per hoofd worden er extra eisen gesteld aan de betrouwbaarheid van de deur in het buitenhoofd.

6.3 Bepaling kerende hoogte

De hoogte van zowel deur als dekzerk wordt bepaald door de maatgevende waterstand, zeespiegelrijzing, zettingen, opwaaiing, golven en de mate waarin golfoverslag en overlopen is toegestaan.

De bestaande sluizen van het sluizencomplex hebben een kerende hoogte van +6 m N.A.P. Dit is volgens de huidige rekenmethode onvoldoende. Aan de hand van de berekeningsmethode uit de TAW-rapport 'Leidraad Kunstwerken' wordt de kerende hoogte voor de nieuwe sluis bepaald. Hierbij wordt uitgegaan dat een bepaalde mate van overslag over de sluis plaats vindt. Deze aanname is toelaatbaar omdat achter de sluizen zich een kanaalpand bevindt met een groot bergend vermogen. Overslag zal ook plaats vinden ter plaatse van de bestaande sluizen. Het bergend vermogen dat voor overslag van de nieuwe sluis beschikbaar is wordt dan het totale bergend vermogen van het kanaalpand verminderd met het overslag debiet over de bestaande sluizen. Aan de hand hiervan kan de golfoverslaghoogte worden bepaald.

Gegevens:

- Oppervlakte kanaalpand $A_k = 9.500.000 \text{ m}^2$.
- Hoogte kaden en dijken = + 3,65m N.A.P.
- Kanaalpeil = N.A.P + 2,13 m.
- Breedte van de openingen liggend op N.A.P + 6 m:
 - Westsluis = +/-125 m.
 - Middensluis = +/-30 m.
 - Oostsluis = +/-50 m.
 - Totale breedte = 205m.
- Significante golfhoogte = 2,80 m.
- Periode $T = 5,5 \text{ sec}$.

Het overslagdebiet over verticale constructies, zonder brekende golven, wordt gegeven door:

$$q = 0,13 \sqrt{g * H_s^3} \exp\left(-3 * \frac{h_{kr}}{H_s} * \frac{1}{\gamma_\beta * \gamma_n}\right)$$

Met: q = gemiddeld overslagdebiet [$\text{m}^3/\text{s m}$].
 g = zwaartekrachtversnelling.
 H_s = significante golfhoogte.
 h_{kr} = hoogte kruin boven stilwaterniveau.
 γ_β = invloedsfactor scheve golfinval.
 γ_n = invloedsfactor voor neus bovenaan constructie.

Waarden invullen geeft:

$$q = 0,13 \sqrt{9,81 * 2,8^3} \exp\left(-3 * \frac{0,25}{2,8} * \frac{1}{1 * 1}\right)$$

$$q = 1,46 \text{ m}^3/\text{s m}$$

Bij een stormduur van 6 uur met constante waterstand leidt dit tot een overslag debiet van:

$$Q = 1,46 * 3600 * 6 = 31536 \text{ m}^3/\text{m}$$

Het totale overslag debiet is:

$$Q_{\text{totaal}} = 31536 * 205 = (6.464.880) 8.041.680 \text{ m}^3$$

Het kanaalpeil stijgt dan met $8.041.680/9.500.000 = 0,68\text{m}$, tot N.A.P +2,81m bij een aanvangspeil van N.A.P +2,13 m.

Dit betekent dat op basis hiervan er weinig extra bergend vermogen aanwezig is en voor de nieuwe sluis slechts een kleine reductie van de kruinhoogte in rekening mag worden gebracht.

In extreme situaties mag het peil stijgen tot N.A.P +3,15 m, dit is 0,5 m onder de kade en dijkhoogte. Voor de berging is dan nog beschikbaar:

$$Q_{\text{extraberging}} = 9.500.000 * 0,34 = 3.230.000 \text{ m}^3$$

Het maximale overslagdebiet mag dan, bij een openingsbreedte van 125 m en stormduur van 6 uur, zijn:

$$q = 3.230.000/(3600 * 6 * 125) = 1,20 \text{ m}^3/\text{s m}$$

Benodigde overslaghoogte:

$$h_{kr} = -\frac{1}{3} * \gamma_\beta * \gamma_n * H_s * \ln\left[\frac{q}{0,13 \sqrt{g * H_s^3}}\right]$$

$$h_{kr} = -\frac{1}{3} * 1 * 1 * 2,80 * \ln\left[\frac{1,20}{0,13 \sqrt{9,81 * 2,80^3}}\right]$$

$$h_{kr} = 0,43\text{m}$$

De bijdrage aan de kruinhoogte zijn:

- Maatgevende waterstand, deze is +5,75 m NAP.
- Hoogwaterstijging over planperiode, 0,25 m.
- Toeslag buistoten, buioscillaties en seiches (in maatgevende waterstand verwerkt).
- Bodemdaling in planperiode (onbekend).

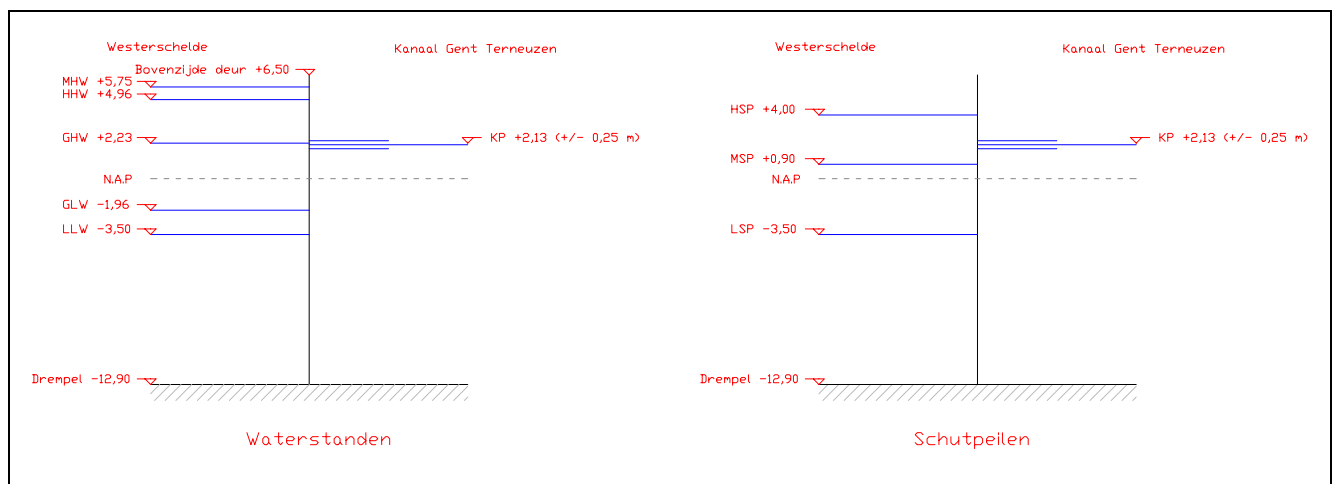
- Zettingen van ondergrond over planperiode, zetting en klink van de ondergrond Grote zettingen zijn niet toelaatbaar en worden ook niet verwacht i.v.m de lagere bovenbelasting onder de sluis.
- Golfoverslaghoogte, zie voorgaande: 0,43 m.

De hoogte van het sluisplateau en de deurbeplating komen te liggen op:

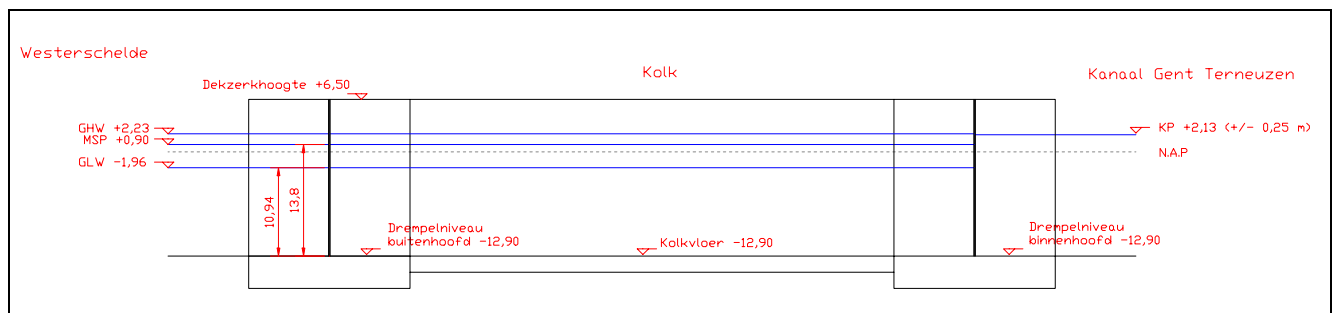
$$h_{\text{aanleg}} = 5,75 + 0,25 + 0,43 = 6,43 \text{ m}$$

Voor de aanleghoogte, dwz dekzerkhoogte en bovenkant deurbeplating wordt uitgegaan van 6,5 m boven NAP voor het buitenhoofd.

In principe kunnen de kolkwandhoogte en de dekzerkhoogte van het binnenhoofd afgestemd worden op het maximale schutpeil van + 4 m N.A.P. De aanleghoogte zal hier boven moeten liggen, waardoor het verschil tussen buitenhoofd en de rest van de sluis al snel minimaal is. Gekozen wordt dan ook voor een aanlegniveau dat voor de gehele sluis gelijk is.



Figuur 6.3: Optredende waterstanden en schutpeilen.



Figuur 6.4: Aanlegniveau's drempels, vloer en dekzerk.

7 Deuren/afsluitmiddelen sluiskolk

De sluisdeuren zijn een belangrijk onderdeel van de sluis. De deuren vormen de beweegbare waterkering welke in gesloten stand een verval keren en in geopende stand schepen kunnen laten passeren. De deuren zijn zowel in het buitenhoofd als het binnenhoofd gesitueerd, zodat een afgesloten ruimte ontstaat tussen de gesloten deuren, waarin het waterniveau verhoogd dan wel verlaagd kan worden naar het niveau van het kanaalpand of de Westerschelde. Met behulp van bewegingswerken kunnen de deuren geopend en gesloten worden.

Omdat de vormgeving van het hoofd direct bepaald wordt door het type deur wordt de deur keuze vooraf vastgesteld voordat gekeken wordt naar de uitbreidingsmogelijkheden. Hierdoor is een specifiek beeld te geven van de mogelijkheden en de te verwachten knelpunten.

7.1 Functies van de afsluitmiddelen

Sluisdeuren zijn er in vele soorten, al dan niet voorzien van voorzieningen voor het vullen en ledigen van de kolk. Het deurtype wordt enerzijds bepaald door de randvoorwaarden en het programma van eisen, anderzijds vormen de kosten een belangrijk aspect bij de keuze tussen twee gelijkwaardige alternatieven. Eerst worden hier de functies die de deuren moeten kunnen vervullen genoemd, waarna diverse deurtypen kort worden toegelicht.

De sluisdeur moet een vijftal functies vervullen:

- Keren: De waterstand op het kanaal kent slechts kleine fluctuaties, de waterstand op de Westerschelde daar in tegen varieert sterk en staat tijdens gemiddeld hoogwater boven het kanaalpeil en tijdens laagwater onder het kanaalpeil. Dit betekent dat de deuren dubbelzijdig moeten kunnen keren. Daarnaast moeten de deuren in staat zijn de extreme waterstanden te keren.
- Bewegen: In geopende stand moet het vereiste profiel van vrije ruimte beschikbaar zijn voor het laten passeren van het maatgevende schip, zowel in de breedte als in de hoogte en in de diepgang. Daarnaast moet het openen of sluiten binnen een beperkte tijdsduur, welke een deel is van de totale duur van de schutcyclus, plaatsvinden.
- Afdichten: In gesloten stand moet de deur de scheiding vormen tussen zout en zoet water en mag lekken van zout water op het zoete pand niet voor komen. In droge perioden geldt een beperking van de lekverliezen langs de deur(en).

De overige twee functies zijn afhankelijk van de keuze van het vul- en ledigingssysteem en de oeververbinding over de sluis via de deuren of via een brug.

- Doorlaten: via afsluitbare openingen in de deur kan het waterniveau in de kolk door de deur geregeld worden.
- Verbinden: Het wegverkeer kan via het op de deur aangebracht rijdek de sluis passeren in kerende stand van de deur.

7.2 Deurtypen

Onderstaand een kort overzicht van de belangrijkste toegepaste deurtypen voor schutsluizen met enkele kenmerken en eigenschappen, ook de geschiktheid van toepassing in de nieuwe sluis wordt hierbij vermeld.

Deuren zijn onder te verdelen in groepen waarbij onderscheid wordt gemaakt in de bewegingsmechanisme, deze zijn:

- Deuren roterend om verticale as.
- Deuren roterend om horizontale as.
- Horizontaal bewegende deuren.
- Verticaal bewegende deuren.

7.2.1 Deuren roterend om verticale as

Puntdeuren:

Puntdeuren zijn vlakke deuren die in gesloten stand tegen elkaar steunen en een punt vormen. De deuren draaien om een verticale as in de deurkassen. De krachten t.g.v. het verval worden naar de sluiswanden overgedragen, zowel loodrecht op de sluisas (spatkrachten) als evenwijdig aan de sluis as. De deuren zijn in principe alleen geschikt om eenzijdig te keren.

De deuren bevinden zich in geopende stand in uitsparing in de sluiswand, om ongehinderde doorvaart te geven.

De puntdeur is voor de nieuwe sluis ongeschikt om toe te passen. Ten eerste door de grote breedte van de sluiscolk. Deze is minimaal 40 meter breed. De breedte en hoogte verhoudingen zijn dan ongunstig. De deuren worden erg zwaar evenals het bewegingswerk. Daarnaast zullen de krachten op de draaipunten groot worden. Deze problemen zijn mogelijk op te vangen door de deuren aan het uiteinde te ondersteunen door middel van rolwagens, en/of het gewicht te verminderen door het gebruik te maken van drijfkisten/luchtkamers.

Het aanbrengen van een rijdek op de deuren zal gezien de onderlinge hoek tussen de deuren moeilijk zijn.

Tot slot de beperkte mogelijkheid om tweezijdig te keren. Dit is wel op te lossen door een tweede stel deuren toe te passen maar hierdoor zijn meerdere deuren nodig wat tot een kostenverhoging leidt en bovendien is een twee keer zo lang binnen- en buitenhoofd noodzakelijk.

Enkele draaideur:

Dit deurtje is een vlakke deur die in gesloten stand loodrecht op de sluisas afsluit. De krachten worden dan via het draaipunt en deurtip evenwijdig aan de sluis naar de wanden overgebracht. In geopende stand verdwijnt de deur in een lange deurkas. In de tegenoverliggende kant is een deurnis uitgespaard, waar de deur in gesloten stand tegen aan steunt. De deur kan tweezijdig keren indien deze voorzien is van een vergrendeling.

Ook deze deur is ongeschikt om toe te passen. Vooral door de grote breedte zal een lange deurkas nodig zijn en dus een lang hoofd, eveneens zijn zware draaipunten noodzakelijk. De deur is gevoelig voor vuil en ijs. Deze deuren worden dan ook alleen toegepast in sluizen met een kleine breedte.

Overige minder frequent toegepaste typen deuren roterend om een verticale as zijn de staande segmentdeuren en waaierdeuren. Voor toepassen in deze sluis zijn dit type deuren niet geschikt.

7.2.2 Deuren roterend om horizontale as

Segmentdeur:

Een segmentdeur is een deur met in het verticale vlak gezien een doorsnede van een cirkelsegment. Aan beide zijden van de deur t.p.v. de wanden hangt de deur aan korte armen die door de scharnierpunten gaan samenvallen met het middelpunt van de cirkel. De armen lopen door het middelpunt en zijn aan de andere zijde voorzien van contragewichten. Dit type deur is toegepast bij de Thames Barrier in Londen. In geopende stand bevindt het cirkelsegment zich in een uitsparing in de bodem, waardoor een vrij doorvaarthoogte ontstaat. Naar bovendraaien is ook mogelijk maar beperkt de doorvaarthoogte. De deur kan tweezijdig keren. Alle krachten gaan door het scharnier, waar het vervolgens evenwijdig aan de sluisas naar de wanden wordt overgedragen.

Het voordeel van de deur is het beperkte ruimtebeslag naast de sluis door het ontbreken van diepe deurkassen en is dus toepasbaar indien weinig ruimte voorhanden is naast de sluis. Dit type deur is toe te passen in brede sluizen, en komt daarom in aanmerking voor deze sluis.

Nadelen zijn de grotere aanlegdiepte voor de uitsparing in de bodem, de gevoeligheid voor vuil en slib. De deur combineren met een rijdek zal niet mogelijk zijn. Hierdoor zal gebruik moeten worden gemaakt van bruggen als oeververbinding.

Sectordeur:

Een variant op de segmentdeur is de sectordeur. Deze heeft geen contra gewicht en is voorzien van langere armen. De deur met armen vormen een sector van een cirkel. Voorbeeld zijn de deuren in de

Haringvliet spuisluis. De deuren worden voornamelijk toegepast bij sluizen in het bovenhoofd en met een zeer groot verval. Deze deuren zijn minder geschikt om toe te passen bij de nieuwe sluis.

Klepdeur:

Een klepdeur is een vlakke deur met de horizontale draaiingsas op de bodem. In geopende stand ligt de klepdeur in een uitsparing in de bodem. In gesloten stand rust de deur tegen sponningen in de sluiswanden. De deur kan met een vergrendeling tweezijdig keren. De krachten worden via de opleggingen, in de sponningen, evenwijdig aan de sluisas overgedragen naar de sluiswanden. Nadelen van de klepdeur zijn de draaipunten onder water en hiermee samenhangend de moeilijke inspectie en onderhoud, de gevoeligheid voor vuil en afzetting van slib. Tot slot kan de grote waterbeweging tijdens het openen en sluiten opgemerkt worden wat een grote menging van zout en zoet water tot gevolg heeft. Om deze redenen is deze deur niet geschikt om in dit geval toe te passen.

7.2.3 Horizontaal bewegende deuren

Roldeur:

De roldeur is een vlakke deur welke loodrecht op de sluisas beweegt. In geopende stand bevindt deur zich in lange deurkassen naast de sluis en sluit in gesloten stand de doorvaartopening loodrecht af. De deur kan tweezijdig keren, waarbij de vervalbelasting via de aanslagen in de sponningen direct worden afgedragen naar de sluiswanden. De deur rust op rolwagens die over rails aangebracht op de sluisbodem rijden. Om de belasting op de rolwagens te verminderen worden de deuren vaak voorzien van drijfkisten. Roldeuren kunnen toegepast worden in sluizen met een grote breedte. Tevens is het mogelijk het wegverkeer over de deuren te laten plaats vinden waardoor geen extra bruggen hoeven worden gebouwd. Een variant op de roldeur is de glijdeur, waarbij de deur over een dunne waterfilm glijdt. De onderrolwagens zijn vervangen door hydrovoeten/fenders en de rails door glijbaan. Nadelen van de deur zijn het ruimte gebruik naast de sluis welke nodig is voor de lange en dure deurkassen en het dure deurgeleidingssysteem.

Het ruimtegebruik naast de sluis kan beperkt worden door middel van het toepassen van gebogen roldeuren. De deur draait weg in een langs de sluiswand gelegen deurkas. Door de deur naar twee kanten te laten draaien/rollen is het mogelijk de kolk lengte te verkleinen in geval van een lager verkeersaanbod en/of kleinere schepen. De keuze voor dit type deur is te overwegen indien weinig ruimte naast de sluis voor handen is.

7.2.4 Verticaal bewegende deuren

Hefdeur:

Net als de roldeur is een hefdeur een vlakke deur die de doorvaart loodrecht afsluit. In plaats van horizontale richting beweegt de hefdeur zich in verticale richting. Hierbij wordt de deur langs geleidingen in heftorens omhoog getrokken, vaak door middel van kabels. De deur is in staat tweezijdig te keren, waarbij de verval krachten via de aanslagen in de sponningen direct worden afgedragen naar de sluiswanden. Voordelen zijn de korte hoofden, onderhouds- en inspectiemogelijkheden en het niet gevoelig zijn voor vuil en slib. Het grootste nadeel is de beperkte doorvaarthoogte en om deze reden niet toepasbaar in de nieuwe sluis, waar een onbeperkte doorvaart hoogte geëist wordt.

Zakdeur:

De zakdeur kent het probleem van de beperkte doorvaarthoogte niet. In plaats van omhoog, zakt de deur in een schacht in de bodem. Dit is ook een groot nadeel aangezien er een diepe schacht voor nodig is, doordat het verval relatief klein is. Daarnaast is de deur moeilijk bereikbaar voor inspectie en onderhoud en is tevens gevoeliger voor vuil en slib.

Wel biedt het mogelijkheden voor het beperken van de zoutlast. Bij minder diep stekende schepen hoeft deur niet geheel geopend te worden waardoor het uitwisselingsoppervlak wordt verkleind. Zie ook literatuurrapport hoofdstuk 9. Echter mede door de diepe schacht en de gevoeligheid voor slib en vuil minder geschikt als deur voor de nieuwe sluis.

7.2.5 Overig

Naast de voorstaand genoemde deuren zijn nog meer soorten sluisdeuren te bedenken. Als aanvulling naast de bekende deurtypen is het ook mogelijk de deuren van een ander materiaal te vervaardigen dan het gebruikelijke staal. Andere materialen die hier toepasbaar zouden kunnen zijn, zijn kunststof/composiet en zeer hoge sterkte beton. Deze mogelijkheden vallen echter buiten het kader en er zal niet verder op ingegaan worden. Voor deze sluis zal uitgegaan worden van bestaande deurtypen van staal.

7.3 Toe te passen deuren

Uit deze korte beschouwing blijkt dat er slechts een aantal deuren, die momenteel in gebruik zijn, geschikt zijn om toegepast te worden in de nieuwe sluis. Dit zijn de roldeur, al dan niet recht of gebogen, en de segmentdeur. Dit blijkt eveneens uit onderstaande tabel waarin de deurtype is uitgezet als functie van het type sluis en de doorvaartbreedte

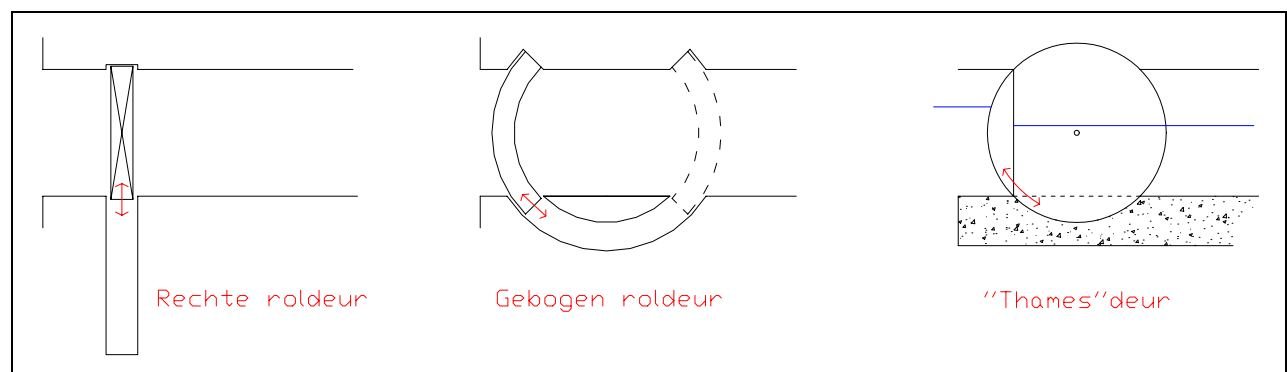
Sluistype	Sluisbreedte	Puntdeur en eenzijdig kerend	Dubbel stel puntdeuren	Puntdeuren tweezijdig kerend	Draaideur eenzijdig kerend	Draaideur tweezijdig kerend	Roldeur Recht (gebogen)	Hefdeur
Zeesluis, tweezijdig keren	Klein: 6-10 m Middelgroot: 10-16 m Groot: 16-25 m Zeer groot: >25 m		X X X	X X X		X X	X, (X) X, (X)	
Binnenvaartsluis, tweezijdig keren	Zeer klein: 4-6 m Klein: 6-10 m Middelgroot: 10-16 m Groot: 16-25 m		X X X	X X X		X X X	X, (X)	X X
Binnenvaartsluis, eenzijdig keren	Zeer klein: 4-6 m Klein: 6-10 m Middelgroot: 10-16 m Groot: 16-25 m	X X x			X X			X X

Tabel 7.1: Deurtype en toepassingsgebied.

In de volgende paragraaf zal verder ingegaan worden op het toe te passen deurtype.

7.4 Deurkeuze

Voorgaand zijn de meest voorkomende deurtypen kort besproken. Uit de korte bespreking zijn een drietal type deuren naar voren gekomen die in aanmerking komen als afsluitmiddel voor de nieuwe sluis. Deze zijn de roldeur, zowel recht als gebogen, en de segment deur van het type Thames Barrier. In onderstaande figuur 7.1 zijn de drie deurtypen geschetst. Vervolgens zal onderstaand de keuze van het deurtype en het aantal deuren nader worden uitgewerkt.



Figuur 7.1: De drie deurtypen.

7.5 Deurtype

Ruimte gebruik en locatie van de sluis:

Een kenmerkend verschil voor de drie deurvarianten is de positie waarin de deuren zich bevinden in geopende stand.

De rechte rol deur bevindt zich loodrecht op de sluisas buiten de doorvaartopening. In lengte richting over de sluis gezien kan de rechte roldeur in een relatief kort hoofd worden gerealiseerd. In de breedte daar in tegen wordt veel ruimte in genomen. Voor het onder brengen van de deur in geopende stand heeft de deurkas ruim de lengte van de deur. Bij het toepassen van twee roldeuren neemt de lengte van het hoofd toe, de breedte loodrecht op de sluisas blijft gelijk.

De gebogen roldeur bevindt zich in geopende stand min of meer evenwijdig aan de sluisas. Hierdoor is het hoofd van de gebogen roldeur langer dan die van een rechte deur, maar daar staat tegen over dat deze veel minder ruimte in de breedte inneemt. De kolk wordt afgesloten door een cirkelvormige deur met een straal van ongeveer 36 meter. Naast de sluis is dan nog maar ongeveer 20 meter nodig voor de deurkas. Dit is minder dan de helft van een rechte deurkas.

De “Thames” deur neemt het minste ruimte in beslag. Met name naast de sluis is alleen ruimte noodzakelijk voor het bewegingswerk. De deur zelf draait in de bodem weg.

De locatie van de sluis is een belangrijk gegeven voor het soort deur dat toegepast kan worden. De nieuwe sluis wordt gesitueerd ten westen van de Westsluis. Gegeven deze locatie is er voldoende ruimte naast de sluis aanwezig voor de deurkassen. Het toepassen van een ruimte besparende deur is dus niet noodzakelijk

Wegverbinding:

De rechte roldeur biedt de mogelijkheid het wegverkeer via de deuren te laten verlopen. Bij de andere twee deurtypen zijn afzonderlijke oeververbindingen in de vorm van bruggen noodzakelijk.

Kosten:

Uit een kostenraming gemaakt voor de nieuwe sluis bij IJmuiden blijkt de rechte roldeur qua kosten voordeliger te zijn dan een “Thames” deur. Het mag verwacht worden dat de kosten van een gebogen roldeur ook minder gunstig is dan die van een rechte deur, door o.a. de gebogen vormen, complexere deurgeleiding, looprail en deurkas.

Ervaring en betrouwbaarheid:

Tot slot kan opgemerkt worden dat rechte roldeuren veelvuldig met succes zijn toegepast in grote en kleinere sluizen in binnen- en buitenland. Er is dus veel ervaring en kennis aanwezig. Dit heeft een gunstige uitwerking op de betrouwbaarheid in de werking van deze deuren.

Conclusie:

Uit voorgaande korte beschouwing lijkt de keuze voor een rechte roldeur hier de meest voor de hand liggende is. Wat betreft ruimte gebruik is het gezien de locatie niet noodzakelijk een compacte deur toe te passen, de mogelijkheid om het wegverkeer via de deuren te laten verlopen, de waarschijnlijk laagste investeringskosten en de ruime ervaring met dergelijke deuren zijn in het voordeel van de rechte (rol)deur. Gekozen wordt voor een rechte roldeur.

7.6 Aantal deuren

Het minimale aantal deuren om te kunnen schutten is twee. Echter de keuze voor het totale aantal deuren in de sluis hangt af van het programma van eisen en de randvoorwaarden.

Met het oog op de randvoorwaarden en het programma van eisen zijn te onderscheiden:

- Veiligheid: De schutsluis vormt een onderdeel van de primaire waterkering. Falen van een deur mag niet leiden tot falen van de constructie.
- De aanwezigheid van de andere schutvoorzieningen: De Westsluis biedt dezelfde mogelijkheden tot het schutten van schepen. Bij uitval van één van de sluizen betekent dat, dat de ander de taak kan over nemen, echter wel met toename van de wachttijden. De beschikbaarheid kan dan toleranter zijn dan in geval slechts één sluis aanwezig is. Bij een grotere sluis van bijvoorbeeld gelichterde Cape-Size is een grotere beschikbaarheid wel weer noodzakelijk aangezien het dan weer de enige sluis is en geen alternatieven voorhanden zijn

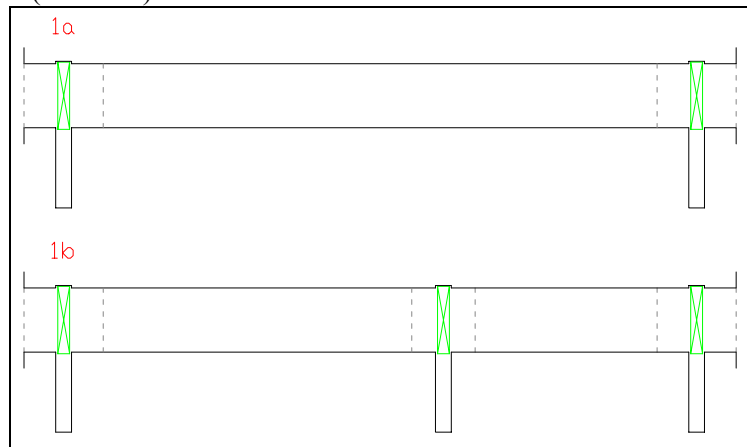
voor de grootste schepen. Dit met het oog op de mogelijke toekomstige uitbreiding van de sluis.

- Betrouwbaarheid/beschikbaarheid: meer deuren, twee per hoofd, betekend een kleinere kans dat de sluis niet beschikbaar is.
- Kosten: Meer deuren betekend hogere kosten. Hier tegenover staat dat de kans op niet-beschikbaarheid toe neemt bij één deur per hoofd en hiermee de kosten van congestie toenemen.
- Milieu: Het toepassen van een tussenhoofd verkleint het kolkvolume en hiermee de zoutlast op het kanaal.

In totaal zijn 6 verschillende reële configuraties mogelijk:

1a. Sluis met een buitendeur en een binnendeur, minimale vereiste aantal (2 deuren)

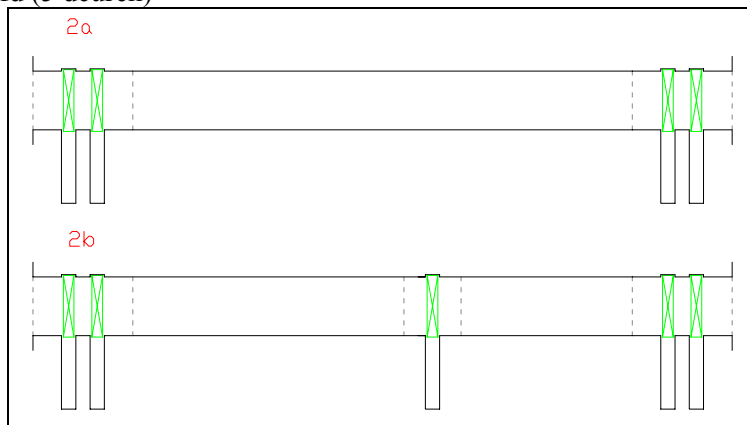
1b. 1a + tussenhoofd (3 deuren)



Figuur 7.2: Configuraties 1a en 1b.

2a. Sluis met twee buitendeuren en twee binnendeuren (4 deuren)

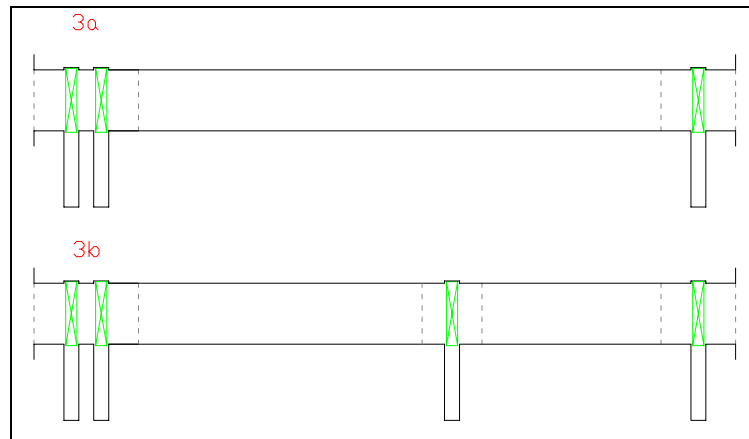
2b. 2a + tussenhoofd (5 deuren)



Figuur 7.3: Configuraties 2a en 2b.

3a. Sluis met twee buitendeuren en een binnendeur (3 deuren)

3b. 3a + tussenhoofd (4 deuren)



Figuur 7.4: Configuraties: 3a en 3b.

7.6.1 Tussenhoofd

Het tussenhoofd maakt het mogelijk een kleinere kolk te gebruiken. Het is gebruikelijk dat de twee kolkdelen ongelijk aan elkaar zijn. Voor het schutten van kleinere schepen kan gebruik worden gemaakt van de dealkolk, hierdoor wordt de kolkvolume beperkt en hiermee de schuttijd en de zoutlast op het kanaal beperkt. Er worden geen eisen gesteld met betrekking tot de mogelijkheid van het schutten van schepen in een dealkolk in het programma van eisen.

De Westsluis is van een tussenhoofd voorzien. Hierdoor wordt het niet noodzakelijk geacht dat de nieuwe sluis eveneens wordt uitgerust met een tussenhoofd. Immers door het toewijzen van de sluis aan de schepen kan gezorgd worden dat kleinere schepen gebruik maken van de Westsluis met dealkolk. De grotere schepen die niet in de dealkolk passen maken gebruik van de nieuwe sluis.

Bij een eventuele uitbreiding van de sluis in de toekomst zorgt het tussenhoofd voor extra complicaties en kan in het geval van verlenging mogelijk helemaal overbodig worden. Het buiten- of binnenhoofd zal dan gezien kunnen worden als tussenhoofd, afhankelijk van de verlengingsrichting.

Er wordt gekozen voor een sluis zonder een tussenhoofd.

7.6.2 Buiten- en binnenhoofd

Veiligheid:

De minimale configuratie, 1a, is één deur in het buitenhoofd en één deur in het binnenhoofd. Met betrekking tot de Wet op de Waterkering is het wel noodzakelijk dat de binnendeur, de buitendeur kan vervangen in geval van falen van de buitendeur, is dit het geval dan worden geen extra eisen gesteld aan de betrouwbaarheid van de afsluiting. Dit betekent dat de binnendeur en binnenhoofd een gelijke kerende hoogte moet hebben als de buitendeur en buitenhoofd. In hoofdstuk 6 wordt nader ingegaan op de verschillende peilen en niveau's.

Voor configuratie 3a, zoals ook toegepast bij de Noordersluis in het sluizencomplex bij IJmuiden, is het niet noodzakelijk dat de binnendeur gelijk is aan de buitendeur. Immers de tweede deur in het buitenhoofd kan de functie overnemen. Met het oog op vervanging en uitwisseling voor reparaties en onderhoud verdient het echter de aanbeveling te kiezen voor gelijke deuren.

Betrouwbaarheid en beschikbaarheid:

De configuratie met twee deuren in zowel buiten- als binnenhoofd biedt de meeste zekerheid. In geval van niet-beschikbaarheid van één van de deuren door bijvoorbeeld een storing wordt de tweede deur ingezet. De buiten bedrijfsgestelde deur kan dan hersteld worden in zijn eigen deurkas. Het schutbedrijf kan ongehinderd zijn doorgang vinden en stremming van de scheepvaart wordt zo voorkomen. Hoewel de keuze voor één of twee deuren per hoofd gemaakt wordt op basis van kosten zoals bouwkosten en kosten van (ongewenste) stremmingen tegen de baten zoals besparing op wachtkosten bij twee deuren over de levensduur wordt voor deze sluis gekozen voor twee deuren per hoofd.

8 Inventarisatie flexibiliteit voor sluis met rechte roldeuren

8.1 Inleiding

Afhankelijk van de toekomstige ontwikkelingen worden aan de sluis nieuwe functionele eisen gesteld waaraan de sluis in zijn huidige vorm niet aan kan voldoen. Nieuwe functionele eisen kunnen zijn dat de afmetingen van het te schutten maatgevende schip groter wordt, of een toename van het verkeersaanbod waardoor een grotere schutcapaciteit gewenst kan zijn. Het kunnen voldoen aan deze nieuwe toekomstige eisen maakt het noodzakelijk dat de hoofdafmetingen van de sluis aangepast moeten gaan worden. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de uitbreidingsmogelijkheden en de knelpunten die zich zullen gaan voordoen bij het uitbreiden van de sluis. Ook zal ingegaan worden op welke wijze welke uitbreiding noodzakelijk en nuttig is.

8.2 Uitbreidingsmogelijkheden

In principe zijn er drie uitbreidingsmogelijkheden van de sluis te onderscheiden, deze zijn:

- Verbreding,
- Verlenging,
- Verdieping.

Deze zijn zowel individueel als in combinatie met elkaar uit te voeren om het toelaten van grotere schepen mogelijk te maken. In de paragrafen 8.3, 8.4 en 8.5 worden respectievelijk verbreding, verlenging en verdieping nader toegelicht.

8.3 Verbreden van de sluis

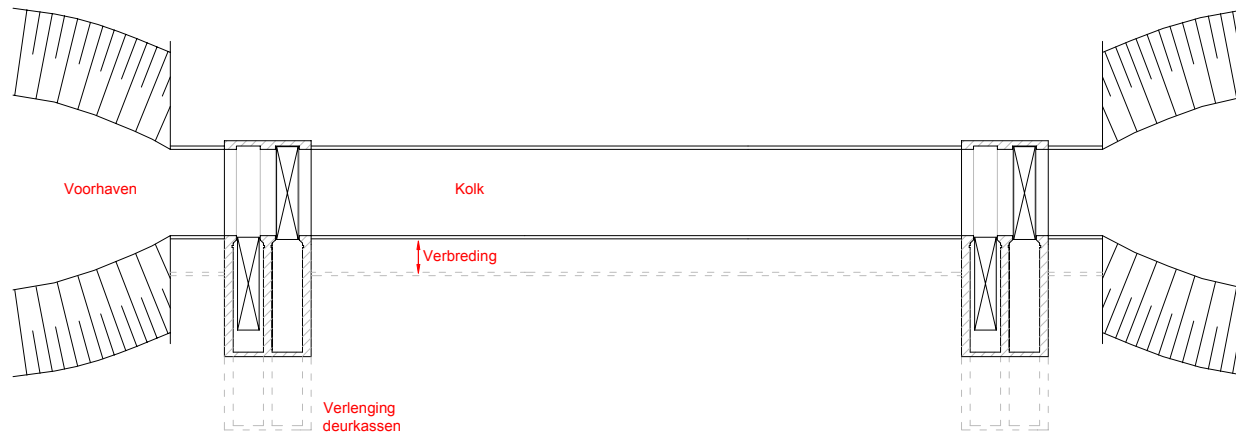
Het verbreden van de sluis heeft tot doel dat bredere schepen gesloten kunnen worden dan tot dan toe mogelijk is. Om (gelichterde) Cape-Size schepen te kunnen schutten is het noodzakelijk de sluis te verbreden met ongeveer 17 meter tot 57 meter over de gehele sluislengte. De verbreding zal over de gehele sluislengte moeten plaatsvinden, zowel de hoofden, de kolk en de sluisingang.

8.3.1 Verbredingsmogelijkheden

Er zijn twee mogelijkheden om de verbreding te realiseren. De eerste mogelijkheid is een enkelzijdige verbreding. Hierbij wordt één wand verplaatst en worden de deurkassen verlengd. Onder verplaatsen wordt verstaan dat achter de bestaande wand een nieuwe wordt gebouwd waarna vervolgens de oude wand kan worden verwijderd, of de aanwezige wand bestaat uit losse elementen die over een afstand verplaatst kunnen worden. De eenzijdige verbreding kan zowel aan de vlakke zijde, als aan de deurkaszijde worden uitgevoerd.



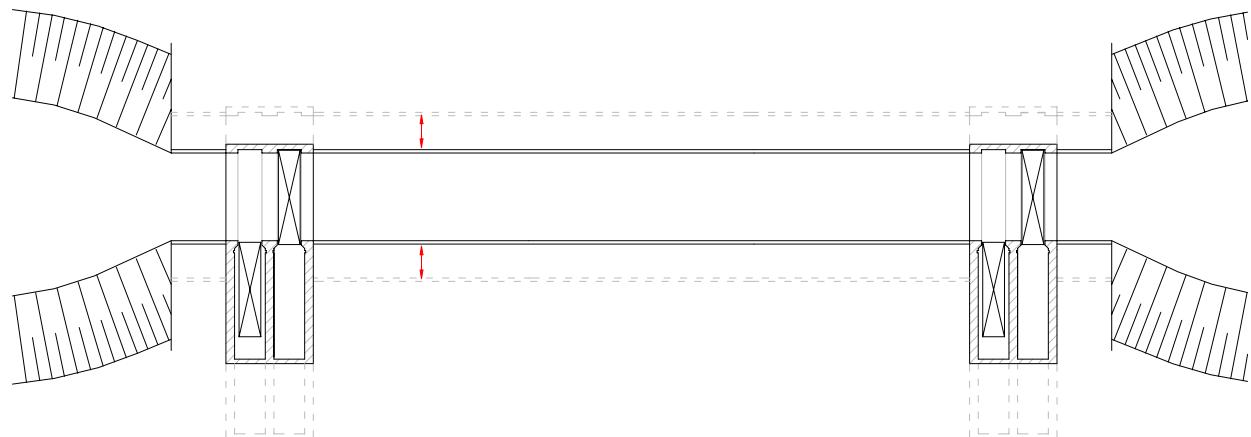
Figuur 8.1: Verbreding vlakke zijde (deurniszijde).



Figuur 8.2: Verbreding deurkaszijde.

Verbreden aan de vlakke zijde zal de voorkeur verdienen omdat bij verbreding aan de deurkaszijde de te verrichten aanpassingswerken aan het hoofd ingewikkelder zullen zijn.

De tweede mogelijkheid is tweezijdig verbreden waarbij beide wanden worden verplaatst. Deze aanpassingswijze is echter ongunstig omdat vrijwel de gehele sluis moet worden gesloopt en opnieuw moet worden opgebouwd. Deze methode zal dan ook niet verder uitgewerkt worden.



Figuur 8.3: Tweezijdig verbreden

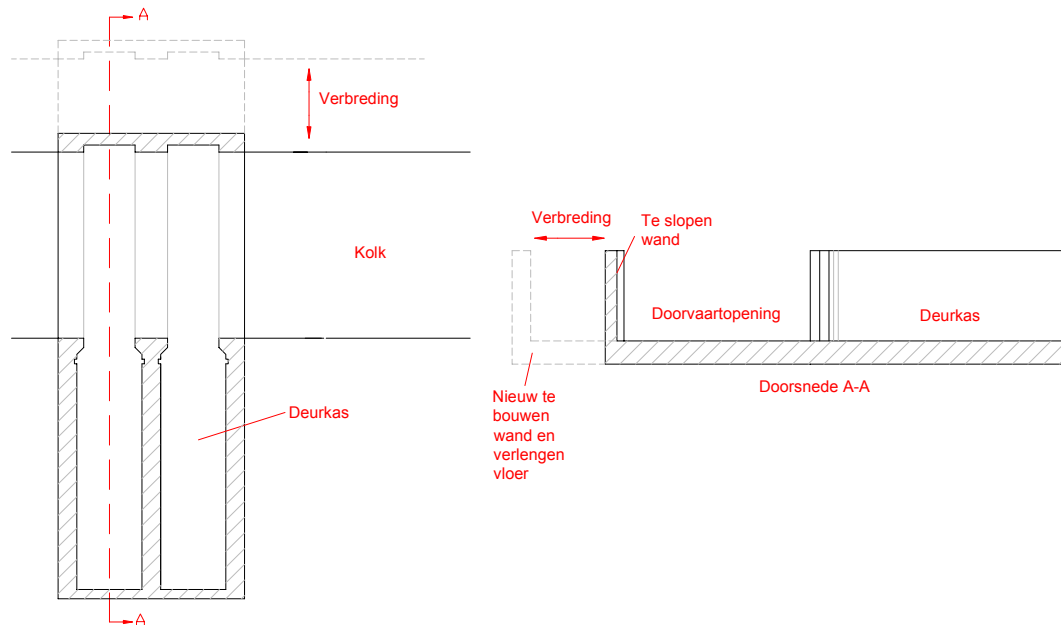
8.3.2 Knelpunten bij een verbreding

Bestaande sluisen zijn er niet voor ontworpen om aangepast te worden aan veranderende functionele eisen. Kleine aanpassingen zoals aanpassen van de bedrijfsvoering zijn vaak nog wel mogelijk, veranderingen aan hoofdafmetingen is zonder langdurige stremmingen vaak niet mogelijk. Oorzaken die verbreding van bestaande sluisen bemoeilijken en er een ingrijpende en langdurige operatie van maken zullen hier puntsgewijs worden genoemd.

- Constructie van hoofd en kolk.
- Afsluitmiddelen en bewegingswerken.
- Vul- en ledigingssysteem en zout/zoetscheidingssysteem.
- Droge infrastructuur en bebouwing.
- Natte infrastructuur.

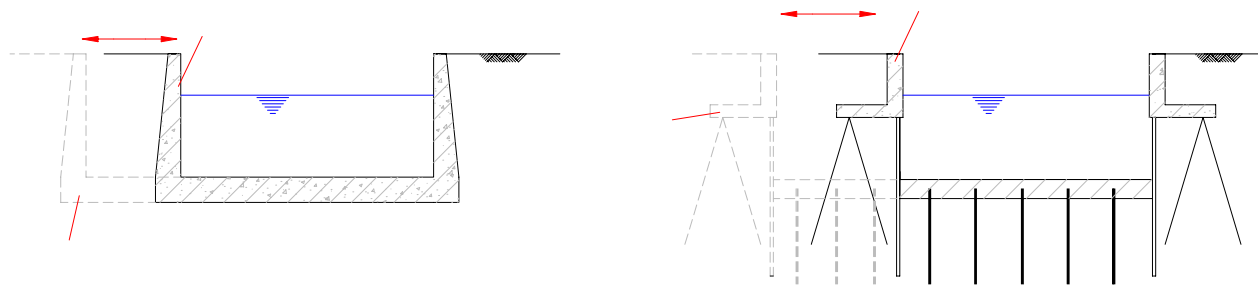
Constructie van kolk en hoofden:

De constructie van de hoofden van sluisen zijn geconstrueerd als betonnen bak, voorzien van scharnier(en) of als monoliet, en vormen één geheel, een sluis met een roldeur vormt daar geen uitzondering op, zie figuur 8.4. Verbreding hiervan is complex en niet mogelijk zonder drooglegging en afbraak van een deel van het hoofd.



Figuur 8.4: Verbreding hoofd.

Ook de sluiskolken zijn meestal uitgevoerd als bakprofiel waarvan wanden en vloer één geheel vormen of met elkaar in verband staan en opgebouwd zijn uit een constructie die niet verplaatsbaar is. Veel voorkomende constructies zijn de monolieten betonnen bak, damwanden met onderwaterbetonvloer en de hooggefundeerde L-wand. Ook hier is uitbreiding alleen mogelijk door het (gedeeltelijk) droogleggen en deels afbreken van de kolk. In onderstaande figuren zijn twee voorbeelden geschetst.



Figuur 8.5: Verbreding monolieten betonbak en hoog gefundeerde L-wand.

In hoofdstukken 9 en 14 worden respectievelijk de kolk en het hoofd behandeld en alternatieve constructies voorgesteld.

Afsluitmiddelen en bewegingswerken:

Bij verbreding moeten de deuren worden vervangen of aangepast worden omdat de af te sluiten opening breder zal zijn. De deuren zullen langer en breder worden. Dit heeft ook weer gevolgen voor het hoofd. Een grotere deur maakt grotere deurkassen noodzakelijk. Bij roldeuren zal de deurkas verlengd moeten worden en eventueel verbreed. Ook treden er grotere krachten op als gevolg van de

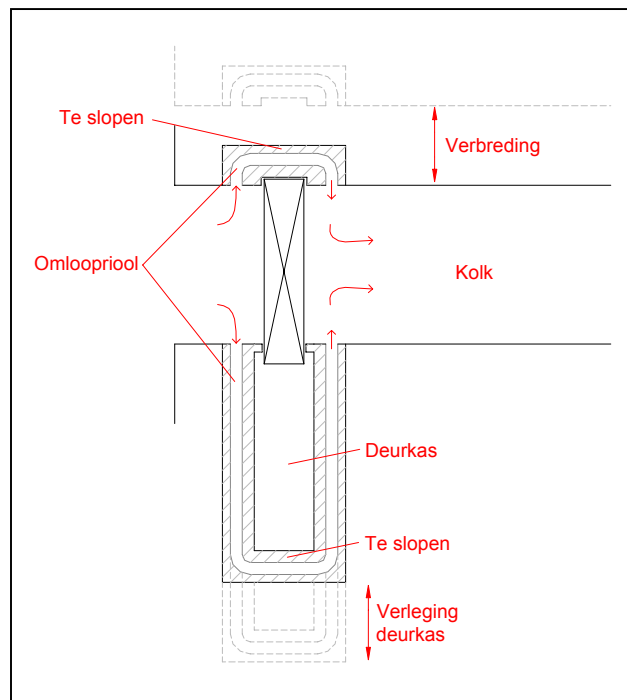
grotere opening welke weer opgenomen moeten kunnen worden door het hoofd. In hoofdstuk 12 wordt nader ingegaan op de deuren.

Bewegingswerken: Een grotere deur heeft ook een zwaarder bewegingswerk nodig. Daarnaast is het bewegingswerk vrijwel altijd in het verlengde van de deuren gesitueerd. Bij verlenging van de deurkas zal het verplaatst moeten worden. Hoofdstuk 13 gaat in op de bewegingswerken voor roldeuren.

Vul- en ledigingssysteem en zout/zoetscheidingssysteem:

Bij systemen bestaande uit omloopriolen en dwarsriolen is de plaatsing van het vul- en ledigingssysteem vaak zodanig dat bij verbreding vrijwel het gehele of een groot deel van het systeem moet worden aangepast. Bijvoorbeeld bij de Westsluis is verlenging van de deurkassen niet mogelijk zonder verplaatsing van de omloopriolen. Bij korte omloopriolen zoals toegepast bij de Noordersluis

in het zeesluizencomplex bij IJmuiden en zoals bij de Berendrechtsluis te Antwerpen zal ook een geheel nieuw systeem noodzakelijk zijn. De omloopriolen zijn hier in de wand van het hoofd geïntegreerd. In geval van verbreding zullen dan ook de wanden met de daarin opgenomen riolen komen te vervallen. In de figuur is dit geschematiseerd. Hetzelfde geldt voor het systeem met langsvulling langs de gehele kolkwand. Een eenvoudiger systeem via openingen in deuren kent deze bezwaren niet.



Figuur 5.6: Schematisatie korte omloopriolen in hoofd

Een zout/zoetscheidingssysteem bemoeilijkt de uitbreiding, met name bij complexe systemen als Duinkerken en Bergsendiep wordt een uitbreiding vrijwel onmogelijk zonder grootschalige aanpassingen.

De capaciteit van het vul- en ledigingssysteem is niet berekend op een groter kolkvolume als gevolg van de verbreding. De schuttijd zal dan toenemen.

In hoofdstuk 10 wordt ingegaan op het vul- en ledigingssysteem.

Infrastructuur en bebouwing:

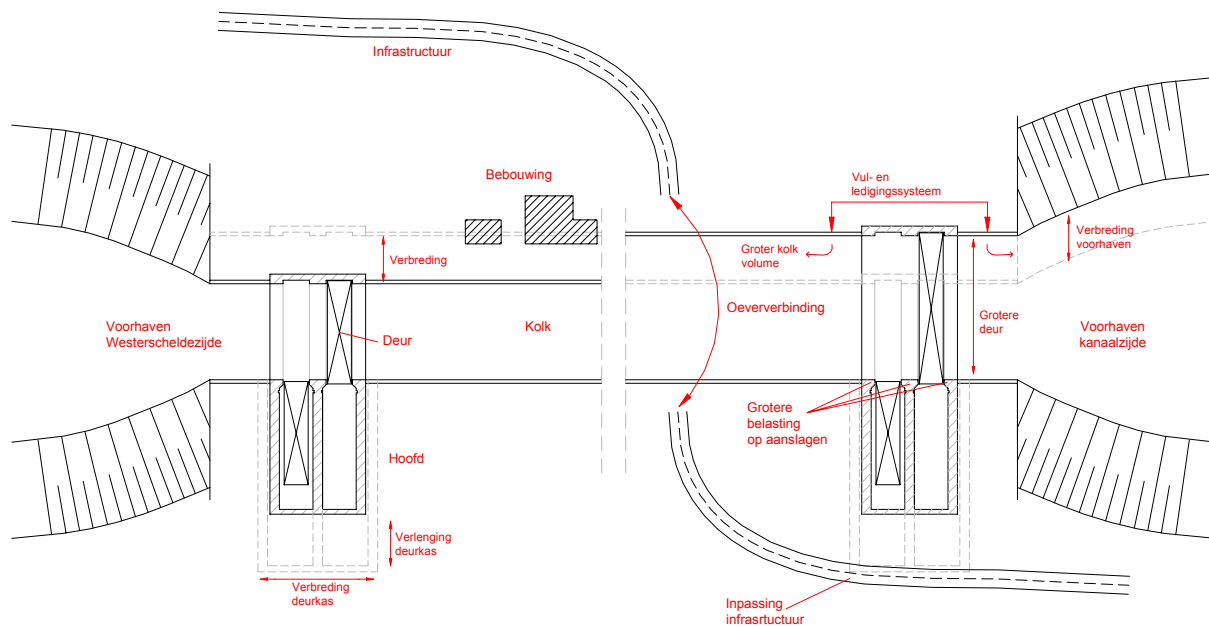
De aanwezige bebouwing en infrastructuur zoals bedieningsgebouwen, parkeerplaatsen en toeleidingswegen maken een uitbreiding onmogelijk indien deze niet verplaatst kunnen worden. Oeververbindingen over de sluis zullen vervangen moeten worden door nieuwe. In hoofdstuk 11 wordt ingegaan op de oeververbindingen over de sluis.

Natte infrastructuur:

Het toeleidingskanaal/voorhaven zullen eveneens verbreed moeten worden. De afmeer/ aanvaar en beschermingsconstructies voor de sluis ingang staan na verbreding in de weg en zullen dus ook verplaatst moeten worden. Hier zal in de uitwerking niet nader op ingegaan worden aangezien dit geen invloed heeft op de sluis zelf.

Samenvattend:

In onderstaande figuur is schematisch de complexiteit, raakvlakken en knelpunten van een verbreding weergegeven.



Figuur 5.7: Knelpunten verbreding en raakvlakken met omgeving.

Verbreiding heeft gevolgen voor:

- Constructie en afmetingen hoofd.
- Kolkconstructie.
- Deuren en bewegingswerken.
- Inpassing en capaciteit van het vul- en ledigingssysteem.
- Oeververbinding.
- Inpassing van droge infrastructuur en bebouwing.
- Natte infrastructuur.

Gesteld kan worden dat een verbreding verregaande gevolgen heeft. De constructie en dus het ontwerp van de sluis zal aangepast moeten worden om een verbreding zonder grootschalige sloop van de bestaande constructies mogelijk te maken.

8.4 Verlenging

Door verlenging van de sluis wordt het mogelijk één enkel langer schip of twee kleinere schepen tegelijk te schutten. Om schepen van Cape-Size lengte te kunnen schutten is een minimale sluislengte van 445 m noodzakelijk. Dit betekent dat een sluis van Panamax formaat met ongeveer 40 meter verlengt dient te worden.

Uit de praktijk zijn voorbeelden bekend van sluisverlengingen van bestaande sluizen welke reeds zijn uitgevoerd of in de planning staan. Voorbeelden zijn de verlenging van de sluizen in de Maasroute en de verlenging van de Kleine sluis te IJmuiden als onderdeel van een algehele reconstructie.

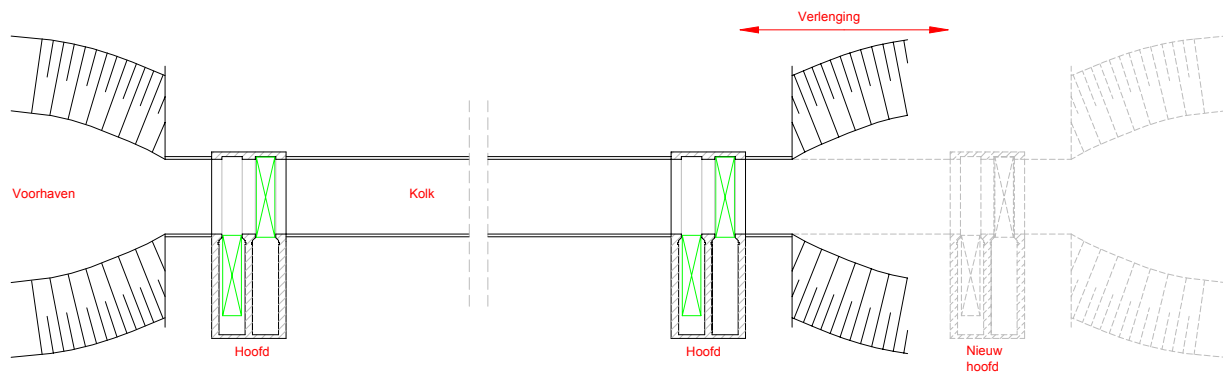
8.4.1 Verlengingsmogelijkheden

Er zijn twee mogelijkheden voor de verlenging. De sluis kan verlengd worden aan de zeezijde of aan de kanaalzijde. Qua uitvoering zal verlenging aan de kanaalzijde de voorkeur genieten door het constante waterniveau, geen eb en vloed, kleinere golven, er zijn alleen scheepsgolven en het werk is binnen de primaire waterkering waardoor er minder rekening hoeft worden gehouden met extreme omstandigheden als stormvloed en golven en derhalve ook buiten het gesloten seizoen gewerkt worden.

Het aanwezig zijn van een zout/zoetscheidingssysteem waarbij een zoutput en diepgelegen instroomopeningen aan de kanaalzijde zijn gesitueerd maakt uitbreiding aan deze zijde echter weer moeilijker. Dan is een uitbreiding aan Westerscheldezijde is mogelijk een betere optie.

Verlenging van de sluis zal bestaan uit de volgende onderdelen:

- Bouw van nieuwe kolk in verlengde van bestaande sluis.
- Bouw van een nieuw hoofd.
- Verlengen/aanpassing riolen en in- en uitstroomopeningen van het vul- en ledigingssysteem.



Figuur 5.8:

Als gevolg van de verlenging zullen er twee deelkolken ontstaan, waarbij het bestaande binnenhoofd het tussenhoofd wordt. De noodzakelijke verlenging van Panamax naar Cape-size formaat is relatief klein, +/- 40 m, waardoor de deelkolk tussen het tussenhoofd en het nieuwe hoofd niet of nauwelijks bruikbaar zal zijn voor het schutten van schepen. Het ligt dan ook voor de hand de verlenging zodanig lang te maken dat deze wel bruikbaar is als deelkolk.

In plaats van deelkolken is het ook mogelijk de deuren uit het oude hoofd in het nieuwe te plaatsen. Hierbij verliest het oude hoofd weliswaar zijn functie, maar er kan dan bespaard worden op een stel extra deuren.

8.4.2 Knelpunten van een verlenging

Onderstaand zullen de belangrijkste knelpunten worden genoemd welke een verlenging voor bestaande sluizen bemoeilijken.

Constructie van hoofd en kolk:

De bestaande sluisconstructie zal van weinig invloed zijn op het verlengen en andersom zal het de mogelijkheid om te verlengen weinig van invloed zijn op het ontwerp van het hoofd en kolk. De veranderingen vinden immers buiten de sluis plaats. Het enige raakvlak dat genoemd kan worden is de aansluiting aan de bestaande sluis.

Afsluitmiddelen en bewegingswerken:

Ook voor de bestaande afsluitmiddelen zijn geen beperkingen te noemen. Wel kan het zijn dat de deuren verplaatst moeten kunnen worden naar het nieuwe hoofd indien het oude ook zijn functie van tussenhoofd verliest. Voor de in gebruik zijnde deuren in het algemeen levert dit geen problemen op aangezien de deuren voor onderhoud e.d. weggenomen moeten kunnen worden.

Voor de bewegingswerken geldt hetzelfde.

Vul- en ledigingssysteem en zout/zoetscheidingssysteem:

In principe kunnen de riolen van het vul- en ledigingssysteem behouden blijven. Een verlenging kan wel gevolgen hebben voor de in- en uitstroomopeningen die aan de voorhavenszijde geprojecteerd zijn. Bij toepassing van wandopeningen zal dit tot weinig problemen leiden. Ook het systeem waarbij water

via bodemroosters in- en uitstromen is het in principe mogelijk de nieuwe kolk er op aan te laten sluiten met behoud van het aanwezige systeem. Bij toepassing van langsriolen zullen deze verlengd en aangesloten moeten worden op de bestaande riolen.

Net als bij verbreding neemt ook hier het volume van de kolk toe. Het aanwezige systeem in bestaande sluizen is hier niet op berekend. Aanpassen van het systeem zal nodig zijn of de langere schuttijden moeten geaccepteerd worden.

Een zout/zoetscheidingsysteem maakt het verlengen echter complexer. Bij het systeem "Terneuzen" zijn aan de kanaalzijde de openingen diep gelegen en is een zoutput aanwezig. Het verlengen aan deze zijde zal betekenen dat deze openingen komen te vervallen, of aangepast moet worden. Systemen waarbij uitwisseling plaats vindt bij gesloten deuren zoals systeem Duinkerken zijn op zich zelf al gecompliceerd en maken een verlenging zonder langdurige stremmingen en hoge kosten vrijwel onmogelijk.

Droge infrastructuur en bebouwing:

Over het algemeen zal de droge infrastructuur en de bebouwing een verlenging niet in de weg staan. Deze zijn niet in het verlengde van de sluis geprojecteerd. Een uitzondering hierop is de oeververbinding over of nabij de sluis, deze kan mogelijk wel 'in de weg' zitten.

Natte infrastructuur:

In het verlengde van de sluis zijn in de toeleidingskanalen/voorhavens diverse voorzieningen aan gebracht zoals geleideconstructies, remmingwerken, meerstoelen e.d. Deze zullen ten behoeve van de verlengen verwijderd of verplaatst moeten worden.

Samenvattend:

Een verlenging zal constructief gezien weinig invloed hebben op de sluis zelf. Een uitzondering hierop is het vul- en ledigingssysteem en hiermee samenhangend het zout/zoetscheidingsysteem.

8.5 Verdieping

De diepgang wordt in eerste instantie bepaald door het economische optimum tussen bouwkosten en besparingen op het lichter en de winst in het kunnen ontvangen van grotere/dieper stekende schepen. Het naderhand verdiepen van de sluis is de meest ingrijpende ingreep. Na realisatie van een verdieping van de sluis kunnen schepen met een grotere diepgang in de sluis geschut worden. Hierdoor hoeven schepen niet of minder gelichter te worden. Als grens voor de diepgang van de maatgevende schepen geldt 16,36 m in zoet water. Dieper stekende schepen kunnen na de nog uit te voeren baggerwerkzaamheden op de Westerschelde Terneuzen niet bereiken. De drempeldiepte komt dan op – 18,3 m N.A.P te liggen (tabel 6.1).

Het is technisch wel mogelijk de sluis te verdiepen. De kolkwanden kunnen bijvoorbeeld dieper dan noodzakelijk worden aangebracht, zoals bij kaden in havens ook wordt toegepast. In geval van verdieping wordt de (open)bodem van de kolk uitgebaggerd. De hoofden zijn echter een ander verhaal. Vloer en wanden vormen één geheel om een voldoende stijve constructie te krijgen voor de deuren. Verdiepen zal er in feite op neerkomen dat vrijwel het gehele hoofd moet worden afgebroken en opnieuw worden opgebouwd. Dit maakt een verdieping achteraf een erg dure, langdurige en zeker geen relatief eenvoudige aangelegenheid. Een andere oplossing dan sloop kan zijn door het hoofd dieper aan te leggen en het aanbrengen van een verhoogde verwijderbare drempel waarover de deur(en) lopen. Hier realiseer je eerste instantie een diepere sluis die weer opgevuld wordt om vervolgens, indien gewenst, weer verdiept te worden. Omdat er, volgens de auteur, geen eenvoudig uitvoerbare mogelijkheid bestaat voor het verdiepen voorhanden is, zal deze optie ook niet verder worden uitgewerkt omdat dit zal leiden tot een dure en financieel oninteressante oplossing.

8.6 Wanneer welke uitbreiding

8.6.1 Panamaxsluis als uitgangspunt

De Panamaxsluis heeft de volgende afmetingen, zoals in de hoofdstuk 6 is bepaald, te weten een nuttige kolk lengte van 405 m, een breedte van 40 m tussen de wanden en een diepgang van 13,8 m. Met deze afmetingen kan een Panamaxschip gesluisd worden. Het verbreden van deze sluis op zich is niet voldoende om gelichterde Cape-Size schepen toe te laten en zal dan altijd in combinatie met een verlenging uitgevoerd moeten worden. Indien gekozen wordt voor alleen een verbreding is de sluis toegankelijk voor bredere schepen, echter de maximale scheeps lengte is in principe nog steeds 265 meter. De verbreding is gunstig voor windgevoelige schepen. Deze kunnen dan ook bij hogere windsnelheden gesluisd worden. Ook voor de overige schepen biedt een verbreding voordelen omdat het in- en uitvaren wordt vereenvoudigd en dus sneller kan plaatsvinden. Daar staat tegenover dat de vul- en ledigtijden toenemen door het toegenomen kolkvolume.

8.6.2 Andere sluisafmetingen als uitgangspunt

Het is niet logisch om alleen uit te gaan van een Panamaxsluis, omdat deze later toch uitgebreid kan gaan worden. Het is misschien beter om direct een langere sluis te bouwen zodat deze, om gelichterde Cape-Size schepen te kunnen sluisen, in de toekomst alleen nog maar verbreed hoeft te worden. Of andersom een bredere sluis bouwen zodat alleen verlenging noodzakelijk is. In onderstaande tabel zijn de mogelijkheden samengevat.

Basis sluis:	Uitvoering:	Minimale aanpassingen om gelichterde Cape-Size toe te laten:
1. Panamax	Minimale afmetingen (405*40*13,8)	Verbreding + verlenging
2. Panamax	Lang (445*40*13,8)	Verbreding
3. Panamax	Diep (405*40*18,3)	Verbreding + verlenging
4. Panamax	Breed (405*57*13,8)	Verlenging
5. Panamax	Lang + breed (445*57*13,8)	Geen
6. Panamax	Lang + diep (445*40*18,3)	Verbreding
7. Panamax	Breed + diep (405*57*18,3)	Verlenging

Tabel 8.1:

In de meeste gevallen is in principe alleen een verlenging en/of verbreding noodzakelijk. Dit wordt veroorzaakt doordat de lengte en breedte hoofdzakelijk bepalend zijn voor de capaciteit van de sluis en niet de diepgang. De diepgang van het schip is, tot een zekere hoogte, te veranderen door deze te lichten, terwijl de breedte en lengte vaste randvoorwaarden zijn.

Voor het bepalen van de sluisafmetingen waarvan het beste uit kan worden gegaan wordt een beroep gedaan op de uitkomsten van een parameterstudie uit het rapport ‘Analyse van de investeringskosten voor de bouw van de nieuwe zeesluis te Terneuzen’ door Haecon. Hierbij zijn verschillende sluisafmetingen met elkaar vergeleken vanaf Panamax formaat tot Cape-Size. Hieruit blijkt dat de variatie van de investeringskosten als functie van de sluisdimensies vrijwel lineair verloopt voor zowel de lengte, breedte als de diepte. Bij een vermeerdering van de kolk lengte met 1 m, verhogen de investeringskosten met ca. 0,08%. Bij een vermeerdering van de breedte met 1 m, verhogen de investeringskosten met ca. 2,1%. Bij een vermeerdering van de diepte met 1 m, verhogen de investeringskosten met ca. 6,5%.

Ter illustratie: De bouw van een Panamaxsluis is geraamd op 200 miljoen Euro. De bouw van dezelfde sluis waarbij alleen de lengte toeneemt naar 445 m, kost $0,08 \cdot 40 = 3,2\%$ meer. De bouwkosten van de sluis worden dan 206 miljoen Euro. Hetzelfde geval, alleen wordt de breedte vergroot met 17 m naar totaal 57 m. De bouwkosten nemen dan toe met 36% naar 272 miljoen Euro. De lengte van de sluis heeft dus relatief weinig invloed op de totale kosten van de sluis.

8.6.3 Het nut van de aanpassingen

Er kunnen een aantal opmerkingen worden gemaakt ten aanzien van het verlengen van de kolk.

Verlengen is net als verbreding een ingrijpende aanpassing, waaraan hoge kosten zijn verbonden. Op de vraag direct te kiezen voor een langere sluis of de sluis in een later stadium verlengen kan al gedeeltelijk een antwoord worden gegeven zonder verdere uitwerking van de verlenging.

De kosten van aanleg nemen bij een grotere lengte van de sluis relatief weinig toe. Het is vrij eenvoudig de kolk langer uit te voeren. De constructie van de sluis hoeft immers niet zwaarder te worden uitgevoerd. Daar staat tegenover dat het in een later stadium verlengen een relatief veel grotere investering vergt, aangezien er dan een stuk kolk, een nieuw hoofd, nieuwe in-uitstroomopeningen moet worden gebouwd en mogelijk ook nieuwe deuren benodigd zijn. Grof weg zou je kunnen stellen dat een halve sluis gebouwd moet worden. Daar komt nog bij dat de uitvoering van het werk niet zonder stremming mogelijk is aangezien de werkzaamheden in de voorhaven ter plaatse van de toegang van de bestaande sluis plaatsvinden.

Het toepassen van twee deuren per hoofd pleit nog minder voor het later verlengen van de sluis. De nuttige lengte tussen binnenste deuren is 405 meter. Bij gebruik van de twee buitenste deuren neemt de kolk lengte al snel toe met 25 m (zie hoofdstuk 14), de afstand tussen de twee buitenste deuren is dan 425 meter wat nog maar 20 m te weinig is voor (gelichterde) Cape-Size schepen. Wel moet opgemerkt worden dat voor deze schepen de betrouwbaarheid/beschikbaarheid kleiner is, want er kan dan alleen geschut worden als beide buitenste deuren in bedrijf zijn. Bij storing van een van de deuren is schutten dus niet meer mogelijk voor deze schepen. Echter gezien het kleine aantal Cape-Size schepen per jaar is de kans op stremming minimaal.

Verlenging van de sluis in een later stadium is dus geen goede optie indien deze alleen bestaat uit een verlengen uit oogpunt van het toelaten van gelichterde Cape-Size schepen. Het is dan beter direct te kiezen voor een langere sluiskolk wil men deze schepen in de toekomst kunnen ontvangen.

Een verlenging is mogelijk wel te rechtvaardigen indien een sterke toename van het scheepvaartaanbod plaats vindt in de nabije toekomst die niet verwerkt kan worden door een sluis die afgestemd is op (gelichterde) Cape-Size formaat. De verlenging is dan dusdanig groot dat er twee schepen tegelijk geschut kunnen worden. De noodzaak van de verlenging is dan duidelijker aanwezig.

In geval van verbreding ligt het minder duidelijk voor de hand om direct te kiezen voor een bredere sluis omdat een bredere sluis een grotere en zwaardere constructie vereist waardoor de kosten relatief snel toenemen bij elke meter die de sluis breder is, zoals uit het voorgaande in §8.6.2 blijkt. Het nut van een bredere sluis is momenteel niet aantoonbaar aanwezig door eerder genoemde beperkingen van het kanaal.

Omdat er geen eenvoudige oplossing bestaat om de sluis achteraf te verdiepen zal dit leiden tot een dure en langdurige operatie. Het verdiepen om de economische levensduur te verlengen zal om deze redenen dan ook niet snel een rendabele ingreep vormen. Te meer omdat het verdiepen van 13,8 m naar 18,3 m alleen besparingen zal opleveren ten aanzien van lichterkosten of het betalen van wachttijd.

8.7 Verdere uitwerking

De flexibele sluis zal zodanig moeten worden ontworpen dat de genoemde knelpunten zoveel mogelijk worden vermeden. In de hierna volgende hoofdstukken wordt getracht te komen tot een sluisoplossing waarbij uitbreiding in de toekomst mogelijk is

Bij de uitwerking wordt de volgende volgorde van de componenten aangehouden:

- Kolk: hoofdstuk 9.
- Wegverbinding over sluis: hoofdstuk 10.
- Deuren: hoofdstuk 11.
- Geleiding- en bewegingssysteem: hoofdstuk 12.
- Vul- en ledigingssysteem: hoofdstuk 13.

- Hoofd: hoofdstuk 14.
- Uitvoering: hoofdstuk 16.
- Kosten: hoofdstuk 17.

Bij de uitwerking zal gefocust worden op de verbreding van de sluis en wel om de volgende reden. Verlenging betreft vooral nieuwbouw van kolk en hoofd en heeft minder invloed op de constructie van de bestaande sluis. Het nieuwe deel wordt immers in het verlengde van de bestaande sluis gebouwd. De bestaande sluis kan dan ook zonder aanpassing behouden blijven (met uitzondering van het vul- en ledigingssysteem). Er is dus ook geen andersoortige sluisconstructie noodzakelijk om de uitbreiding mogelijk te maken, zoals bij verbreding en ook verdieping wel het geval is. Om deze reden is wordt hier dan ook minder aandacht aan besteed.

Uitgangspunt uitwerking flexibele sluis:

Als uitgangspunt wordt uitgegaan van een sluis van Panamax formaat met kolkafmetingen zoals in hoofdstuk 6 is bepaald. Daarnaast worden enkele standaard groottes van verbreding bekeken dit zijn een verbreding naar Post-Panamax en gelichterde Cape-Size. In sommige gevallen, hoofdstuk over deuren, wordt ook een vergelijking gemaakt met andere zeesluizen.

9 Sluiskolk

9.1 Inleiding

De sluiskolk is het deel waar de schepen tijdens het veranderen van het waterniveau liggen en is gesitueerd tussen de twee hoofden. De kolk bestaat uit twee kolkwanden en een kolkvloer. Verder zijn er voorzieningen aangebracht ten behoeve van een vlotte en veilige behandeling van schepen, zoals geleidingsconstructies, haalkommen, bolders en ladders.

De belangrijkste functies van de kolk(wand) zijn:

- Grond en waterkering: De constructie moet grond dicht zijn en de optredende krachten uit de grond kunnen opnemen. Bij voorkeur is de constructie waterdicht.
- Scheepvaart geleiding: Om een vlotte en veilige in- en uitvaart van schepen te realiseren zal de wand zowel in hoogte als lengte richting van de sluis glad moeten zijn.
- Verbinding tussen wal en schip: tijdens het schutproces moet het schip kunnen afmeren en verbonden worden met de wal

De vormgeving en inrichting van de kolk zijn afhankelijk van de te schutten schepen. Veelal maken diverse soorten schepen gebruik van de kolk. Voor elk van de schepen die toegelaten worden, moeten voorzieningen aanwezig zijn om veilig te kunnen schutten.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de sluiskolk. Er zijn vele type kolkconstructies voor de sluis mogelijk. Enkele in Nederland toegepaste en gebruikelijke kolkconstructies zullen worden genoemd en bekeken of deze geschikt zijn om in een flexibele sluis te worden toegepast. Op basis van deze beschouwing zullen specifieke eisen t.a.v de flexibiliteit van de kolk worden geformuleerd. Tevens worden de algemene eisen en randvoorwaarden voor de sluiskolk genoemd. Vervolgens worden enkele flexibele wandconstructies voorgesteld. De meest geschikte oplossing wordt nader uitgewerkt, waarbij de constructiekosten worden bepaald. Deze kosten van de kolk worden vervolgens vergeleken met de kosten van een Panamax en gelichterde Cape-Size sluiskolk.

9.2 Kolkvormen

De in Nederland meest toegepaste kolkvorm is een rechthoekige bak waarvan de breedte gelijk is aan die van de sluishoofden. Hierdoor ontstaat er een (gladde) doorgaande wand over de gehele lengte van de sluis, wat het in en uitvaren vereenvoudigt. In het verleden zijn, om de capaciteit van de sluis te vergroten, bredere sluiskolken toegepast, terwijl de in- en uitvaartopeningen smal bleven. Bijvoorbeeld de Middensluis in het sluizencomplex Terneuzen. Voor de zeesluis waar de breedte van zowel de kolk als in- en uitvaartopening wordt bepaald door het maatgevende schip zal een verbrede kolk weinig zinvol zijn. Uit ervaring is bovendien gebleken dat een gladde sluis efficiënter in gebruik is omdat het in- en uitvaren eenvoudiger is en de kans op schade door aanvaring met de uitstekende delen wordt verkleind.

Een andere kolkvorm is de groene kolk. Bij deze vorm ontbreken de verticale kolkwanden. Deze zijn vervangen door taluds voorzien van oeverbescherming. Hierdoor zijn in feite alleen sluishoofden noodzakelijk. In de kolk zelf dienen wel geleidewerken te worden geplaatst. Het ruimtebeslag van dit type kolk is vele malen groter door de schuin oplopende taluds. Het grote kolkvolume verlengt de vul- en ledigtijd en hiermee de totale schuttijd. Groene kolken zijn alleen toegepast in enkele kleinere sluizen voor de binnen- en pleziervaart.

9.3 Kolkconstructies

Voor de kolk kan een lichtere constructie genomen worden als voor het hoofd. Er zijn in principe twee kolkconstructies te onderscheiden.

- De vloer en wanden vormen één constructief geheel met een U-vormige doorsnede. Voorbeelden zijn de betonnen bak, damwanden waarbij de onderwaterbetonvloer als stempel werkt. In de volgende paragrafen zijn enkele voorbeelden gegeven.
- De wanden en vloer zijn niet constructief verbonden. De wanden zijn een op zichzelf staande constructie, terwijl de vloer kan bestaan uit een open vloer van stortsteen, met

eventueel een filterconstructie of een niet constructieve dichte vloer om waterverliezen te beperken.

Een aantal kolkwanden kunnen zowel toegepast worden als een constructief geheel of als een los staande constructie. Hierna volgende zullen enkele toegepaste kolkconstructies worden besproken. Hierbij wordt ook kort ingegaan op de mogelijkheid van een toekomstige verbreding.

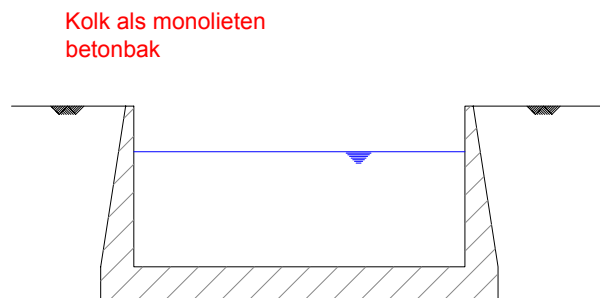
9.3.1 Kolk uit één constructief geheel

Kolkconstructie uit een constructief geheel zijn:

- De betonnen monolieten bak.
- Gewapende betonnen bakconstructie met één of twee scharnieren.

De betonnen monolietenbak:

Het dwarsprofiel is uitgevoerd als gewapend betonnen monoliet. Vaak zijn de wanden aangepast aan de optredende momenten en dwarskrachten. De grootste doorsnede van de wand is boven de vloer te vinden voor het kunnen opnemen van de dwarskracht zonder dwarskrachtwapening. Aan de bovenzijde neemt de dikte van de betondoorsnede af tot 0,5 – 1m voor het kunnen instorten van haalkommen e.d. De uitvoering vindt plaats in een droge bouwput, binnen een bouwkuip of als pneumatisch caisson.



Figuur 9.1: Betonnen monolieten bak.

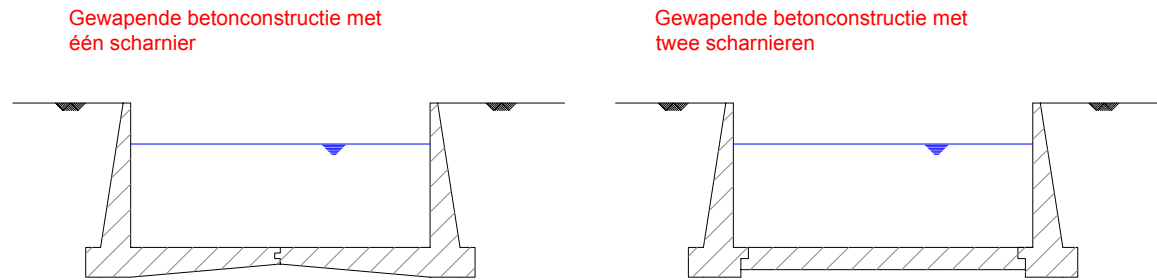
Verbreding is alleen mogelijk door de vloer te verlengen, een nieuwe wand te storten en de oude wand te slopen. Hiertoe zal de sluis moeten worden drooggelegd en aan weerszijden afgegraven om horizontaal afschuiven van de kolk tijdens de aanpassingswerkzaamheden te voorkomen.

Door de verbreding van de vloer zullen de optredende krachten en momenten in de constructie veranderen. De momenten in de vloer zullen ten opzichte van de oude situatie verplaatsen en veranderen. Hierdoor zullen de momenten in de vloer anders worden en kunnen zelfs van teken wisselen. De onderzijde wordt dan in plaats van op trek op druk belast en de bovenzijde op druk in plaats van trek. In bijlage F is dit aan de hand van een eenvoudig voorbeeld geïllustreerd. De bestaande vloer moet hier dus op berekend en gewapend zijn.

Voor toepassing als kolkconstructie voor de flexibele sluis is de monolieten betonbak ongeschikt. De ingreep is vrij omvangrijk en zal hierdoor langdurig zijn. Tijdens de uitvoering is de sluis buitengebruik en dus lang gestremd voor het scheepvaartverkeer.

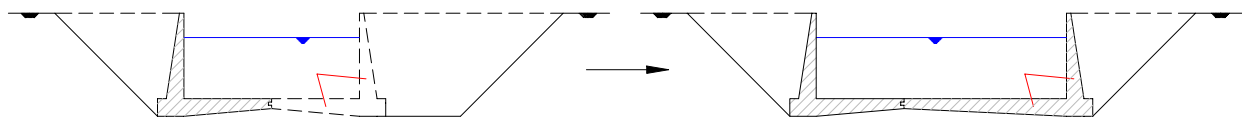
Gewapend betonnen bakconstructie met één of twee scharnieren:

Dit is een variant op de voorgaande constructie en wordt voornamelijk toegepast voor brede sluizen om de grootte van de stort te beperken en het voorkomen van grote spanningen bij ongelijke zettingen. Hoewel het niet noodzakelijk is, wordt de vloer vaak aangepast aan het verloop van de dwarskrachten en momenten. De vloer kan in het midden dunner worden uitgevoerd.



Figuur 9.2: Gewapende betonconstructie met één en twee scharnieren.

Ook deze constructie is niet eenvoudig te verbreden. Sloop van een van de wanden en het vloerdeel zal noodzakelijk zijn. Daarna kan de bouw van de nieuwe kolkhelft (vloer en wand) plaatsvinden. Na deze verbreding ligt het scharnier niet meer in het midden. In onderstaande figuur is dit geïllustreerd.



Figuur 9.3: Verbreding betonconstructie met één scharnier.

Voor het uitvoeren van de werkzaamheden zal de sluis drooggelegd moeten worden en is dus niet beschikbaar voor het scheepvaartverkeer.

Dit maakt bij toepassing van deze constructie in de flexibele sluis de uitbreiding langdurig en complex en is hierdoor niet geschikt.

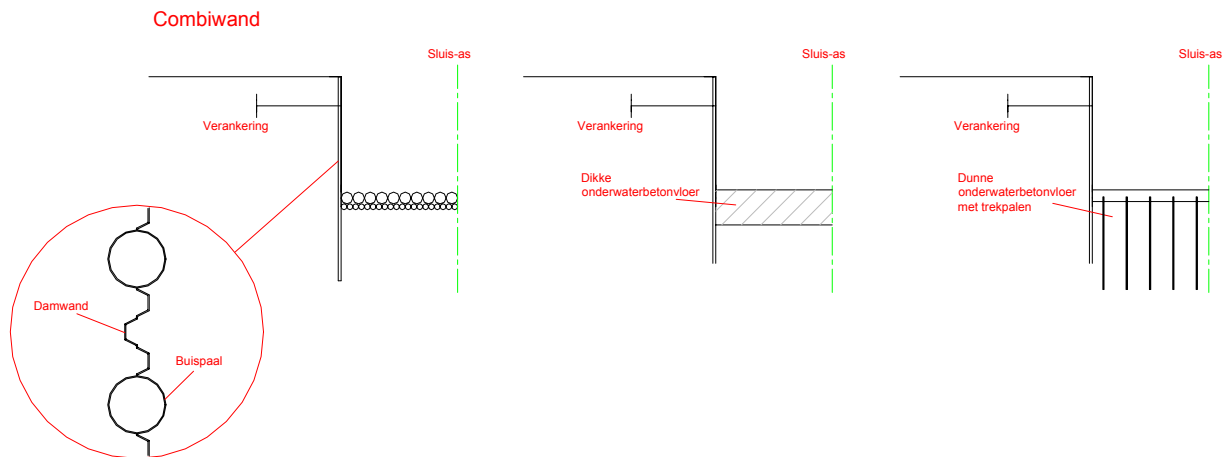
9.3.2 Kolk als constructief geheel en als op zichzelf staand

Kolkwandconstructies welke zowel een constructief geheel kunnen vormen of in combinatie met een open vloer of een niet constructieve dichte vloer toegepast kunnen worden zijn:

- Verankerde combiwand.
- Verankerde betonnen diepwand.
- Hoog gefundeerde L-wand.
 - Variant: Hoog gefundeerde L-wand met geïntegreerd langsriool.

Combiwand:

De wand bestaat uit een combinatie van damwanden en buispalen. Buispalen zorgen voor de sterkte en stijfheid van de wand. Er moet een grote hoogte worden overwonnen waardoor er buispalen nodig zullen zijn van een grote diameter en van grote lengte in verband met de inheidiepte. Zonder onderwaterbetonvloer is er geen stempelwerking. Buispalen zijn verkrijgbaar tot een lengte van ongeveer 35 m en een diameter tot 1,5 m. Aan de bovenzijde wordt de wand verankerd voor het opnemen van de horizontale krachten. Hiervoor zijn diverse verankeringsystemen beschikbaar met een trekkrachtcapaciteit variërend van 400 kN tot 3000 kN. De voorzijde van de wand zal bekleed moeten worden met een betonnen voorwand, niet weergegeven in de figuren, ter bescherming van de combiwand en voor het verkrijgen van een gladde wand. Tevens worden hierin haalkommen e.d. aangebracht. Combiwanden zijn veelvuldig toegepast in kademuuren. Voor grote kerende hoogten wordt de combiwand meestal in combinatie met een hoog gefundeerde L-wand toegepast.



Figuur 9.4: Combiwand met open vloer, dikke onderwaterbetonvloer, dunne onderwaterbetonvloer met trekpalen.

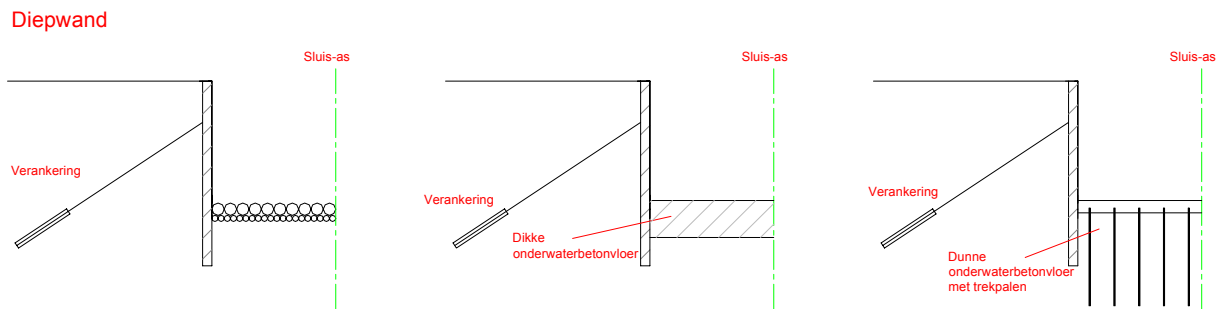
Indien toegepast met een onderwaterbetonvloer dan werkt deze als stempel tussen de twee wanden. Hierdoor kan de inheidiepte beperkt worden. Aan de andere kant is voor een dikke onderwaterbetonvloer een grotere ontgravingsdiepte noodzakelijk.

De toepassingsmogelijkheden van een combiwand als gehele kolkconstructie in een flexibele sluis zijn beperkt. Ten aanzien van de verbreding van de kolk zal de wand aan de verbredingszijde getrokken moeten worden nadat de voorwand is verwijderd. Wel zou eventueel de getrokken wand opnieuw kunnen worden gebruikt.

Bij de combinatie combiwand met een onderwaterbetonvloer is er een constructieve samenhang aanwezig. Verwijdering van de wand kan niet zonder meer gebeuren. Achter de bestaande wand moet dan een nieuwe worden gebouwd en een betonvloer worden gestort. Tijdens de uitvoering moeten beide bestaande wand voldoende ondersteund blijven doormiddel van stempels om afschuiven te voorkomen. Daarna kan de oude wand worden weggehaald door deze op vloerniveau af te branden. De verankering vormt voor het plaatsen van de nieuwe wand een extra obstakel. Het droogleggen van de sluis is niet noodzakelijk. Gedurende de verbreding zal de sluis buiten gebruik moeten worden gesteld. Conclusie: deze wand lijkt minder geschikt om toegepast te worden als flexibele wand.

Diepwand:

Diepwanden zijn in de grond gevormde betonnen wanden. Hiertoe wordt een sleuf in de grond gegraven en doormiddel van een steunvloestof stabiel gehouden. In de sleuf wordt vervolgens een wapeningskorf aangebracht. Hierna wordt van beneden af de sleuf volgestort met beton. Na uitharden kan het zand in de kolk in fasen worden weggehaald. Na gedeeltelijk ontgraven wordt de verankering aangebracht. Diepwanden kunnen tot grote diepten worden aangebracht, met wanddikten tot 1,5 m. Tijdens de uitvoering kan een grondwaterstandsverlaging achterwege blijven.



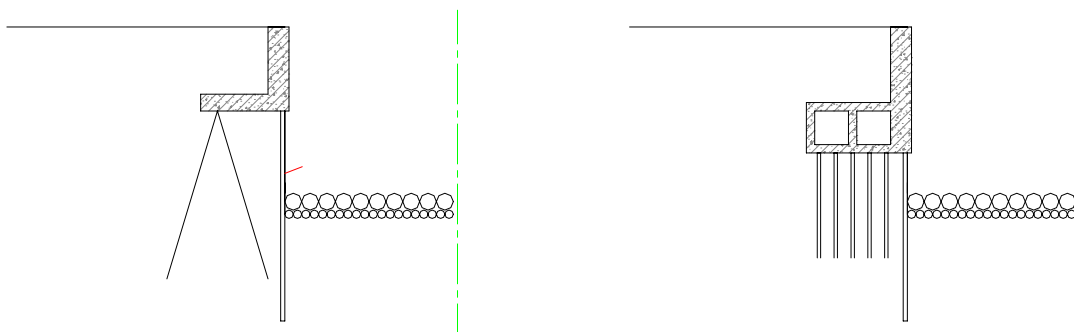
Figuur 9.5: Diepwand met open vloer, dikke onderwaterbetonvloer, dunne onderwaterbetonvloer met trekpalen.

Ook hier kan door toepassing van een onderwaterbetonvloer de diepte van de wand beperkt worden door de stempelwerking van de vloer.

Bij de verbreding van de kolk zal één van de wanden geheel gesloopt moeten worden en opnieuw moeten worden geconstrueerd. Net als bij de combiwand maakt de constructieve functie van de onderwaterbetonvloer het niet zonder meer mogelijk een van de wanden te verwijderen. De stempelwerking voor de wand die behouden blijft valt weg. Achter de bestaande wand zal eerst een nieuwe wand moeten worden gerealiseerd, waarna de grond tussen de nieuwe wand en de te verwijderen wand kan worden ontgraven. Doormiddel van stempels kan voorkomen worden dat de te verwijderen wand weg wordt gedrukt voordat de onderwaterbetonvloer aangebracht is. Ook hier moet rekening gehouden worden met de aanwezigheid van de verankering die plaatsing van de nieuwe wand achter de bestaande in de weg kan zitten. Voor de uitvoering van de verbreding hoeft de sluis niet worden drooggelegd, maar moet wel buiten gebruik worden gesteld. Als kolkconstructie in een flexibele sluis is deze constructie ongeschikt.

Hoog gefundeerde L-wand:

De hoog gefundeerde L-wand bestaat uit een combinatie van een damwandscherm en een betonnen L-wand. Deze wand is geschikt voor het op nemen van grote horizontale en verticale belastingen en is daarom veelvuldig toegepast als kademuur. De betonnen L-wand is gefundeerd op schoor geheide palen voor het opnemen van horizontale belastingen zoals de gronddruk, troskrachten en scheepsstoten en is tevens opgelegd op de damwand. De horizontale plaat neemt de verticale grond- en terreinbelasting op en fungeert als ontlastvloer voor de actieve gronddruk op de damwand. De damwand kan bestaan uit een combiwand. De damwand bevindt zich geheel onder water en is daardoor minder gevoelig voor corrosie.



Figuur 9.6: Hoogefundeerde L-wand, variant met geïntegreerd langsriool.

Een variant is de hoog gefundeerde L-wand te combineren met het langsriool. Dit heeft als voordeel dat de bouwputbreedte beperkt kan blijven, of dat een apart te graven en droog te zetten bouwleuf voor de aanleg van een los langsriool achterwege kan blijven. Wel zal het aanlegniveau van de

betonconstructie dieper zijn om het riool beneden het laagste waterstand te laten lopen. Voor de bouw van de wand is een beperkte ontgraving tot onderzijde ontlastvoer noodzakelijk en tevens een grondwaterstandsverlaging. Ook de deze wand constructie kan worden gecombineerd met een onderwaterbetonvloer (niet getekend).

Het verbreden van de sluis zal niet zonder sloop van één van de bestaande wanden mogelijk zijn, zoals in figuur 8.5 in hoofdstuk 8 is geschetst. Een beperkte grondwaterverlaging zal bij de uitvoering noodzakelijk zijn. De sluis is buiten gebruik. Een kolkconstructie gevormd door deze wanden is om deze redenen dan ook ongeschikt om toegepast te worden als flexibele wand.

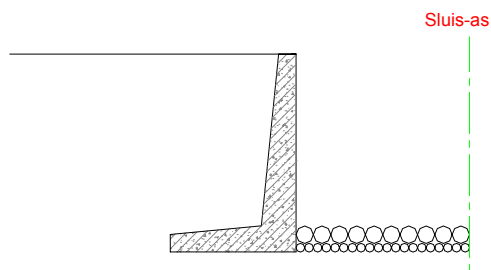
9.3.3 Op zichzelf staande kolkwandconstructies

Voorbeelden van op zichzelf staande wandconstructies:

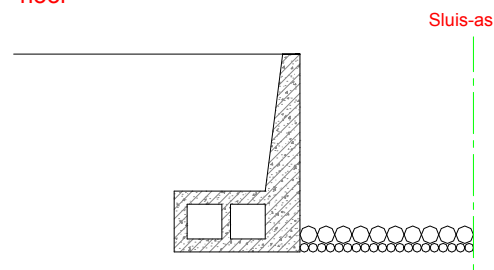
- L-wand op staal gefundeerd.
 - Variant: L-wand op staal gefundeerd met geïntegreerd langsruiol.
- Taluds/groene kolk.
 - Variant: taluds + verticale wand ter beperking van de benodigde breedte.

L-wand:

L-wand



L-wand met geïntegreerd
ruiol

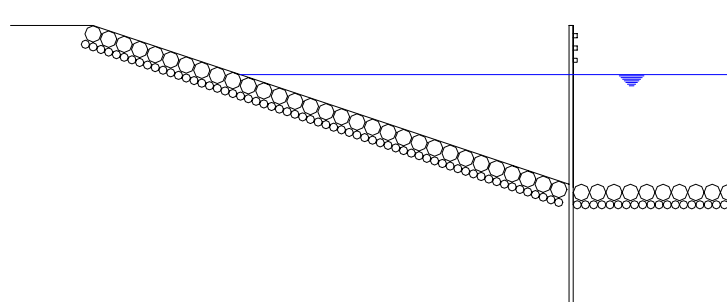


Figuur 9.7: L-wand, L-wand met geïntegreerd langsruiol.

De L-wand bestaat uit een verticale wand op een horizontale plaat en vormt een L-vormige betonnen constructie. De wand is op staal gefundeerd en is een gewichtsconstructie, waarbij door de horizontale plaat het grondgewicht er boven wordt geactiveerd als verticale belasting. Zo wordt voorkomen dat de wand ten gevolge van de horizontale krachten gaat kantelen of schuiven. De horizontale wand werkt als grond- en waterkering. De wand kan gezien zijn afmetingen alleen in een droge diepe bouwput ter plekke worden gerealiseerd. De L-wand is eveneens te combineren met het langsruiol.

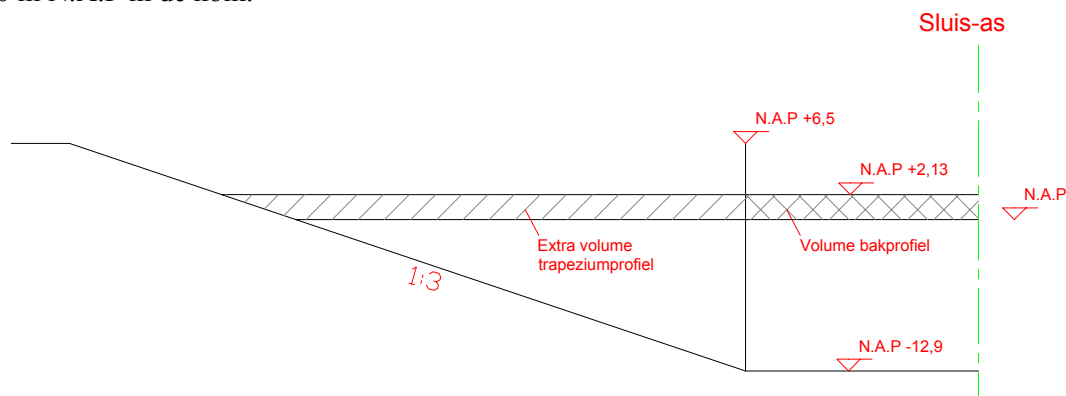
Het is in principe mogelijk de L-wand te verplaatsen. Hierbij mogen de secties echter niet permanent met elkaar verbonden zijn. Gezien de benodigde afmeting in dit geval zal het hijsmaterieel over een grote capaciteit moeten beschikken. De ruimte en bereikbaarheid voor dit materieel is echter beperkt tot de sluisafmetingen. Indien verplaatsen niet mogelijk is, zal een nieuwe wand moeten worden geconstrueerd in een droge bouwput.

Talud/groene kolk:



Figuur 9.8: Talud/groene kolk constructie.

De meest eenvoudige kolkconstructie bestaat uit een talud. Ter bescherming van het talud is het noodzakelijk een oeververdediging aan te brengen. Voor de schepen is alleen het diepste deel van de kolk beschikbaar. Ter voorkoming van het aan de grondlopen worden aan weerszijde geleidewerken en afmeer constructies aangebracht. De totale breedte van de kolk is vele malen groter als bij een verticale wand constructie. De totale breedte van de kolk bij een taludhelling van 1:3 is $3 \cdot 19,4 \cdot 2 + 40 = 156$ m. Ook het kolkvolume is aanzienlijk groter. Ter illustratie een voorbeeld van het benodigde volume water om de kolk te verhogen naar het kanaalpeil van +2,13 m N.A.P bij een beginwaterstand van 0 m N.A.P in de kolk.



Figuur 9.9: Toename kolkvolume bij talud/groenekolk.

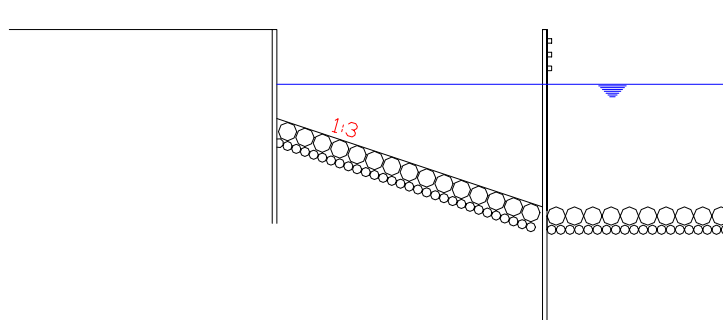
Kolkvorm	Volume water per m kolk	Volume kolk van 400 m
Bak	85 m ³	34000 m ³
Trapezium	218 m ³	87200 m ³

Tabel 9.1: Vergelijk volume bakprofiel met trapeziumprofiel.

Het volume neemt dus ruim 2,5 keer toe. Bij een gelijk vul- en ledigingssysteem is de schuttijd dus ook ruim 2,5 keer langer. Voor gelijk blijvende schuttijden is een zelfde grootte in toename van het debiet noodzakelijk. Hoofdstuk 13 over het vul- en ledigingssysteem maakt duidelijk dat een systeem met een grote capaciteit erg duur is, maar ook dat door sterk toenemende schuttijden de wachttijd van schepen en goederen toenemen waardoor de (wacht)kosten hoog kunnen oplopen en dat schepen/reders de havens gaan vermijden. Het toepassen van een groene kolk is hierom ook alleen bij kleinere sluisen een optie.

Het verbreden van de kolk kan relatief eenvoudig door middel van afgraving. Wel zullen de geleidingswerken verwijderd/verplaatst moeten worden. De uitvoering kan zonder droogzetten van de sluis plaatsvinden.

Het kolkvolume en de benodigde breedte is te beperken door het toepassen van verticale wanden zoals in de figuur is weergegeven. Hierbij kunnen relatief lichte profielen toegepast worden omdat de kerende hoogte klein is en de geen horizontale krachten van schepen hoeven te worden opgenomen. Deze worden door de geleidingswerken en afmeervoorzieningen opgenomen



Figuur 9.10: Voorbeeld oplossing verkleining kolkvolume en benodigde breedte.

9.3.4 Flexibiliteit van de bestaande kolkconstructies

Kenmerkend voor alle hiervoor genoemde wandconstructies is dat ze niet of beperkt herbruikbaar zijn en niet verplaatsbaar zijn en dus geheel zullen moeten worden vervangen door een nieuwe wandconstructie. Een uitzondering hierop is de L-wand die in principe wel verplaatsbaar kan zijn, maar door de grootte van de wand op praktische bezwaren stuit, en zal in de praktijk moeilijk realiseerbaar zijn. Het niet kunnen verplaatsen en hergebruiken van de wand/kolkconstructies kan als een groot nadeel worden genoemd indien besloten wordt tot een verbreding. Er moet immers een nieuwe dure wand worden gerealiseerd en de bestaande wand moet worden afgebroken. Dit maakt een uitbreiding een langdurige en dure aangelegenheid. Een oplossing voor dit bezwaar kan gevonden worden in een wandsysteem dat wel hergebruikt kan worden en ook dat verplaatsbaar is.

9.4 Uitgangspunten, randvoorwaarden en eisen voor flexibele kolk

Uitgangspunten:

- De kolk hoeft niet droog gezet te kunnen worden voor onderhoud.
- De uitvoering van de kolk vindt plaats in een droge bouwput.
- Een open bodem is toepasbaar. Aan de polderzijde zullen maatregelen genomen moeten worden om uitstroom van zout water de polder in te voorkomen. Dit kan worden gerealiseerd doormiddel van korte kwelschermen onder de wand aan de polderzijde tot de ondoorlatende laag.

Randvoorwaarden:

In onderstaande tabel staan de belangrijkste voor alle kolkwandconstructies geldende randvoorwaarden en eisen samengevat.

	Afmetingen/peilen:
Bovenzijde wand	N.A.P + 6,5 m
Kolkbodem	N.A.P – 12,9 m
Afstand tussen hoofden	+/- 400 m
MHW	N.A.P +5,75 m
MLW	N.A.P – 4 m
Hoogste kanaal peil	N.A.P + 2,38 m
Laagste kanaal peil	N.A.P + 1,88 m
Maximale grondwaterstand polderzijde	N.A.P + 0,18 m
Minimale grondwaterstand polderzijde	N.A.P – 1 m
Maximale grondwaterstand Westsluiszijde	N.A.P + 2,38 m
Minimale grondwaterstand Westsluiszijde	N.A.P +1,88 m
Grondparameters zie bijlage D	

Tabel 9.2: Algemene eisen en randvoorwaarden kolk

Functionele eisen die aan de kolkconstructie worden gesteld zijn:

- Grond(water)kering: De constructie moet de belastingen door grond en grondwater kunnen opnemen en moet grond en waterdicht te zijn.
- De kolkwand moet tezamen met de hoofden een ruimte omsluiten waarin schepen kunnen binnenvaren, uitvaren en verblijven tijdens het nivelleren.
- De constructie moet belastingen ten gevolge van de scheepvaart kunnen opnemen, zoals scheepstoten, troskrachten en schroefstralen.
- De wand waartegen de schepen afmeren en langs varen moet zo vlak mogelijk zijn.
- In de wanden moeten afmeervoorzieningen zijn ondergebracht en op het sluisplateau bolders.

Aan de kolkwand worden extra eisen gesteld tav flexibiliteit, deze zijn:

- De wand moet duurzaam zijn.
- De wandelementen moeten verplaatsbaar zijn.
- De verplaatsing van de wand moet binnen een kort tijdsbestek kunnen worden gerealiseerd.
- De wand moet herbruikbaar zijn.

Duurzaam:

De ontwerp levensduur voor de constructie van de sluis is meestal 100 jaar. Met het oog op de verbreding en hiermee het hergebruik mogen hier geen problemen worden verwacht. Wel moet het nog mogelijk zijn de wand naar bijvoorbeeld 25 jaar te demonteren en vervolgens weer opnieuw op te bouwen. Dus ook onderlinge verbindingen en aansluitingen moeten dus zodanig zijn dat elementen van elkaar kunnen worden losgehaald.

Verplaatsbaar:

De wand moet van de oude locatie naar de nieuwe kunnen worden getransporteerd en weer worden geïnstalleerd. Dit betekent dat de wand zal bestaan uit van elkaar los te koppelen elementen van dusdanig afmetingen die hanteerbaar zijn. Transporteren van de elementen kan op de volgende manieren:

- Takelen (tillen)
- Schuiven (glijden)
- Rollen (rijden)
- Drijven (varen)

De wijze waarop transport zal plaatsvinden hangt af van o.a: element grootte, de vorm, massa, hijscapaciteit en uitvoeringsmethode.

Realisatie binnen een kort tijdsbestek:

Het is van belang dat de sluis een zo kort mogelijke periode gestremd is. Dit om de periode van lange wachttijden waarbij maar één sluis beschikbaar is te voorkomen. Om dit mogelijk te maken zullen de elementen van de wand in zijn geheel te verplaatsen moeten zijn zonder sloop en verwijdering van bolders, haalkommen en dergelijke.

Om de hoeveelheid te verplaatsen elementen klein te houden zullen de elementen van grote omvang zijn, echter moeten de elementen wel behandelbaar blijven.

Herbruikbaar:

Als gevolg van de uitbreiding/verbreding van de sluis veranderen de randvoorwaarden en eisen die gesteld worden aan de sluis. Een voorbeeld van verandering van eisen: schepen van gelichterde Cape-Size formaat moeten geschikt kunnen worden. Deze moeten tevens kunnen afmeren langs de wand. Deze veranderingen kunnen bijvoorbeeld gevolgen hebben voor de bolders, zoals grotere bolderkrachten, en de fenders langs de wand.

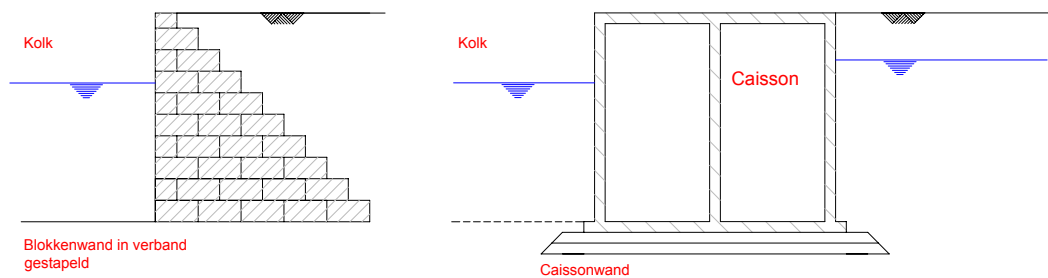
9.5 Verplaatsbare wandconstructies

Uit voorgaande paragraaf is gebleken dat een kolk bestaande uit één gehele of samenwerkend geheel moeilijk te verbreden is. In deze paragraaf zullen enkele verplaatsbare wandconstructies aan de orde komen.

Een sluiskolkwand kent vele overeenkomsten met een kademuurconstructie. In zowel de haven als in de kolk moeten de schepen langs de kade kunnen afmeren en zijn er voorzieningen nodig om dit mogelijk te maken. De kade en kolkmuur vormen een grondkering en (grond)waterkering. Verschillen zijn er ook. De bovenbelastingen op de wand zullen in geval van de kolk kleiner zijn omdat er niet wordt geladen en gelost, er geen kranen over de kade rijden en geen goederen op de kade worden opgeslagen. Daarnaast is de verblijftijd van schepen langs de kolkwand korter dan bij een kademuur in een haven.

In het verleden zijn reeds onderzoeken en afstudeeropdrachten geweest naar flexibele kadeconstructies, die in een later stadium kunnen worden weggehaald en op een andere locatie weer worden opgebouwd. Bij een dergelijke constructie is een wand opgebouwd uit stapelbare blokken. Een andere uit de havenbouw bekende kademuurconstructies zijn havencaissons. Bij de bouw van een kademuur bestaande uit caissons worden de caissons meestal elders, in een bouwdok geprefabriceerd. Van daaruit worden de caissons drijvend naar de afzinklocatie getransporteerd. De caissons worden,

eenmaal op locatie, op de definitieve plek afgezonken en hoeven daarna niet meer verplaatst te worden. In dit geval, bij de flexibele sluis, is verplaatsing in een later stadium wel vereist.



Figuur 9.11: Twee flexibele wandtypen.

9.6 Blokkenwand

De blokkenmuur bestaat uit een stapeling van geprefabriceerde betonnen blokken of natuursteen, eventueel voorzien van in elkaar grijpende nokken. De blokken worden geplaatst op een geëffende bodem. De kademuur bezit door de opbouw uit kleinere elementen over de eigenschappen relatief eenvoudig op te bouwen, af te breken en te verplaatsen te zijn. Transport kan doormiddel van takelen plaatsvinden.

Toch zal de toepasbaarheid van een dergelijke wand als kolkwand waarschijnlijk beperkt zijn omdat:

- De wand bestaat uit vele blokelementen van beperkte afmetingen. Hierdoor zijn veel handelingen noodzakelijk.
- De wand zal geheel moeten worden afgebroken en weer opnieuw opgebouwd worden.
- Voorzieningen als bolders, haalkommen en beschermingsconstructies kunnen niet behouden blijven of moeten tijdelijk worden verwijderd en na de verplaatsing weer worden aangebracht.

Het verplaatsen van de wand zal hierdoor niet in een kort tijdsbestek kunnen worden gerealiseerd.

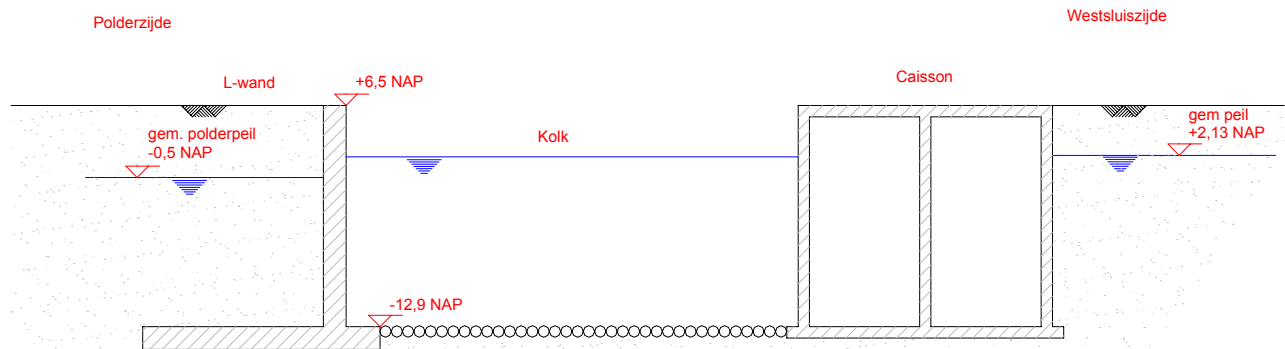
9.7 Caissonwand

De kolkwand wordt gevormd door achter elkaar geplaatste caissons. Een wand opgebouwd uit deze elementen heeft de potentie te beschikken over de volgende kenmerken:

- T.a.v de verplaatsbaarheid: Een caisson kan door zijn eigen drijvende vermogen doormiddel van drijvend transport van zijn oude naar de nieuwe locatie worden verplaatst zonder gebruikmaking van zwaar (hijs)materieel.
- De wand bestaat uit grote elementen die het aantal handelingen beperkt.
- Herbruikbaar: de aangebrachte bolders en haalkommen in de wanden kunnen behouden blijven, evenals de eventuele beschermingsconstructie die voor de wand aangebracht is.
- Door het kunnen behouden van deze voorzieningen is de wand na plaatsing en ballasten direct weer beschikbaar als kolkwand.

Omdat de genoemde kenmerken goed in het beeld passen waaraan een flexibele wand moet voldoen worden de caissons hier nader uitgewerkt.

In principe is het voldoende om één zijde van de kolk uit te voeren met deze wand. De andere zijde kan met één van de eerder genoemde gebruikelijke kolkwandconstructies worden opgebouwd. De wand die hier verder bekeken wordt is de L-wand. De reden hiervoor is dat uitgegaan wordt van uitvoering in een droge bouwput en de L-wand is de enige op zichzelf staande wand die op deze wijze uitgevoerd kan worden, zie ook hoofdstuk 16. In onderstaande figuur 9.12 is een principe doorsnede van de kolk geschetst, welke hierna volgend verder zal worden uitgewerkt.



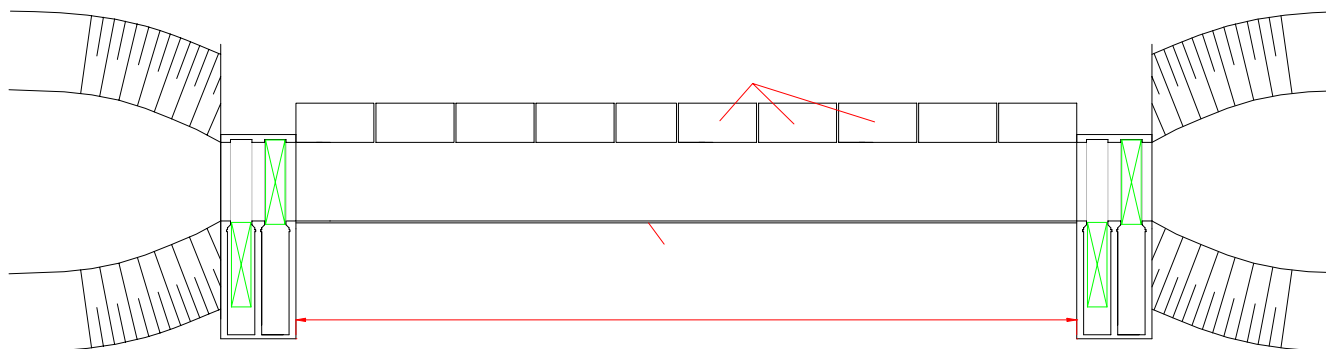
Figuur 9.12: Principe doorsnede flexibele kolk met verplaatsbare caissonwand

In de volgende paragrafen zullen respectievelijk de caissonwand en L-wand nader worden uitgewerkt en op de toepasbaarheid en de haalbaarheid worden bekeken. Nadat de afmetingen van de de L-wand en de caisson bekend zijn worden enkele kolkdoorsneden met deze wanden bekeken en de kosten ervan bepaald. Deze zullen vergeleken worden met die van een gewapend betonnen bakprofiel zoals toegepast bij de huidige Westsluis en is voorgesteld voor de nieuwe sluis. Doordat hier ook uitgegaan wordt van uitvoering in een droge bouwput laten de constructiekosten van de flexibele sluiskolk zich beter te vergelijken met eerder uitgevoerde kostenramingen door RWS en AWZ, waarbij ook is uitgegaan van uitvoering in een droge bouwput.

9.8 Ontwerp caissonwand

9.8.1 Principe van de wand

In deze paragraaf zal gekeken worden naar de caissonwand als wand van de sluiskolk. De wand is opgebouwd uit meerdere achter elkaar geplaatste caissons welke tezamen een doorgaande wand tussen de beide hoofden vormen. In de wanden en op het dek zijn de haalkommen en bolders gesitueerd. Ter bescherming van de wand kan een fendersysteem worden aangebracht. In onderstaande figuur 9.13 is het principe geschetst.



Figuur 9.13: Principe schets sluis met caissonwand.

Stabiliteit:

Om verplaatsing van de wand in de toekomst mogelijk te maken, mogen de caissons niet doormiddel van een permanente verankering met elkaar of aan de bodem verbonden zijn. Elk caisson dient dan ook van zichzelf over voldoende stabiliteit tegen kantelen, afschuiven en opdrijven te beschikken. De stabiliteit van de caissons wordt verkregen door deze te voorzien van ballast.

Ballast:

Een belangrijke eigenschap van dit ballastmateriaal moet zijn dat het relatief eenvoudig verwijderd kan worden om de caissons weer te laten drijven, teneinde ze te kunnen verplaatsen. Hiervoor komen loskorrelige materialen zoals zand en grind voor in aanmerking. Water kan ook als permanente ballast worden toegepast.

Uitvoering van de verbreding:

Ten behoeve van de verbreding zal de grond achter de caissons, indien aangebracht, afgegraven worden en een nieuwe funderingslaag aangebracht worden. Daarna wordt het ballastmateriaal uit de caissons gehaald zodat deze gaan opdrijven. De caissons kunnen dan met behulp van sleepboten naar de nieuwe afzinklocatie worden verplaatst en vervolgens worden afgezonken.

9.8.2 Opzet van de uitwerking

Eerst zullen de afmetingen van de caissons worden bepaald welke opgelegd worden door de randvoorwaarden en de eisen. Vervolgens worden de wand en vloerdikten geschat op basis van afmetingen uit de praktijk. De caissons worden aan de hand hiervan gecontroleerd op het drijvend vermogen en de stabiliteit. Daarna zullen de minimale afmetingen van het caisson in de gebruiksfase, de afgezonken toestand, worden bepaald op basis van stabiliteit, afschuiven en bezwijken van de grond. Tot slot worden de betondoorsneden nader bepaald. Eventueel zullen aanpassingen noodzakelijk zijn zoals het kiezen van kleinere tussenwandafstanden, of een grotere wanddikte. De caissonafmetingen worden voor meerdere configuraties, met of zonder aanvulling achter de caisson, bepaald. Tot slot wordt een raming van de bouwkosten gemaakt.

9.8.3 Uitgangspunten en randvoorwaarden voor de caissonwand

Uitgangspunten zijn:

- Vervormingen van de kolk mogen niet groot zijn, dus verplaatsingen van de wand zullen dus klein zijn in de bruikbaarheidstoestand. Gerekend wordt met een neutrale gronddruk. In de uiterste grenstoestand zullen enige verplaatsingen optreden en wordt gerekend met actieve gronddrukken.
- De caissons zijn gefundeerd op een funderingsbed (grind) met een wrijvingshoek $\phi = 32,5^\circ$.
- Het waterniveau binnen de caisson is gelijk aan de gemiddelde grondwaterstand.
- Om ook prefabricage van de caissons elders en het verplaatsen van de caissons mogelijk te maken mag de diepgang maximaal 14,5 m zijn, de 'keel clearance' met de drempel van het hoofd en kolkvloer is dan 0,5 m, de breedte mag maximaal 35 meter zijn zodat aan weerszijde 2,5 m speling is.

Extra eisen tav de verbreding zijn:

- Het verplaatsen van de caisson zal doormiddel van drijvend transport plaatsvinden. Hiertoe dient de caisson na een periode van gebruik (weer) te kunnen drijven. Dus de caisson dient te beschikken over voldoende drijfvermogen en stabiliteit. Het ballastmateriaal in de caisson dient verwijderbaar te zijn.
- Ten aanzien van de fundering is het volgende van belang. Direct onder de caisson dient de fundering voldoende waterdoorlatend te zijn om voldoende druk onder het caisson op te bouwen om het te laten opdrijven. Om uitspoeling van zand/piping te voorkomen zijn maatregelen noodzakelijk zoals filterconstructies.
- De onderlinge aansluitingen tussen de caissons mogen niet permanent zijn, maar moeten wel grond(water) dicht zijn.

9.8.4 Belastingen

Op de caisson zijn de volgende belastingen werkzaam die van belang zijn bij het eerste ontwerp ervan. Deze zijn:

Permanente belastingen:

- Gronddruk.

- Grondwaterdruk.
- Eigengewicht.
- Ballast.

Veranderlijke belastingen:

- Hydraulische belasting.
- Troskrachten.
- Terreinbelasting.

Bijzondere:

- Scheepsstoten/aanvaring.

Grond(water)belasting:

De op de caisson werkende gronddrukken en grondwaterdrukken zijn gelijk aan de drukken die op de wanden van het hoofd werkzaam zijn. Hier wordt echter uitgegaan van een actieve gronddruk. In de uiterste grenstoestand zullen kleine vervormingen en verplaatsingen niet uit te sluiten zijn. In verticale richting zorgt het grondwater voor een opwaartse belasting op de vloer.

Eigengewicht:

Deze geeft een verticale belasting en bestaat uit het gewicht van de constructie zoals de wanden, vloer en dak.

Ballast:

In de gebruikssituatie zal de caisson geheel of gedeeltelijk gevuld zijn met ballast voor de stabiliteit van het caisson. Deze ballast zal bestaan uit een éénvoudig te verwijderen materiaal, zoals zand of grind. Ook vullen met water kan een optie zijn. De ballast zorgt voor een horizontale belasting op de wanden en een verticale belasting op de vloer en de fundering.

Hydraulische belastingen:

In horizontale richting werken de hydrostatische waterdrukken en golfdrukken. In verticale richting geeft het gewicht van het water een naar beneden gerichte gelijkmatig verdeelde belasting.

Troskrachten:

Voor troskrachten wordt voor grote zeesluizen gerekend met 1000 kN per bolder of haalkom en werken in horizontale richting loodrecht op de wand. De bolders zijn op het sluisplateau aangebracht. Deze troskrachten zijn in de uiterste grenstoestand niet aanwezig omdat de sluis dan buiten gebruik is. De onderlinge afstand tussen de bolders varieert van 15 tot 30 m, dus per caisson zijn maximaal 2 à 3 bolders aanwezig.

Terreinbelasting:

Hiervoor wordt 20 kN/m² aangehouden in verband met het kunnen plaatsen van (hij)s materieel in geval van onderhoud, reparaties of calamiteiten. De belasting wordt alleen op het dek van de caissons verondersteld.

Scheepsstoten:

Deze belasting wordt niet meegenomen aangezien dit normaal gesproken niet maatgevend is op het ontwerp van het caisson als geheel.

9.8.5 Belastinggevallen

Voor de caisson zijn voor het eerste ontwerp twee situaties van belang namelijk de caisson in de uiterste grenstoestand tijdens het gebruik en de situatie tijdens het drijvende transport.

Drijvende toestand:

Controle van het drijfvermogen en stabiliteit. Het caisson moet beschikken over voldoende stabiliteit en drijfvermogen. De beschikbare diepgang is afhankelijk van het aanlegniveau van de fundering. In

de kolk zelf is bij een gemiddeld kanaalpeil een diepte van 15,03 m beschikbaar op het kanaal is dit 12,5 m.

Gebruiksfase:

Belastinggevallen in uiterste grenstoestand:

1. Weerstand tegen afschuiven en kantelen.
Maximale grondwaterstand en een minimaal kolkpeil.
2. Maximale belasting op fundering, controle belasting ondergrond.
De maximale belasting onder de caisson treedt op indien de caisson gevuld is met ballast in combinatie met een minimale grondwaterstand en minimaal kolkpeil.
3. Controle opdrijven.
Maximale grondwaterstand en kolkpeil.

9.8.6 Constructie

De caisson bestaat uit een rechthoekige betonnen bakconstructie bestaande uit een vloer met loodrecht daarop de verticale wanden. Door middel van tussenwanden wordt de ruimte in de caisson verdeeld in meerdere compartimenten. Het compartimenteren heeft een aantal redenen. Door het plaatsen van de tussenwanden wordt de overspanning van de buitenwanden en vloer verkleind waardoor de dimensie ervan beperkt kan worden. Door de compartimentering heeft de caisson een grotere stabiliteit tijdens het afzinken en is beter te besturen. Aan de andere kant heeft het vergroten van het aantal compartimenten een aantal nadelen. Als het aantal compartimenten toeneemt, zal ook de diepgang toenemen. Verder is het duurder om meer compartimenten te maken, omdat dit meer te bekisten wanden/oppervlak betekent.

De caisson wordt aan de bovenzijde afgesloten door middel van een dak of dekplaten die op het ballastmateriaal in de caisson of op de wanden zijn opgelegd. Dit dak vormt tevens het sluisplateau en moet de bovenbelastingen kunnen opnemen. Om de compartimenten te kunnen vullen en ledigen is het noodzakelijk dat de dakelementen boven elk compartiment verwijderd kunnen worden. Om deze elementen te kunnen verwijderen zijn er eisen gesteld aan het gewicht en afmetingen ervan.

Het toepassen van voorspanning maakt het mogelijk kleinere wanddikten te kiezen dan zonder. Echter maakt het de caisson complexer en duurder qua uitvoering. Voorspanwapening wordt voor dergelijke caissons dan ook meestal niet toegepast. Bovendien is in geval van aanvaring en schade aan het betonwerk het herstel ervan moeilijker.

9.8.7 Grootte en aantal caissons

Lengte en breedte:

De afstand tussen beide sluishoofden is ongeveer 400 meter van een Panamaxsluis en 445 m voor een gelichterde Cape-Size. Bij caissons voor kaden in havens is de verhouding tussen lengte en breedte vaak $L = 2B$. Hier zullen ook deze verhoudingen worden aangehouden. Het aantal caissons dat in 400 meter wordt toegepast hangt af van de lengte van de caisson.

Breedte caisson (in m)	Lengte caisson (in m)	Aantal caissons	Totaal benodigd oppervlak (in m ²)
35	70	5 à 6	14000
30	60	6 à 7	12000
25	50	8	10000
20	40	10	8000
15	30	13 à 14	6000

Tabel 9.3: Relatie caissonbreedte tot de lengte en het aantal caissons.

Voor een kleiner caisson is de hoeveelheid beton kleiner en is daarom goedkoper is bouwen. Daarnaast hoeft er minder grond ontgraven te worden en is de benodigde breedte kleiner. De breedte van het funderingsbed is kleiner. Daar in tegen zijn er wel weer meer handelingen noodzakelijk, bijvoorbeeld 10 caissons verplaatsen in plaats van 7. De keuze hangt af van de bouwkosten en

handelingskosten, m.a.w kiezen tussen een duurder maar groter caisson en minder handelingen en een kleiner en goedkoper caisson maar met meer handelingen.

De minimale breedte van de caisson wordt bepaald door het benodigde opdrijvend vermogen en de stabiliteit tegen kantelen in drijvende toestand. In de gebruiksfase wordt de breedte bepaald door de weerstand tegen kantelen, afschuiven, grondbreuk, cirkelvormig glijvlak (niet gecontroleerd) en eventueel opdrijven. De breedte van de caisson wordt zodanig berekend dat de genoemde faalmechanismen niet zullen optreden.

Hoogte:

Hoogte van de caisson is het hoogteverschil tussen sluisplateau(dak van de caisson) en de aanleg diepte van de kolkbodem vermeerderd met de vloerdikte. Dit is gedaan omdat aan weerszijde van de caisson dan 'oren' aan gebracht kunnen worden welke de stabiliteit vergroten. Bovendien vereenvoudigd dit de uitvoering omdat de wandbekisting hierop kan worden geplaatst. De bovenzijde van deze oren mogen maximaal op gelijke hoogte liggen als de kolkvloer om geen obstakel te vormen. Het hoogteverschil tussen dekzerk en kolkbodem is 19,4 meter. De totale hoogte is dan $19,4 + d_{\text{vloer}}$.

Wand- en vloerdikten:

Voor de waarden van de dikten van de buitenwanden en de vloer is een waarde van 0,75 m tot 0,9 m aangehouden, afhankelijk van de afmetingen van de compartimenten. Voor de tussenwanden de eerste aanname 0,35 m tot 0,5 m. De vloer heeft een dikte van 1 m. De bovenzijde van de fundering ligt op $6,5 \text{ m} - 20,4 \text{ m} = -13,9 \text{ m N.A.P.}$ De genoemde waarden zijn niet op berekeningen gebaseerd, maar op de gangbare maten in de praktijk. Het volume beton ligt dan rond de 25% van het totale volume. De aangenomen doorsneden zullen later worden gecontroleerd.

9.8.8 Bepaling minimale caissonafmetingen

Met behulp van een Excelsheet zijn voor de twee situaties, drijvend en afgezonken, de minimale caissonafmetingen bepaald. Waarbij de in de hiervoor genoemde wand- en vloerafmetingen als uitgangspunt zijn genomen.

Voor een eerste ontwerp zijn de caissons op de volgende punten gecontroleerd/berekend:

- Drijfvermogen en stabiliteit in verband met het kunnen verplaatsen van de caisson ten behoeve van verbreding.

In de gebruiksfase controle uitgevoerd op basis van de volgende faalmechanismen:

- Stabiliteit in gebruiksfase:
 - Afschuiven van de caisson => controle weerstand tegen afschuiven.
 - Kantelen van de caisson => controle veiligheid tegen kantelen.
 - Bezwijken fundering/grond => controle gronddruk onder de caisson en het draagvermogen van de grond.
 - Afschuiven langs cirkelvormig glijvlak (niet gecontroleerd).

Betonddoorsnede:

- Dimensionering van de wanden en vloer aan de hand van de optredende momenten en dwarskrachten.

In de bijlage F zijn de berekeningen en uitkomsten voor de verschillende caissonafmetingen opgenomen. Hier worden de resultaten genoemd.

Minimale caissonbreedte in drijvende toestand:

Een caisson van 17,5 m breed is in drijvende toestand stabiel van zich zelf (tabel F.1). Het metacentrum ligt ruim 0,6 m boven het zwaartepunt ($> 0,5 \text{ m}$). De diepgang overschrijdt met 12,2 m de aanwezige diepte niet. Bij een kanaalpeil van $+ 2,13 \text{ m N.A.P}$ is een waterdiepte beschikbaar van 16,03 m boven het funderingsniveau en 15,03 m boven de kolkvloer en drempel van het hoofd.

Hierbij moet opgemerkt worden dat de vereiste stabiliteit en beschikbare diepgang mede wordt bepaald door de locatie waar de caissons worden gebouwd. Worden deze op een locatie op enige afstand geprefabriceerd, dan is drijvend transport noodzakelijk en is de beschikbare diepgang over de route een randvoorwaarde. Afhankelijk aan de route, (golfslag, wind) dient de caisson aan strengere stabiliteitseisen te voldoen. Worden de caissons op locatie gebouwd dan kunnen de stabiliteitseisen minder streng zijn omdat de af te leggen afstand beperkt is en bovendien in afgesloten ruimte plaats vindt.

Gebruiksfase:

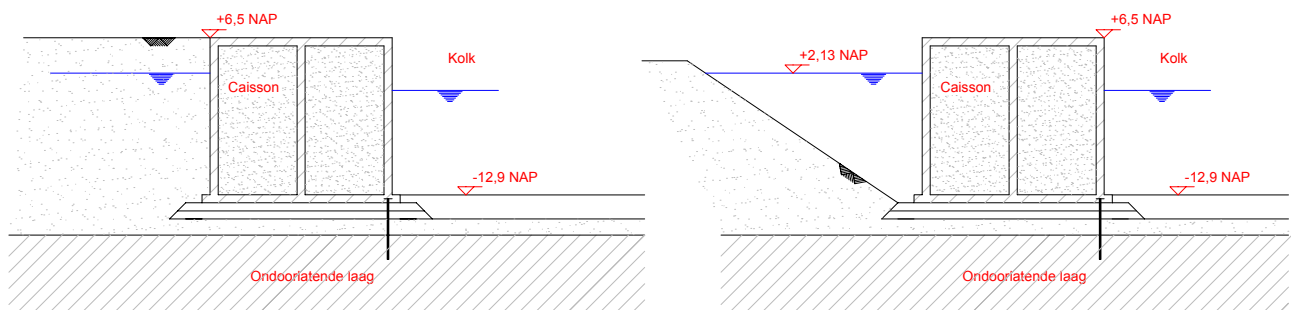
In de gebruiksfase zijn een aantal configuraties mogelijk qua oriëntatie van de caissons en de aanvulling achter de caisson. Voor wat betreft de oriëntatie en aanvulling zijn er de volgende mogelijkheden:

- Caissons aan de polderzijde:
- Caissons aan de Westsluiszijde:

Het verschil tussen beide is de waterstand achter de caissons, deze is gelijk aan het polderpeil (polderzijde) of gelijk aan het kanaalpeil (Westsluiszijde). De deurkassen zullen aan de polderzijde worden gerealiseerd om dat anders een zwaarder hoofd noodzakelijk zal zijn vanwege de grotere horizontale belasting, maar ook is de opdrijvende kracht groter waardoor mogelijk een zwaardere vloerconstructie nodig zal zijn. Dit betekent dat de verplaatsbare wand aan de Westsluiszijde worden gesitueerd

Het plaatsen van caissons aan de Westsluiszijde zal nader bekeken worden aangezien deze zijde maatgevend zal zijn voor de minimale breedte van de caissons. Hierbij worden twee situaties beschouwd:

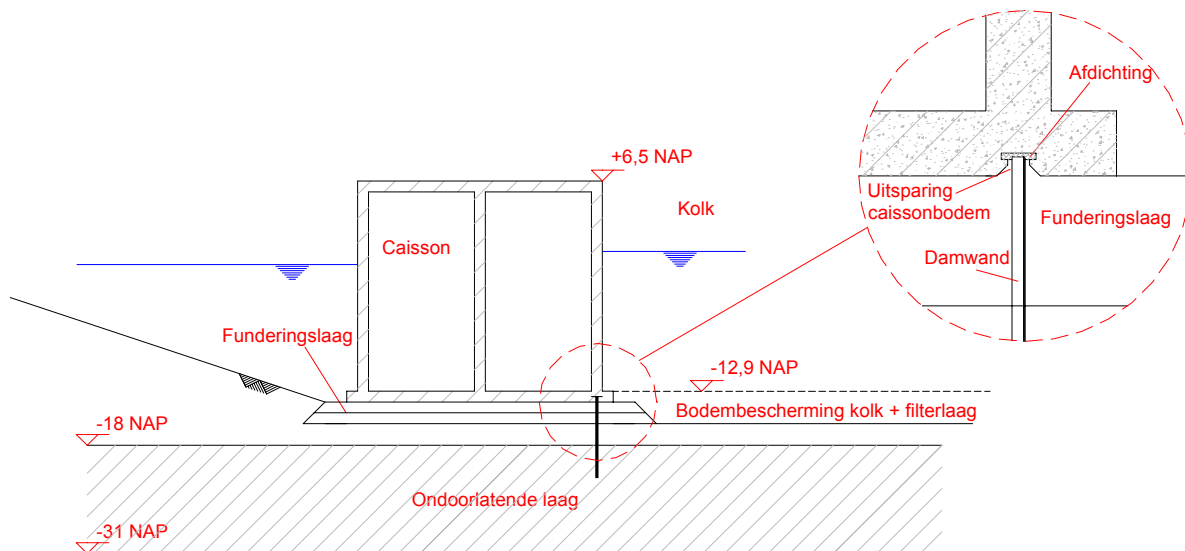
- Volledige aanvulling achter de caissons tot aan bovenzijde op +6,5 N.A.P.
- Geen aanvulling achter de caissons.
 - Zand/grind als ballast.
 - Water als ballast.



Figuur 9.14: Twee mogelijkheden: aanvulling of geen aanvulling.

De caissons worden bekeken zowel met als zonder een damwand. Een damwand is voor de caissons aan de polderzijde noodzakelijk om de hoeveelheid (zout) kwelwater vanuit de sluis kolk de polder in te voorkomen. De noodzaak van een damwand bij caissons aan de Westsluiszijde is minder vanzelfsprekend omdat de gemiddelde waterstroom door het hogere kanaalpeil in de richting van kolk is.

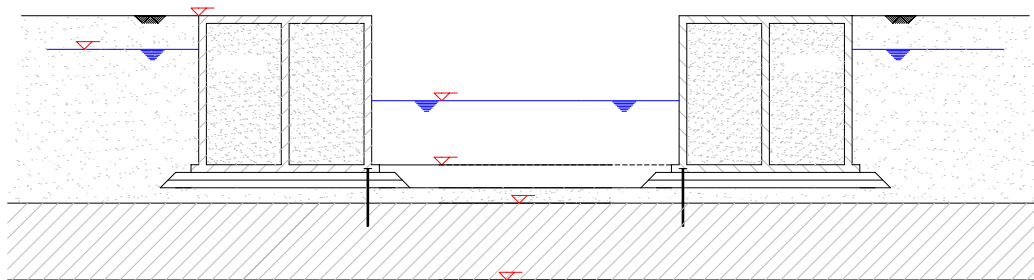
Het verticaal afdichten kan doormiddel van damwanden, welke tot in de ondoorlatende laag doorlopen. Hiermee wordt voorkomen dat grote hoeveelheden (zout) water de polder instroomt.



Figuur 9.15: Principe oplossing niet permanente aansluiting caisson met damwand.

De verbinding tussen damwand en caisson mag niet permanent zijn om de caisson te kunnen verplaatsen. In figuur 9.15 is dit schematisch weergegeven. Aan de bovenzijde is tussen het beton en de wand een vervormbare (kurk)plaat aangebracht om te voorkomen dat de damwand de caisson gaat dragen. De plaat vormt tevens de afdichting.

Bij toepassing van damwanden aan de onderzijde van de kolk fungeert de ondoorlatende laag in feite als dichte kolkbodem. Het gevaar van opbarsten is bij een minimaal kolkpeil aanwezig indien de doorlatende laag en het gewicht erboven niet genoeg zijn. Met een eenvoudige controle berekening wordt bekeken of de laag dik genoeg is.



Figuur 9.16: Leemlaag als afsluitende kolkvloer.

Controle opbarsten:

$$\text{Opwaartse waterdruk} = 10 \cdot 30,5 = 305 \text{ kN/m}^2 (\uparrow).$$

$$\begin{aligned} \text{Grondgewicht} &= \text{gewicht leemlaag} + \text{gewicht bodembescherming} + \text{zand} \\ &= 13 \cdot 21 + 5,1 \cdot (20 - 10) = 273 + 51 = 324 \text{ kN/m}^2 (\downarrow). \end{aligned}$$

$$\text{Gewicht water} = 8,9 \cdot 10 = 89 \text{ kN/m}^2 (\downarrow).$$

$$\Rightarrow 0,9 \cdot (324 + 89) > 1,2 \cdot 305 \Rightarrow 372 > 366, \text{ voldoet.}$$

Fundatie:

Na plaatsing van de caissons is er een waterdrukverschil tussen de kolkzijde en de achterzijde van het caisson. Door het steeds wisselende peil in de kolk zal er geregeld een groot niveau verschil ontstaan tussen grondwatervniveau en de waterstand in de kolk. Het niveau verschil tussen gemiddeld grondwaterpeil achter de caisson en de kolk bij gemiddeld laagwater is 4,09 m.

Globale toetsing met de regel van Bligh: $\Delta H_{crit} = L / c_{creep}$,

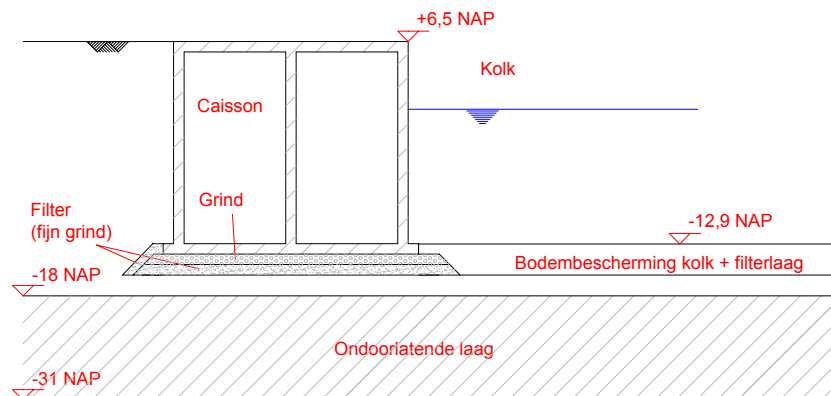
Waarin: L = leklengte, deze is hier de breedte van de caisson, deze wordt geschat op 20 m
 c_{creep} = creepfactor van Bligh, het hoofd wordt op een zandlaag gefundeerd, de waarde die aangehouden wordt is 15 voor fijn zand en 12 voor grof zand.
 ΔH_{crit} = toelaatbaar verval over hoofd.

$$\Rightarrow \Delta H_{crit} = 20/12 = 1,67 \text{ m} < \text{gemiddeld verval tijdens laagwater} = 4,09 \text{ m.}$$

Er zal dus zonder damwand piping gaan optreden onder de caisson door.

Door toepassing van grover funderingsmateriaal wordt de weerstand tegen piping verhoogd. Andere redenen voor het toepassen van grover funderingsmateriaal heeft te maken met het kunnen laten opdrijven van de caissons. De laag direct onder de caissonbodem moet voldoende doorlatend zijn om het caisson te laten opdrijven en zuiging met de bodem te voorkomen. Het grovere funderingsmateriaal bezit over een hogere schuifweerstand tussen caissonbodem en de fundering benodigd om de horizontale grondbelasting op te nemen.

Om uitspoelen van zand aan de achterzijde en van onderen door de funderingslaag te voorkomen dienen hier maatregelen te worden genomen. Doormiddel van een filteropbouw boven de aanwezige grondslag en een filter of zanddichtdoek aan de achterzijde wordt zandtransport voorkomen. In onderstaande figuur is dit geïllustreerd.



Figuur 9.17: Oplossingsvoorbeeld ter voorkoming van zandverlies via funderingslaag.

Caissons aan Westsluizzijde:

A: Volledige aanvulling tot aan bovenzijde caisson:

De aanwezigheid en de plaats van een damwand onder de caisson heeft enige invloed op de minimaal benodigde caissonbreedte. Zonder damwand is deze 20 meter. Met damwand aan de aanvullingszijde is deze 17,5 meter en met de damwand aan de kolkzijde is deze 22,5 meter. Het voordeel van de damwand aan de kolkzijde is dat deze tijdens de verbreding niet in de weg zit. De wand kan men eventueel laten zitten in de kolkbodem.

De optredende funderingsdrukken onder de caisson zijn voor het geval met de damwand aan de kolkzijde het kleinst en voor het geval met de damwand aan de aanvullingszijde het grootst.

Het evenwichtsdraagvermogen, waarbij de gedraineerde draagvermogen maatgevend is, voldoen voor alle gevallen met uitzondering van de caisson met damwand aan de grondzijde. Hier moet gekozen worden voor een breder caisson door het toepassen van een langere neus/oren

Bij geen van de caissons, $35*17,5*2 - 45*22,5*1$, is er gevaar voor kantelen aanwezig. De resultante van de belastingen ligt in alle gevallen ruim binnen de kern.

Zettingen:

Met behulp van de formule van Koppejan is ter indicatie de samendrukking van de ondoorlatende laag als gevolg van de bovenbelasting door de caisson bepaald. De berekende zetting voor de caissons liggen tussen de 3 cm voor de caisson $35*17,5*2$ tot 7 cm voor de caisson $45*22,5*1$. Voor schutsluizen ligt de toelaatbare zetting in de orde van 5 cm. De optredende zettingen liggen in dezelfde orde grootte. Wel moet worden opgemerkt dat het om een zeer eenvoudige benadering gaat en de invloed van de aangebrachte grond achter de caisson en de ontlasting van de bodem ter plaatse van de kolk niet zijn meegerekend.

Indien de zetting een probleem mocht gaan vormen zijn er een aantal mogelijkheden om deze te verkleinen. Deze zijn:

- Het verminderen van de ballast
- Het toepassen van een lichtere ballast

Minder/ lichtere ballast:

In voorgaande berekeningen is uitgegaan dat de caisson volledig gevuld is met ballast. Gezien de benodigde weerstand tegen afschuiven is dit ook noodzakelijk. Het verminderen en/of verlichten van de ballast heeft een gunstige invloed op de verticale belasting en de funderingsdruk onder de caisson. Echter de horizontale belasting neemt er niet door af. Als gevolg van deze kleinere verticale belasting is de opneembare horizontale belasting kleiner en onvoldoende om de optredende horizontale belasting op te nemen. Het verminderen van de ballast is dus alleen mogelijk als de horizontale belasting kleiner wordt.

Verkleining horizontale belasting:

De horizontale belasting op de caisson kan verkleind worden door geen grond aanbrengen achter de caisson. Zie figuur 9.14.

B: Geen aanvulling achter caissons

Een volledig gevuld caisson ter grote van $30*15*1$ heeft genoeg weerstand om de optredende belastingen met ruim voldoende veiligheid op te nemen, zowel met als zonder damwand. De breedte van de caisson wordt dus sterk gereduceerd. Wel kan de drijvende stabiliteit en de diepgang een beperking vormen voor de toepasbaarheid. Een nauwkeurigere uitwerking van de constructie van de caisson moet dit uitwijzen.

Afwegingen om geen aanvulling achter de caisson toe te passen zijn:

- Toepassing van kleinere caissons.
- Minder afgraafwerkzaamheden tijdens de verbreding.
- Geen aanaarding/aanvullingswerkzaamheden

Als grootste nadeel kan de benodigde ruimte voor de taluds genoemd worden. Ook is de sluis visueel beter zichtbaar als object. De wanden van de caissons worden niet aan het oog onttrokken door de aanvulling. Daarnaast is het sluisplateau minder goed bereikbaar voor materieel en/of hulpdiensten.

Water als ballast:

Het is mogelijk de caissons te vullen met water als ballast. Bij een caisson met afmetingen $45*22,5*2$ zonder damwanden dient deze wel volledig gevuld te zijn bij de maatgevende situatie. Om falen te voorkomen zal dus een controlesysteem moeten worden aangebracht die de waterstanden in de caissons monitoren. Om minder afhankelijk te zijn van dit controle systeem kan een breder caisson

worden toegepast van 30 m. De waterstand kan dan gelijk zijn aan de gemiddelde grondwaterstand. Doormiddel van openingen in de wanden kan ervoor gezorgd worden dat deze waterstand in de compartimenten aanwezig is.

Het grote voordeel van water als ballast is het eenvoudig leeg kunnen pompen van de compartimenten ten behoeve van de verbreding.

Resumerend zijn de minimale caissonafmetingen:

	Minimale caisson breedte	Caissonafmetingen
A: Aanvulling tot bovenzijde caisson:		
Geen damwand:	20 + oren 1 m	40*20*1
Met damwand aan kolkzijde:	22,5 + oren 1 m	45*22,5*1
Met damwand aan aanvullingszijde:	17,5 + oren 2 m	35*17,5*2
B: Geen aanvulling:		
Met en zonder damwand volledig gevuld met zand:	15 + oren 1 m	30*15*1
Zonder damwand volledig gevuld met water	22,5 + oren 2 m	45*22,5*2
Zonder damwand water gelijk aan grondwaterstand	30 + oren 2 m	60*30*2

Tabel 9.4: Overzicht minimale caissonafmetingen.

9.8.9 Bepaling betondoorsnede

Het doel van deze paragraaf is het komen tot de globale dimensies van de betondoorsneden van de caisson. De caisson kan in een aantal elementen worden verdeeld; voor- en achterwand, de kopwanden, tussenwanden en de vloer. De berekeningen zijn gebaseerd op de volgende aannamen:

- De voor- achterwand hebben dezelfde afmetingen.
- Normaalkrachten in de elementen (bijv. het eigengewicht) worden verwaarloosd.
- Alle wanden en de vloer hebben een constante dikte. In een verdere uitwerking van het ontwerp kan wellicht een verlopende dikte worden toegepast.
- Voorspanning van de caisson wordt buiten beschouwing gelaten.
- Gerekend wordt met neutrale gronddrukken in de met ballastmateriaal gevulde compartimenten.
- De compartimenten zijn volledig gevuld met ballastmateriaal (20 kN/m^3) en water.
- Hoek van inwendige wrijving van ballastmateriaal wordt gesteld op 30° .

In de bijlage F zijn de berekeningen uitgewerkt.

9.8.10 Kosten

Voor alle minimale caissonafmetingen zijn de afmetingen wand- en vloerdoorsneden bepaald. Hierbij is gevarieerd met het aantal compartimenten per caisson. Aan de hand van deze uitkomsten zijn vervolgens de kosten per m caissonwand uitgerekend. Hieruit blijkt dat het minimum aantal van 8 compartimenten leidt tot de goedkoopste caissons. Deze caissons zijn echter niet toepasbaar. Voor alle caisson blijkt dat het minimum aantal compartimenten 18 is, omdat bij toepassing van 8 compartimenten de betondoorsneden dusdanig groot worden dat de diepgang van de caissons de toelaatbare diepgang van 14,5 m overschrijden.

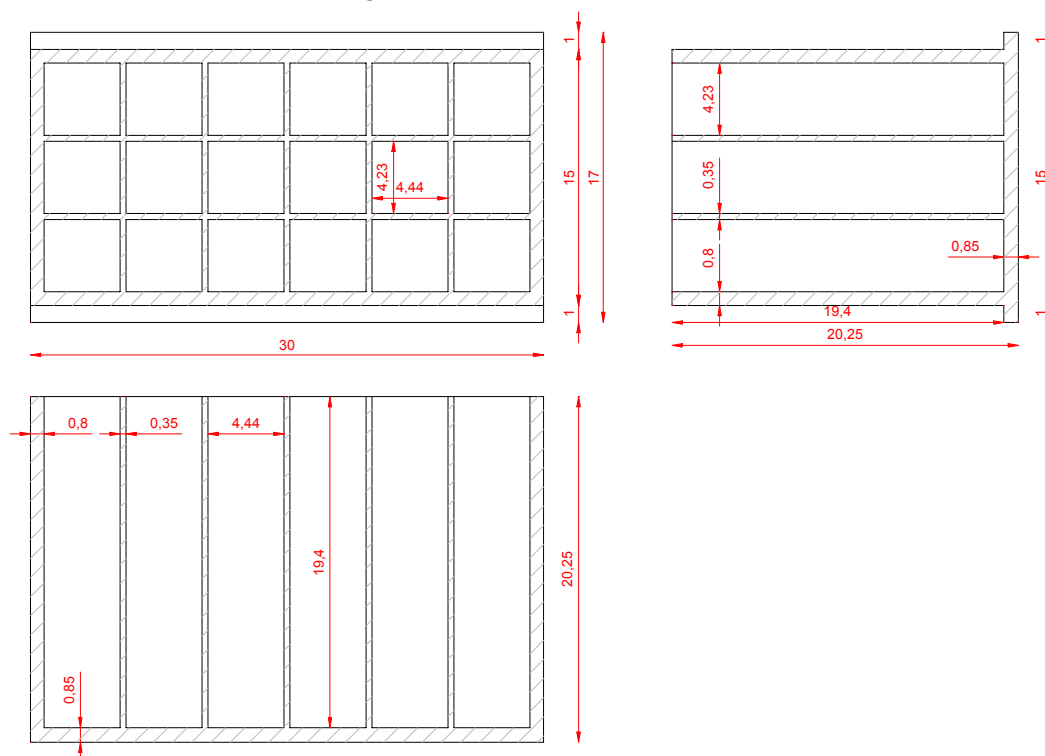
De caissons gevuld met water als ballast zijn niet nader uitgewerkt omdat of een groter caisson nodig is of de caissons met een controle systeem voor het waterniveau moet worden uitgerust. De voordelen van het snel leeg kunnen pompen wegen niet op tegen de hogere kosten van de caisson en het controlesysteem.

	30*15*1	35*17,5*2	40*20*1	45*22,5*1
compartimenten	18	18	18	18
Afmetingen:				
Buitenwand (m)	0,8	0,95	1	1,15
Tussenwand (m)	0,35	0,35	0,4	0,45
Vloer (m)	0,85	1	1,15	1,25
Lcompartiment (m)	4,44	5,23	6,00	6,74
Bcompartiment (m)	4,23	4,97	5,73	6,43
Diepgang (<14,5 m)	13,90	13,77	14,01	13,97
Stabiliteit (drijvend, m)	0,161	1,087	1,483	2,648
Kosten:				
per meter	33110	35922	38900	40934
kosten per m3	384	355	337	310
kosten kolklenkte 400 m	13243967	14368885	15559863	16373452

Tabel 9.5: kostenoverzicht caissons.

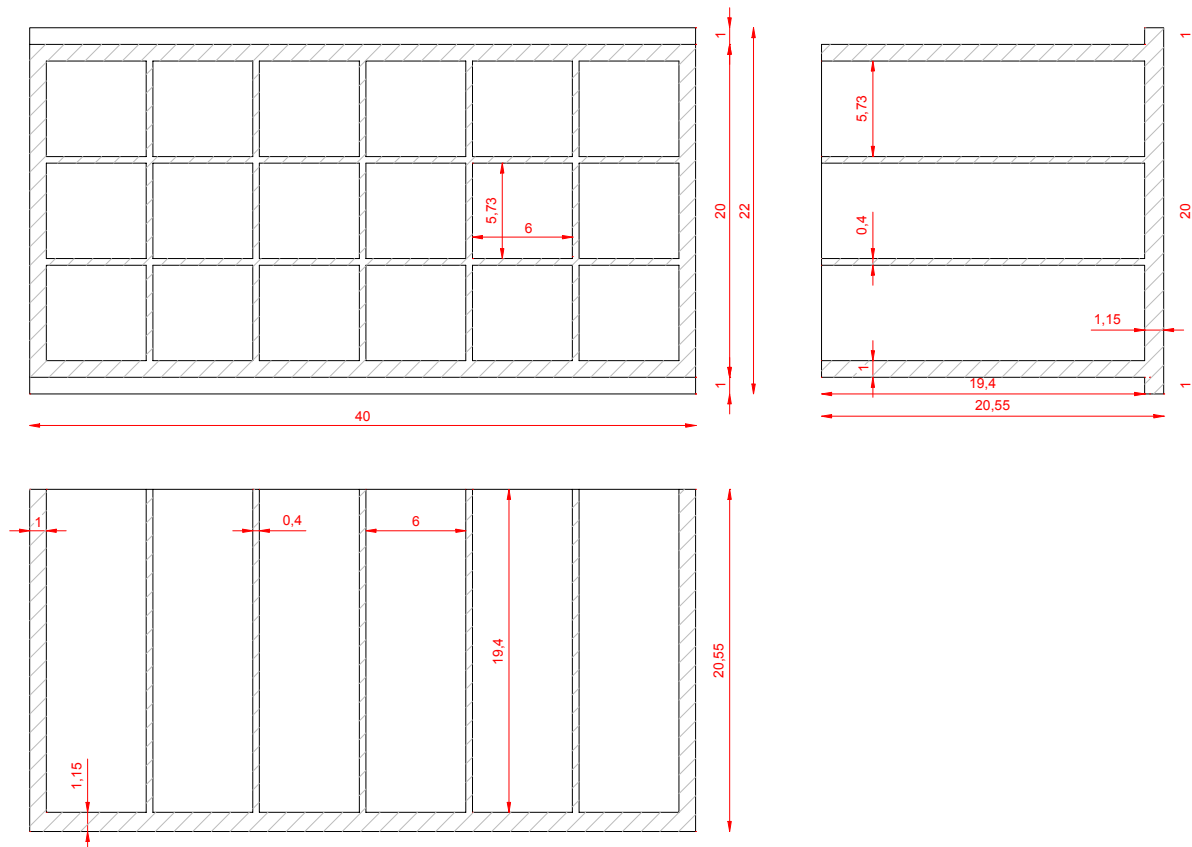
Bij de bepaling van de uiteindelijke kolkvormen zullen alleen de caissons 30*15 en 40*20*1 worden meegenomen. De caisson 40*20*1 vormt een goede gemiddelde schatting voor een sluiscolkvorm met aanvulling. In de figuren 9.18 en 9.19 zijn van deze twee caissons enkele aanzichten en doorsneden getekend.

Bovenaanzicht en dwars en langsdoorsnede caisson 30*15*1:



Figuur 9.18

Bovenaanzicht, dwars- en langsdoorsnede caisson 40*20*1:



Figuur 9.19

9.9 L-wand

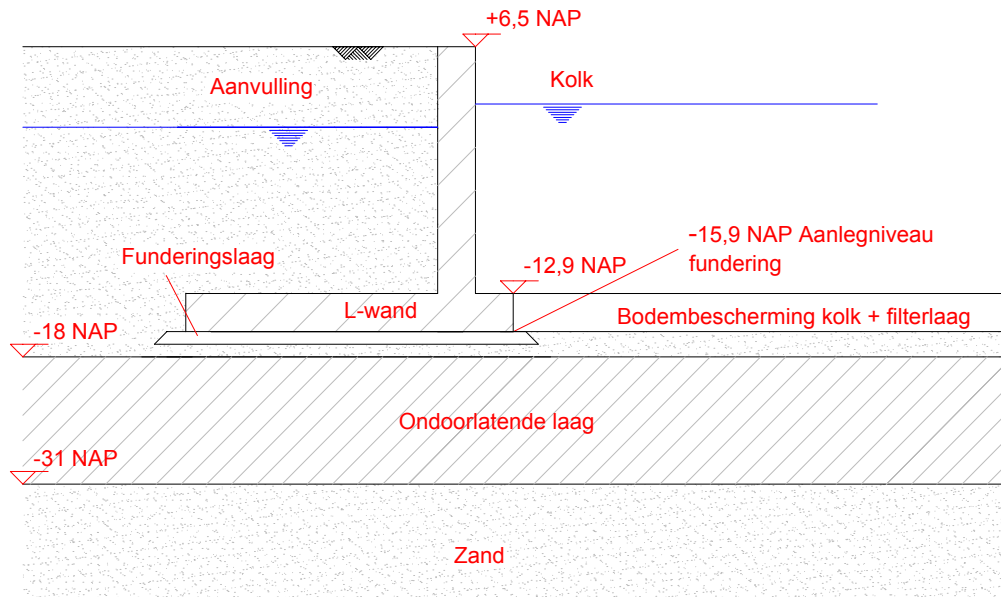
De vaste grondkerende constructie van de kolk bestaat uit een L-wand. Bij uitvoering van de sluis in een droge bouwput is de L-wand de enige oplossing die hierin is te realiseren, zie hoofdstuk 15 Uitvoering. De L-wand is in feite een gewichtsconstructie. Door de horizontale vloer wordt het gewicht van de grondmoot er boven gemobiliseerd als weerstand biedende kracht tegen kantelen en het in horizontale richting afschuiven van de wand.

De wandafmetingen zullen op basis van de volgende criteria worden bepaald:

- Stabiliteit:
 - Weerstand tegen afschuiven.
 - Veiligheid tegen kantelen.
 - Gronddruk onder de L-wand en draagvermogen ondergrond.
- Sterkte van de wand en vloer / dimensionering van de wand en vloer:
 - Optredende grond- en grondwaterdrukken.
 - Waterdrukken.

9.9.1 Constructie en afmetingen

De wand bestaat uit een verticale wand op een horizontale vloer waarbij de vloer aan de grondzijde over enige lengte doorloopt om voldoende gewicht van de bovenliggende grond te kunnen mobiliseren. De wand en vloer zijn in gewapend beton uitgevoerd, voorspanning is niet gebruikelijk. In figuur 9.20 is een doorsnede van de wand geschetst. Voor de eenvoud hebben zowel vloer als wand een constante dikte. Dit is nauwkeurig genoeg omdat er een beeld moet worden verkregen van lengte van de horizontale vloer.



Figuur 9.20: Principe schets L-wand.

Voor zowel de wand als de vloer wordt een gemiddelde dikte aangehouden van 3 m. In werkelijkheid zal onderaan een grotere wanddikte benodigd zijn, terwijl bovenaan een dunnere kan worden toegepast. Voor de vloer geldt hetzelfde, aan de uiteinden kan de vloer dunner zijn uitgevoerd terwijl ter plaatse van de aansluiting wand vloer ook een grotere dikte noodzakelijk zal zijn.

9.9.2 Belastingen en belastingcombinaties

Op de L-wand werken vrijwel dezelfde belastingen als op de caisson. Het enige verschil is de ballast. I.p.v de ballast is hier een verticale belasting aanwezig van de grondmoot boven de vloer.

Belastinggevallen in uiterste grenstoestand:

1. Weerstand tegen afschuiven en kantelen.
Maximale grondwaterstand en een minimaal kolkpeil.
2. Maximale belasting op fundering, controle belasting ondergrond.
De maximale belasting onder de vloer treedt op bij een minimale grondwaterstand en minimaal kolkpeil.

9.9.3 Dimensionering L-wand

Met behulp van een berekeningsprogramma zijn voor verschillende vloerlengtes de optredende funderingsdrukken en de veiligheid tegen afschuiven en kantelen bepaald. In bijlage G zijn deze berekeningen opgenomen. Hier worden alleen de resultaten weergegeven.

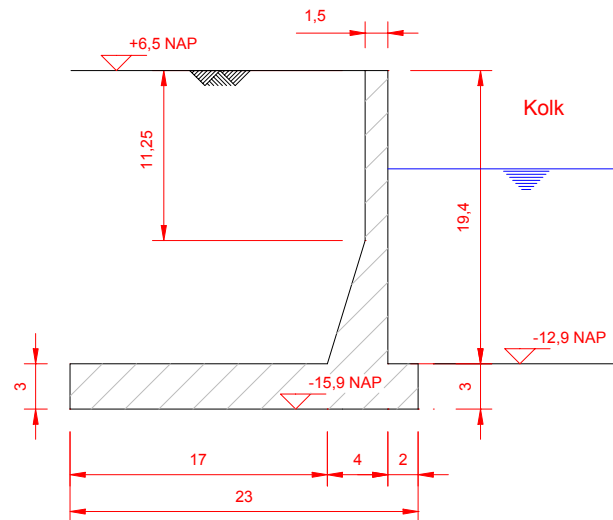
Uitgangspunten bij de berekening

- Achter de wand is een volledig grondaanvulling tot op gelijke hoogte van de bovenzijde van de wand op +6,5 m N.A.P.
- In de uiterste grenstoestand treden enige vervormingen van de wand op, de verplaatsing van de wand zullen klein zijn. Gerekend met een actieve gronddruk.
- De wand is gefundeerd op een funderingsbed met een wrijvingshoek $\phi 32,5^\circ$.
- Onder de wand is een afsluitende onderloopseid/kwelscherm aanwezig welke tot in de ondoorlatende laag doorloopt.

De vaste wand wordt aan de polderzijde gesitueerd, dus wordt gerekend met de waterstanden die in de polder optreden.

Resultaten:

In onderstaande figuur is zijn de benodigde afmetingen voor de L-wand weergegeven.



Figuur 9.21: Dimensie L-wand.

Het verschil tussen de plaats van de damwand aan de kolkzijde of polderzijde is beperkt. De damwand aan de polderzijde is het meest gunstig. De minimale lengte van de vloer is totaal 20 m. Bij een damwand aan de kolkzijde is een vloerlengte benodigd van 23 m. Het toepassen van een langer oor van 3 m in plaats van 2 m aan de kolkzijde reduceert de gronddrukken met ongeveer 30 kN/m². De berekende zettingen zijn 5 tot 7 cm. Nader onderzoek naar de grondeigenschappen en een nauwkeurigere berekening verdient aanbeveling.

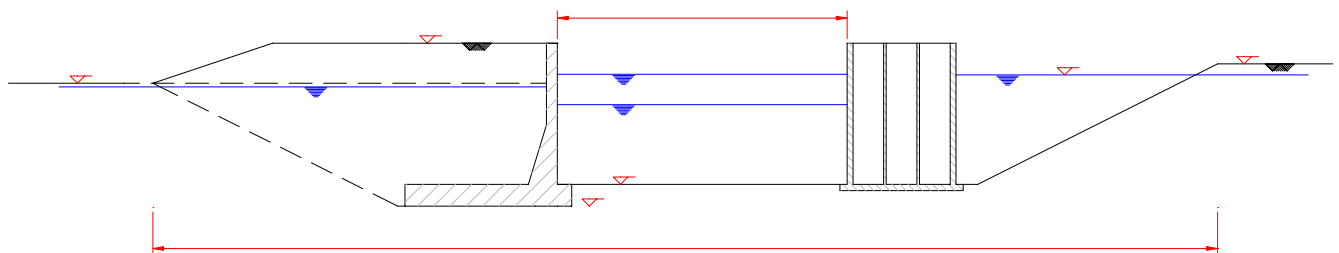
Het reduceren van de betondoorsnede reduceert de kosten van de L-wand. Een L-wand met een vloerlengte van 23 m kost 23.476 Euro/m. Zonder reductie van de wand is dit bijna 30.000 Euro/m. Per m³ beton is dit 217 Euro. Dit komt overeen met uit de literatuur voorkomende richtprijzen voor goedkoop storten van beton van 225 Euro/m³.

9.10 Resulterende doorsneden

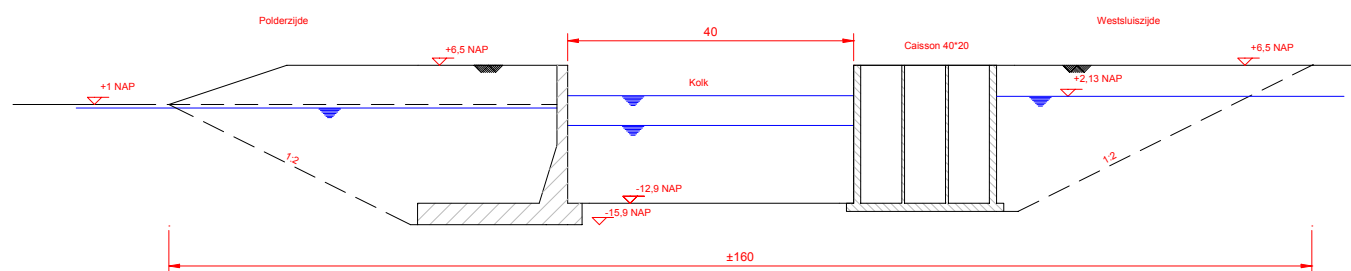
De volgende flexibele kolkvormen zijn mogelijk, waarbij alleen naar de caissonafmetingen 30*15 zonder aanvulling en 40*20 als gemiddeld benodigde afmeting voor een caissonwand met aanvulling. De mogelijkheden zijn:

- L-wand met caisson 30*15 en talud.
- L-wand met caisson 40*20 met aanvulling achter caisson.
- Twee zijden caissons 30*15 met talud.
- Twee zijden caisson 40*20 met aanvulling.

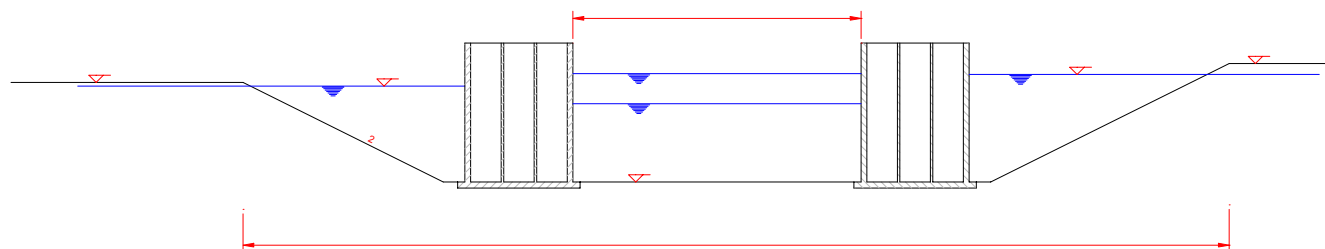
Figuur 9.22: L-wand met caisson 30*15 en talud.



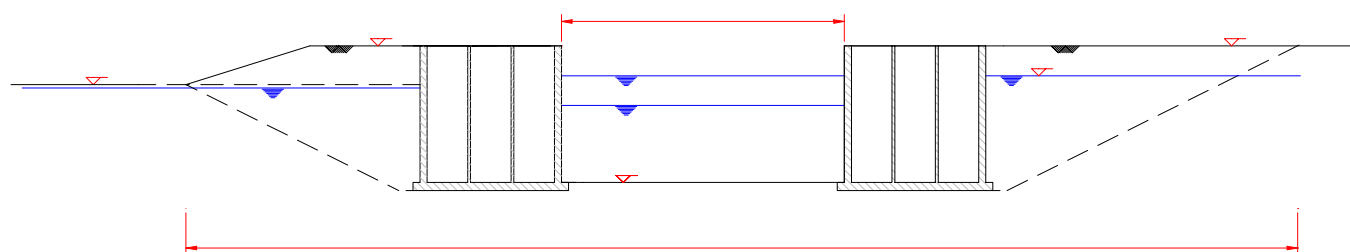
Figuur 9.23: L-wand met caisson 40*20 met aanvulling achter caisson.



Figuur 9.24: Twee caissons 30*15 met talud.



Figuur 9.25: Twee caissons 40*20 met aanvulling.



9.11 Kosten van de kolkdoorsneden

Bij het bepalen van de constructiekosten van de kolk wordt uitgegaan van kengetallen uit documentatie zoals GWW-kosten. Zo wordt een grove benadering gemaakt van de constructiekosten. Hierbij worden de uitvoeringskosten e.d. buiten beschouwing gelaten, omdat hiervoor een nauwkeuriger inzicht moet worden verkregen op het bouwproces. Wel wordt uitgegaan dat de caissons op locatie worden gebouwd. De huur van een bouwdok en transportkosten vallen hierdoor weg. Verder wordt hier de te ontgraven hoeveelheden nog niet bepaald omdat dit mede afhankelijk is van het hoofd en de ligging van het langsgriool.

In onderstaande tabel zijn de aangehouden eenheidsprijzen weergegeven en zijn de kosten voor de vier kolkvormen bepaald. De dikte van de funderingen zijn schattingen evenals de bodembescherming en filterlaag in de kolk op basis van voorbeelden.

	Caisson 30*15 + Lwand	Caisson 40*20 + Lwand	2 caissons 30*15	2 caissons 40*20	
Eenheidsprijzen in Euro's:					
Fundering	45	45	45	45	per m3
Bodembescherming kolk	55	55	55	55	per m3
Filterlaag kolk	50	50	50	50	per m3
Afmetingen/dimensies:					
Kolkbreedte	40	40	40	40	m
Dikte bodembescherming	1	1	1	1	m
Dikte filterlaag	0,5	0,5	0,5	0,5	m
Breedte vloer caisson	17	22	34	44	m
Dikte funderingsbed caisson	1	1	1	1	m
Breedte vloer Lwand	23	23	0	0	m
Fundering vloer	0,5	0,5	0,5	0,5	m
Kosten:					
Funderingsbed caisson	765	990	1530	1980	euro/m
Fundering Lwand	518	518	0	0	euro/m
Kolkbodem	3200	3200	3200	3200	euro/m
Kosten wand:					
Kosten per meter caisson	33110	38900	66220	77800	euro/m
Kosten per meter Lwand	23476	23476	0	0	euro/m
Totaal per meter kolk	61069	67084	70950	82980	euro/m

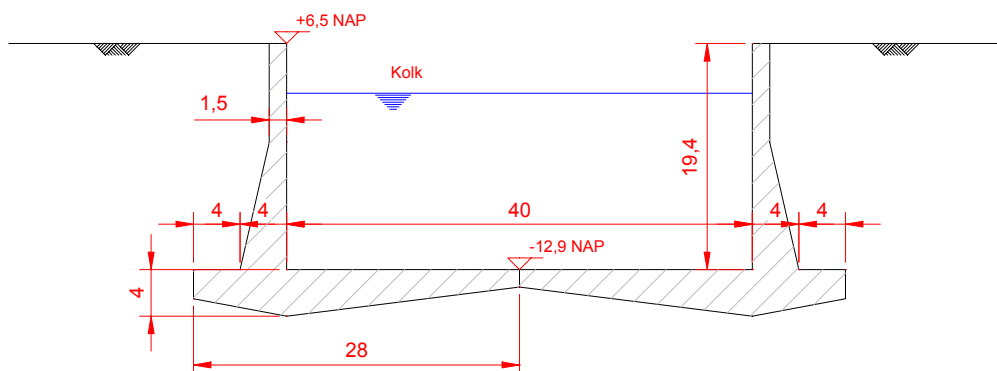
Tabel 9.5: Kostenoverzicht voor de 4 kolkdoorsneden.

Zoals te verwachten is de kolkvorm met de kleinste caisson en L-wand het goedkoopst. Het nadeel is wel dat de ruimte achter de caissonwand niet gebruikt kan worden en hiermee samenhangend het grote ruimtebeslag. In geval van een aanvulling bij een caisson van 40*20 is de oppervlakte achter de wand wel bruikbaar, hetzij niet permanent om uitbreiding mogelijk te maken. Het verschil in kostprijs per meter is ongeveer 6.000 Euro. Het prijsverschil voor de gehele kolk van 400 m is 2,4 miljoen Euro.

Het toepassen van caissons voor beide kolkzijden is duurder, maar maakt het wel mogelijk de kolk geheel elders te prefabriceren en de hoofden in een aparte kleinere bouwput te bouwen. In hoofdstuk 16 zullen diverse toepasbare uitvoeringsmogelijkheden en de daarbij behorende wandsystemen aanbod komen.

9.11.1 Kosten niet flexibele kolkconstructies

Onderstaand zijn twee doorsneden van de kolk geschetst. Deze komen overeen met de kolkdoorsnede zoals voorgesteld is voor de nieuwe sluis in eerdere ontwerpen voor respectievelijk een Panamaxsluis en een Gelichterde Cape-Size sluis. Het ontwerp betreft een gewapend betonnen bakconstructie met één scharnier. Het dwarsprofiel vertoont grote gelijkenis aan het profiel van de kolk van de Westsluis.



Figuur 9.26: Gewapend betonnen bak Panamaxsluis.



Figuur 9.27: Gewapend betonnen bak Gelichterde Cape-Sizesluis.

De kosten van de betondoorsneden zijn berekend op basis van de richtprijzen voor goedkoop storten van beton van 225 Euro/m³. In onderstaande tabel is dit weergegeven. Ook is hier ter vergelijking de kostprijs bepaald voor een kolk opgebouwd uit twee losse L-wanden.

Sluistype	Kolkconstructie	Volume beton per m kolk (m ³)	Eenheidsprijs		Bodem-bescherming	Totaal (Euro)	Raming eerdere ontwerpen RWS
Panamax	Betonnen U-bak.	241	225	54225	-	54225	45.000 - 50.000
	L-wanden en open bodem.			46952	3200	50152	-
Gel. Cape-Size	Betonnen U-bak	296	225	66600	-	66000	60.000 - 65.000
	L-wanden en open bodem			46952	4800	51725	-

Tabel 9.6: Kosten overzicht niet flexibele sluiscolken.

De kosten per m kolk uit de ramingen, zie ook hoofdstuk 17, zijn globaal omdat, niet geheel zeker is met welke kolk lengte in de ramingen van RWS gerekend is. Voor de Panamaxsluis ligt dit tussen de 350 en 400 m, een deel van de kolk wordt immers gevormd door het hoofd. Kostprijs per m kolk ligt enigszins lager dan hier op basis van de richtprijzen is geschat, 50.000 Euro tegenover 54.225 Euro. Voor de gelichterde Cape-Size komen de hier berekende kostprijs beter overeen met de ramingen.

Bij met name bredere sluisen lijkt het voor de hand te liggen te kiezen voor een kolk opgebouwd uit L-wanden. De hier berekende kostprijs is ruim 10.000 Euro lager. Echter moet bedacht worden dat het toepassen van een open bodem lang niet overal mogelijk is zodat een keuze voor deze constructie af valt en dat de benodigde ruimte voor de bouwput groter is omdat deze breder is door de aan weerszijde van kolk uitstekende vloer. De uitvoeringskosten, die hier niet mee gerekend zijn, nemen hierdoor toe.

Bij de Panamax-sluis is het verschil in constructie kosten tussen een betonnen U-bak en L-wanden minder groot dan bij de gelichterde Cape-Size het geval is. Dit wordt veroorzaakt doordat de wandconstructie in geval van een L-wand voor beide sluisstype gelijk zijn. Alleen de hoeveelheid bodembescherming neemt toe, deze bodem is echter ten opzichte van een betonnen vloer relatief goedkoop te realiseren.

9.12 Vergelijking tussen flexibele kolk en ‘normale’ kolk

Het verschil in kosten per m tussen de flexibele sluiskolk met aanvulling en een Panamax sluiskolk is met bijna 13.000 Euro per meter aanzienlijk. Voor een kolk met een lengte van 400 m is dit 5,2 miljoen Euro. Dit verschil wordt alleen veroorzaakt door de relatief dure caissonconstructie.

Ten opzichte van de gelichterde Cape-Size pakt de flexibele kolk gunstiger uit. Het verschil in constructiekosten is kleiner. De kolk heeft echter in eerste instantie met een breedte van 40 m. Voor een breedte van 60 m is een verbreding nodig. Hiermee zijn uitvoeringskosten gemoeid zoals het ontgraven van de grond achter de caissons, aanleg van nieuwe funderingslaag en eventueel grondverbetering, het leeg halen van de compartimenten, laten opdrijven, verplaatsen en weer af laten zinken. In hoofdstuk 15 wordt de uitvoering van de verbreding toegelicht. De totale kosten per meter kolk zullen hierdoor gaan toenemen.

Wordt de flexibele kolk direct met een breedte van 60 m gebouwd, dan zijn de kosten $67.084 - 3.200 + 4.800 = 68.684$ Euro/m. Dit is toch vrij opmerkelijk te noemen, omdat men zou verwachten dat dit leidt tot een groter verschil met een ‘gewone’ kolk, die 60 tot 65 duizend Euro/m kost. Een caisson is immers een relatief dure constructie, veel bekistingsoppervlak, tegenover de relatief eenvoudig van vorm zijnde U-bak constructie.

In hoofdstuk 16 zal met behulp van de hier bepaalde kosten in deze en vorige paragraaf de totale kosten van de flexibele sluis worden bepaald en vergeleken met kostenramingen van een gelichterde Cape-Size sluis.

9.13 Conclusies flexibele sluiskolk

In principe is het mogelijk één zijde van de kolk uit te voeren als flexibele wand doormiddel van caissons. De benodigde caissonafmetingen zijn niet buitenproportioneel te noemen. Voor de flexibele sluiskolk kan qua kosten het volgende geconcludeerd worden. Een flexibele sluiskolk met een breedte van een Panamax-sluis is een duurdere oplossing dan een ‘reguliere’ U-bak constructie. Het verschil tussen een flexibele sluiskolk en een gelichterde Cape-Size sluiskolk is slechts klein en lijkt dus op het eerste gezicht een redelijk alternatief te vormen voor een reguliere sluiskolk. Hierbij moeten echter de volgende kanttekeningen worden gemaakt. Verdere optimalisatie van de caissons en L-wand kunnen de kosten verder doen afnemen. Optimalisatie is mogelijk omdat geen rekening is gehouden met repetitie-effect tijdens de uitvoering en toepassen van minder conservatieve veiligheidsfactoren voor de belastingen in plaats van de hier aangehouden 1,5. Aan de andere kant zijn de kosten van de verbreding niet mee gerekend. Deze zullen het verschil in kosten weer doen toenemen.

In hoofdstuk 17 zullen de totale kosten van de flexibele en Cape-Size sluis worden bepaald. Op basis hiervan kan een beeld worden gegeven van wat de uitvoering van de verbreding mag gaan kosten.

10 Wegverbinding over sluis

10.1 Inleiding

Naast de functie van het doorlaten van schepen moet de sluis ook te passeren zijn door het wegverkeer. Voor het wegverkeer zijn diverse oplossingen voor handen om de sluis te passeren. Echter niet elke oplossing laat zich even goed met een uitbreiding van de sluis combineren. De voorgestelde oplossing is niet wenselijk of om economische redenen niet haalbaar. In de praktijk bestaat de oeververbinding vaak uit één of twee beweegbare bruggen nabij de hoofden of uit een vaste hoge brug nabij het benedenhoofd. Zeldzamer zijn doorgaande oeververbindingen voor het verkeer via de deuren of via een tunnel onder de sluis door. Voor alle gevallen geldt dat de oeververbinding over de sluis een extra complicatie vormt ten aanzien van de uitbreiding.

De verbinding van het wegverkeer komt nu al aan de orde omdat de oplossingskeuze van belang is voor de verdere vormgeving van de sluiscomponenten deuren en het hoofd. In dit hoofdstuk worden enkele oplossingen genoemd en ondermeer bekeken hoe deze te combineren zijn met de uitbreiding van de sluis.

10.2 Situering

De wegen over het sluizencomplex vormen de kortste verbindingroute tussen Terneuzen en Hoek en tussen Terneuzen en het chemische bedrijf Dow Chemicals. De weg vormt echter niet een belangrijke hoofdweg. De belangrijkste verbindingsweg, de N61, loopt even ten zuiden van het sluizencomplex via een beweegbare brug over het kanaal. Langs de gehele route is een tweezijdig in één richting bereden fietspad gesitueerd. In het literatuurrapport is de aanwezige infrastructuur over het bestaande sluizencomplex en de omgeving uitvoeriger beschreven.

10.3 Eisen

De belangrijkste eisen die aan de oeververbinding gesteld worden zijn:

- Behoud van huidige functie als locale verbindingsweg.
- Al het huidige verkeer moet gebruik kunnen blijven maken van deze weg.
- Stremming als gevolg van het normale schutproces moet vermeden worden in verband met calamiteiten en doorgang verlenen aan hulpdiensten.

10.4 Passeer mogelijkheden wegverkeer van de sluis

De volgende vier manieren om de sluis te passeren zijn te onderscheiden:

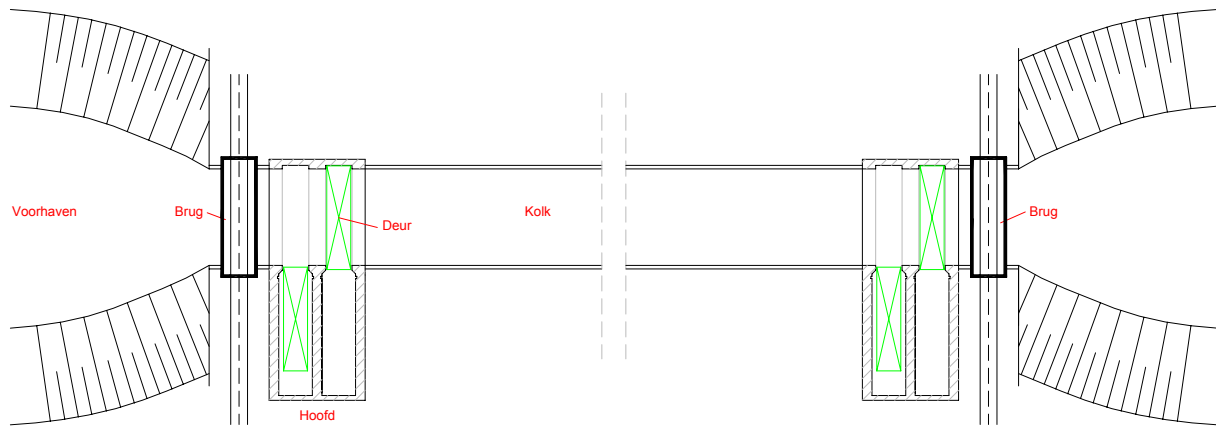
- Via beweegbare bruggen.
- Via een hoge vaste brug.
- Via onderdoorgang (naviduct).
- Via de deuren.

Deze zullen elk worden toegelicht. De mate van toepasbaarheid en geschiktheid hier worden bekeken.

10.4.1 Via beweegbare bruggen

Beweegbare bruggen worden vaak toegepast als oeververbinding over de sluis. Het verkeer kan via deze oeververbinding de sluis passeren. Omdat stremmingen niet mogen voorkomen (eis) zijn twee bruggen noodzakelijk, één nabij het binnenhoofd en één nabij het buitenhoofd. De bruggen worden buiten de kolk te gesitueerd. Zo is er altijd één brug beschikbaar voor het verkeer.

Een veel voorkomende brugtype dat als beweegbare brug over sluizen wordt toegepast is de basculebrug en in mindere mate de draaibrug. Bij de Westsluis bestaan er plannen de bestaande twee basculebruggen te gaan vervangen door het tegenwoordig nog weinig toegepaste rolbrugtype.



Figuur 10.1: Beweegbare bruggen ter plaatse van de hoofden

Uitbreiding van de sluis heeft grote invloed op het ontwerp en uitvoering van de beweegbare bruggen.

Verbreiding:

In geval van verbreding zijn er twee mogelijkheden:

- Bestaande bruggen, afgestemd op een Panamaxsluis, vervangen door nieuwe langere bruggen.
- Direct kiezen voor langere bruggen, zodat verbreding mogelijk is met behoud van de bruggen.

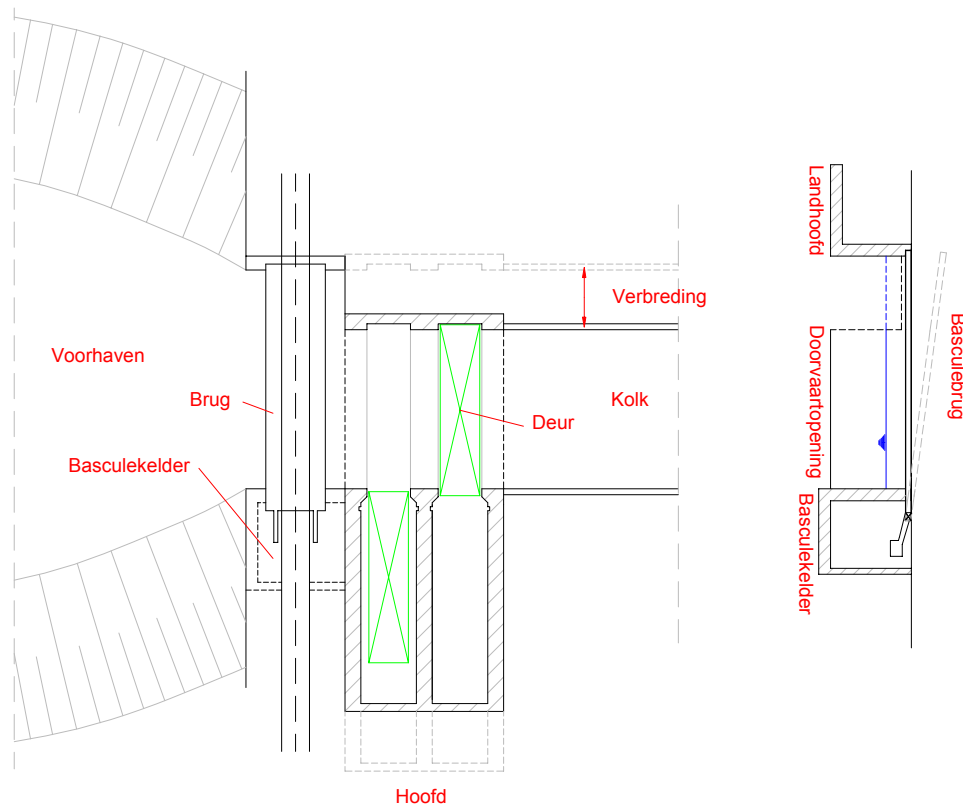
Vervangen van bruggen:

Bij alle brugtypen (bascule, draai, rol, etc) is het nodig een nieuw landhoofd te realiseren aan de zijde van de verbreding en moet het oude landhoofd worden afgebroken. Daarnaast zullen de bruggen zelf vervangen moeten worden door langere exemplaren en zijn eventueel aanpassingen aan kelders, draaipunten, bewegingswerken e.d. nodig, mede afhankelijk van de bestaande capaciteiten hiervan. Bijvoorbeeld in geval van een basculebrug zullen de basculekelders aan de vaste zijde van de sluis worden gesitueerd, dus aan de deurniszijde indien de verbreding plaatsvindt aan de deurniszijde. De oplegpunten van het draaipunt en de fundering moeten het grotere gewicht van de nieuwe bruggen kunnen opnemen. De kelder moet plaats kunnen bieden aan het grotere/zwaardere contragewicht. Indien dit niet het geval zullen deze elementen/onderdelen ook vervangen of aangepast moeten worden.

Lange bruggen:

Bij het toepassen van lange bruggen kunnen deze behouden blijven wat een verbreding eenvoudiger qua uitvoering maakt. Wel is de maximale grootte van de verbreding gebonden aan de in het verleden gekozen overspanning. Het landhoofd fungeert als sluiswand. De investeringen zijn in eerste instantie hoger dan een kortere brug. In onderstaande figuur is het principe geschetst in geval van een basculebrug.

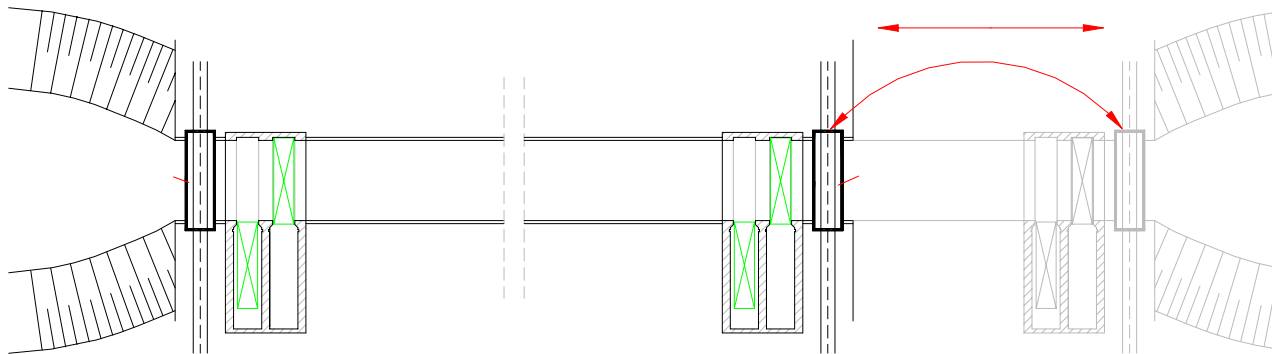
De zijde van het landhoofd is versprongen ten opzichte van de deurniswand en de kolkwand. In figuur 10.2 is schematisch de verbreding van kolk en doorvaartopening weergegeven evenals het verlengen van de deurkassen. Uit deze schets is te zien dat de brug geen belemmering vormt voor de verbreding. Ook de toeleidingswegen naar de brug toe kunnen in principe behouden blijven, waardoor stremming/hinder voor het wegverkeer minimaal is.



Figuur 10.2: Toepassing van een lange beweegbare brug.

Verlenging:

In geval van verlenging kunnen de bruggen zelf behouden blijven. Echter één van de bruggen bevindt zich nu binnen de kolk, waardoor deze tijdens het shutproces langdurig geopend is. Verplaatsen van de brug naar buiten de kolk zal dan ook onvermijdelijk zijn. De bouw van nieuwe landhoofden/brugfunderingen is dan noodzakelijk.



Figuur 10.3: Verplaatsen brug in geval van verlenging.

10.4.2 Vaste hoge brug

Het wegverkeer is bij een vaste hoge brug geheel onafhankelijk van het scheepvaartverkeer en heeft altijd vrije doorgang.

Zowel verlenging als verbreding, indien gekozen is voor een voldoende lange overspanning, kunnen zonder complicaties worden uitgevoerd, de brug vormt geen belemmering.

Omdat zeeschepen moeten kunnen passeren is echter een relatief hoge brug noodzakelijk. De kosten hiervan zullen aanzienlijk zijn. Bovendien zijn er knelpunten op het gebied van de inpassing. Voor een hoge brug zijn lange op- en afritten nodig, aan de oostzijde, tussen de Westsluis en de nieuwe zeesluis is slechts een beperkte ruimte aanwezig. Esthetisch/landschappelijk gezien zijn er ook veel bezwaren. Een hoge brug wordt dan ook niet als geschikte en realistische oplossing gezien.

10.4.3 Onderdoorgang/tunnel

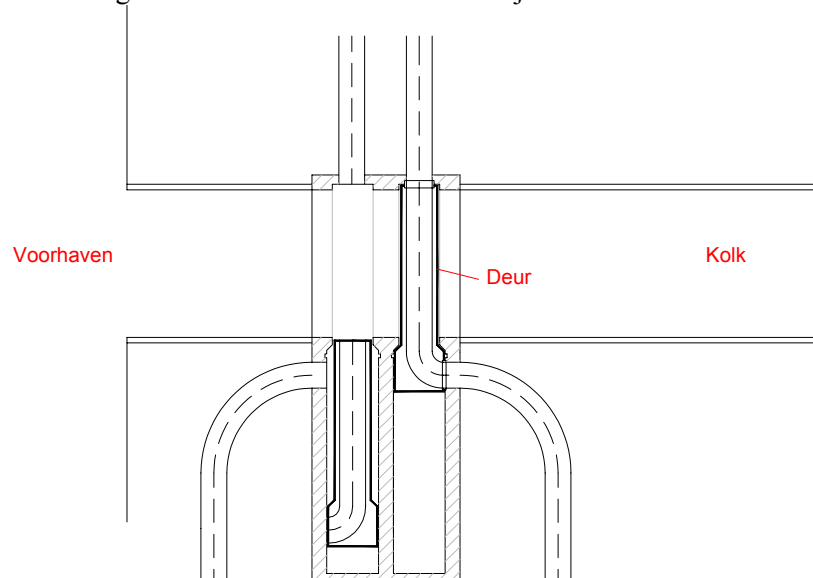
Ook bij een tunnel is het wegverkeer geheel onafhankelijk van het scheepvaartverkeer en is ook altijd een vrije doorgang beschikbaar. In geval van verlenging vormt de tunnel geen belemmering. Voor verbreding zal de tunnel lang genoeg moeten zijn uitgevoerd om de gewenste verbreding mogelijk te maken.

Een voorbeeld van een tunnel onder een sluis door is het naviduct Krabbegat te Enkhuizen. Hier betrof het echter een dubbele sluis geschikt voor de binnenvaart en pleziervaart en dus een stuk kleiner van formaat. Met name de aanlegdiepte is hier aanmerkelijk kleiner. In het geval voor de zeesluis is de aanlegdiepte voor de onderdoorgang vele malen groter, de onderzijde van de tunnel zal al snel op meer dan 25 meter diepte moeten komen te liggen.

Door deze diepe ligging zijn weer lange toeritten noodzakelijk welke tussen de Westsluis en de nieuwe sluis lastig in te passen zijn. De kosten van een dergelijke oplossing zullen aanzienlijk zijn die niet gerechtvaardigd kunnen worden aangezien het een gaat om een locale verbindingsweg. Een tunnel wordt dan net als de hoge vaste brug voor deze situatie dan ook niet gezien als geschikte en realistische oplossing.

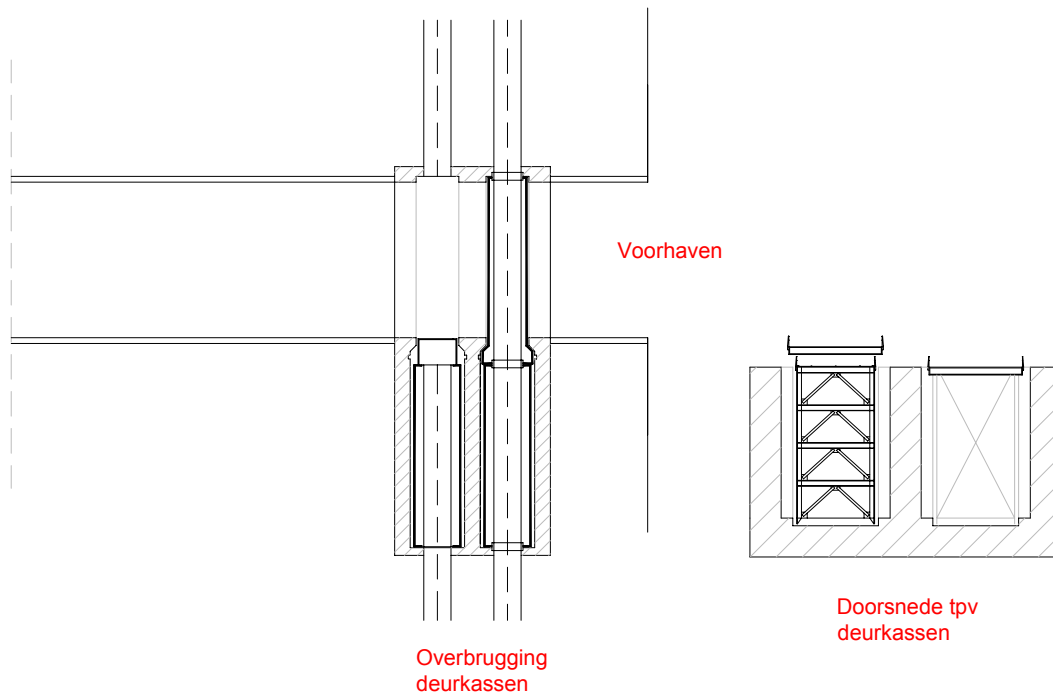
10.4.4 Rijdek op de deuren

Bij een rijdek op de deuren fungeren de roldeuren als beweegbare brug. Het verkeer passeert de sluis via de deuren. Hiertoe dienen op de deuren een rijdek te worden aangebracht. Er zijn slechts weinig sluizen waarbij het verkeer via de deuren verloopt. Enkele voorbeelden zijn de Noordersluis in het Noordzeesluizencomplex en de Zeesluis te Zeebrugge (alleen binnenhoofd). Bij deze constructies moet het verkeer het rijdek over de deur aan de deurkaszijde zijwaarts betreden en of verlaten over het verlengde deel van deur dat in de deurkas blijft of over de bovenrolwagen. Het verkeer moet hier dus een haakse bocht maken, waardoor de capaciteit een stuk kleiner is. Andere voorbeelden waar rijdekken zijn toegepast zijn de krammersluis te Hansweert en de Roompotsluis op Neeltje-Jans, maar deze zijn alleen voor langzaam verkeer/lokaal verkeer berijdbaar.



Figuur 10.4: Zijwaarts verlaten en betreden rijdek op deur.

Te Terneuzen betreft het echter een doorgaande weg welke lokaal een belangrijke verbinding vormt tussen Hoek en Terneuzen en tussen Terneuzen en het chemische bedrijf Dow Chemicals. Door middel van een overbrugging van de deurkassen waarbij het verkeer de deuren recht kan oprijden en afrijden kan de capaciteit verbeterd worden. Een voorbeeld is de voormalige Oostsluis in het kanaal door Zuid-Beveland te Wemeldinge.



Figuur 10.5: Overbrugging van de deurkassen.

De overbruggingsconstructie over de deurkas bestaat uit een verticaal beweegbaar rijdek. In het geval dat deur in de deurkas getrokken is de overbrugging geheven. In gesloten stand sluit de overbrugging aan op het rijdek over de deur en de weg op het land. In figuur 10.5 is dit geschetst.

Verbreiding:

In geval van verbreding van de sluis zullen de deuren inclusief rijdek in beide gevallen vervangen dan wel aangepast moeten worden. In Hoofdstuk 12 "Deuren" wordt dit aspect behandeld. Bij de zijwaartse op- en afritten is behoud van de bestaande aansluiting mogelijk. In geval van de rechte aansluiting op de doorgaande weg zal ook de overbruggingsconstructie aangepast moeten worden aangezien de deurkassen verlengd worden ten behoeve van de langere deuren. Het verlengde deel van de deurkassen zal eveneens overbrugd moeten worden. Dit kan bijvoorbeeld door middel van een tweede overbruggingsconstructie ter grootte van de deurkasverlenging welke aansluit op de bestaande constructie. Hierdoor kan de oude behouden blijven.

De toeleidingswegen zullen in beide gevallen ten behoeve van de verbreding gedeeltelijk moeten worden afgebroken.

Verlenging:

Bij verlenging van de sluis kunnen er meerdere situaties optreden.

1. Het bestaande hoofd blijft in gebruik en functioneert als een tussenhoofd. Het nieuwe hoofd wordt voorzien van nieuwe deur(en). De deurkas(sen) van het nieuwe hoofd zullen overbrugd moeten worden door een nieuwe overbrugging.
2. De functie van het oude hoofd vervalt en de deuren worden in het nieuwe hoofd geplaatst. De overbrugging van het oude hoofd kan dan ingezet worden in het nieuwe hoofd. Er zijn in deze situatie geen nieuwe overbruggingen nodig. In beide gevallen moet de wegen worden aangesloten op de bestaande wegen.

10.5 Vergelijking en keuze oeeververbinding

Een keuze voor de oeeververbinding is op basis van het voorgaande niet direct te maken. Wel is duidelijk dat een hoge vaste brug en een tunnel afvallen. Ook de optie het verkeer over deur te laten rijden in combinatie met het zijwaarts betreden of verlaten valt af om de reden van de te beperkte

capaciteit door de scherpe bocht. Dit verkleint de keuze tot de twee opties; beweegbare bruggen of een deur met rijdek in combinatie met een overbruggingsconstructie van de deuren.

Indien er vanuit wordt gegaan dat verbreding in de toekomst zal plaatsvinden is de variant waarbij gekozen is voor korte bruggen minder geschikt om toegepast te worden omdat dan nieuwe bruggen en landhoofden noodzakelijk zijn. Dit maakt deze variant complexer en langduriger qua uitvoering omdat meer werkzaamheden verricht moeten worden. Dit heeft een langere bouwtijd en stremming tot gevolg, wat leidt tot hogere kosten van de verbreding. Wanneer in de toekomst geen verbreding uitgevoerd wordt is deze oplossing zeer waarschijnlijk het goedkoopst gezien de veelvuldige toepassing van beweegbare bruggen in de huidige praktijk over een sluis. Omdat geëist wordt dat de sluis in de toekomst relatief éénvoudig en met zo min mogelijk hinder/stremming voor het scheepvaartverkeer uitgebreid moet kunnen worden, valt deze variant af.

De keuze tussen de twee overige varianten zal moeten worden gemaakt op basis van een nadere uitwerking en kosten. Het is niet op voorhand te zeggen welke variant het goedkoopst uit zal vallen. In onderstaande tabel zijn voor en nadelen van beide varianten gegeven.

Vergelijking:

Oeververbinding	Voordelen	Nadelen
Beweegbare brug lang	Bruggen kunnen behouden blijven bij verbreding.	Hogere directe investering waarvan niet zeker of er gebruik van wordt gemaakt.
	Eenvoudig wegenplan.	In geval van verlenging verplaatsing van brug naar nieuw hoofd noodzakelijk. Daardoor oude fundering overbodig.
	Wegen kunnen behouden blijven.	Maximale verbreding gebonden aan gekozen overspanning
		Gevoeligheid voor wind, waardoor brug bij groter windsnelheden niet geopend kan worden
		Mogelijke hinder van het val voor hoog stekende schepen*.
Via deuren en overbruggingsconstructie	Alles is binnen het hoofd gesitueerd. Geen aparte constructie nodig zoals landhoofden en brugfundering die met name een verbreding complexer maakt.	Vier overbruggingsconstructies noodzakelijk.
	Flexibel in uitbreiding, zowel bij verlenging als verbreding.	Complexere wegenstructuur.
	Gehele bestaande constructie kan in gebruik blijven, geen 'verkwisting' van constructies.	Bereikbaarheid deuren voor onderhoud is beperkt.
	Kan ook bij hoge windsnelheden geopend worden.	Wegen moeten gedeeltelijk worden afgebroken in geval van verbreding, hinder/overlast voor wegverkeer tijdens uitvoering.
	Geen hinder van over de kolk hangen val.	

* Een probleem die bij de huidige Westsluis speelt door de schuin staande val waardoor een speciaal fender nodig is om de brug tegen aanvaringen te beschermen

Tabel 10.1: Vergelijking voor- en nadelen lange beweegbare brug en overbrugging deuren.

10.6 Implementatie in verdere uitwerking

Bij de verdere uitwerking van de overige componenten van de sluis in de volgende hoofdstukken zal uit worden gegaan een wegverbinding via de deuren. De overbruggingsconstructie zelf wordt niet verder uitgewerkt dan het geven van een schetsontwerp welke in bijlage H is gepresenteerd.

11 De deuren

11.1 Inleiding

In hoofdstuk 7 is naar voren gekomen dat een rol/glijdeur als afsluitmiddel voor een sluis van dergelijke afmetingen het meest geschikt is. In dit hoofdstuk wordt verder ingegaan op het ontwerp van de deur en wordt bekeken wat de gevolgen van een sluisaanpassing op de deur hebben en welke oplossingen er mogelijk zijn. Als gevolg van de verbreding zal de af te sluiten opening groter worden. Hierdoor is het noodzakelijk dat de deur ook vergroot moet worden. Ten aanzien van de verbreding zijn voor de deur meerdere oplossingen mogelijk, zodat deze zowel in de beginsituatie voor verbreding en de situatie na verbreding voldoet.

11.2 Ontwerp van de deur

De voor de deur specifiek geldende randvoorwaarden en eisen zullen eerst worden genoemd, waarna de deur verder wordt uitgewerkt. Het doel is te komen tot een deuroplossing waarvan de globale afmetingen en de belangrijkste maten bepaald zijn en als randvoorwaarde gebruikt worden voor het ontwerp van de hoofden. Voor een eerste ontwerp wordt de deur benaderd als ligger op twee steunpunten, zodat met de lineaire elastische (ligger) theorie de afmetingen worden bepaald. Voor een nadere detaillering wordt meestal gebruik gemaakt van eindige elementen programmatuur. Dit wordt nu echter niet gedaan omdat slechts inzicht hoeft te worden verkregen in de globale afmetingen. In de bijlage zijn de uitwerkingen van de berekeningen te vinden. De verkregen afmetingen zullen vergeleken worden met deurafmetingen uit de praktijk.

11.2.1 Uitgangspunten en randvoorwaarden

Uitgangspunten zijn:

- Het rijdek wordt buiten beschouwing gelaten in de berekening. De invloed hiervan op de hoofdafmetingen van de deur tav de sterkte zal naar verwachting niet groot zijn. Wel kan het aanbrengen van het rijdek op de deur van invloed zijn op de breedte.
- De deur wordt drijvend aangevoerd, dit betekent dat deur over voldoende opdrijvend vermogen moet beschikken.
- Geen invloed van wijze van voortbewegen (rollen of glijden) op hoofdafmeting. Er wordt immers alleen gekeken naar de gesloten situatie.
- De maximale doorbuiging in de uiterste grenstoestand van sluisdeuren liggen in de orde grootte van 75 mm.
- Geen vul- en lediging van kolk via de deuren.

Randvoorwaarden:

In de tabel zijn de belangrijkste en maatgevende peilen voor de deur weergegeven.

	Waarde:
MHW	N.A.P +5,75 m
MLW	N.A.P – 4 m
Maximum kanaal peil na overslag	N.A.P + 3,15 m
Hoog kanaal peil	N.A.P + 2,38 m
Laagste kanaal peil	N.A.P + 1,88 m
HSP	N.A.P +4 m
LSP	N.A.P –3,50 m
Bovenzijde deurbeplating	N.A.P +6,50 m
Breedte doorvaartopening	40 m
Diepgang*	13,8 m
Ontwerp golf (H_d)	2,80 m

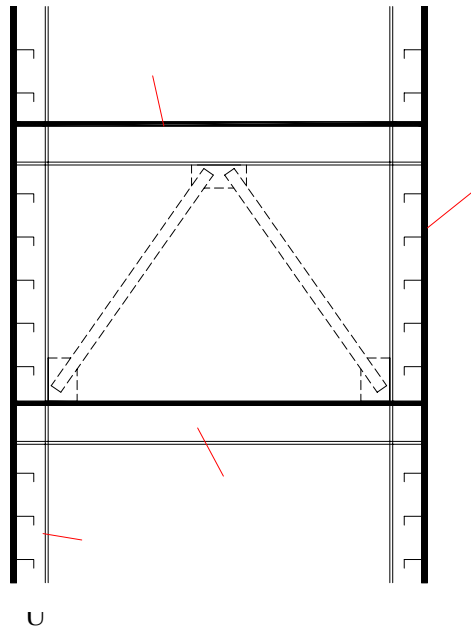
*Bij een waterstand van + 0,90m N.A.P

Tabel 11.2: Eisen en randvoorwaarden roldeur.

De dichtheid van het water in zowel de Westbuitenhaven als op het kanaal varieert met de tijd. De gemiddelde dichtheid in de Westbuitenhaven varieert tussen de 1012 en 1020 kg/m³. Gedurende hoge afvoeren van de rivier de Schelde en kanaalafvoeren is deze laag, meestal in de winter, en hoog tijdens lage afvoeren in de zomer en tijdens stormvloed. Op het kanaal varieert de gemiddelde dichtheid van 1000 tot 1008 kg/m³.

11.2.2 De constructie

De deur bestaat uit twee verticale wandplaten welke door middel van horizontale platenvelden (regels) met elkaar zijn verbonden. Hierdoor ontstaan een aantal horizontale kokers boven elkaar. De horizontale regels koppelen de beide verticale wanden en voeren de belasting af naar de eindportalen. De horizontale platen zijn verstijfd met horizontale steunbalken loodrecht op het deurvlak. De verticale wand wordt op dezelfde plaats gesteund door stijlen en vormen tezamen een portaal.

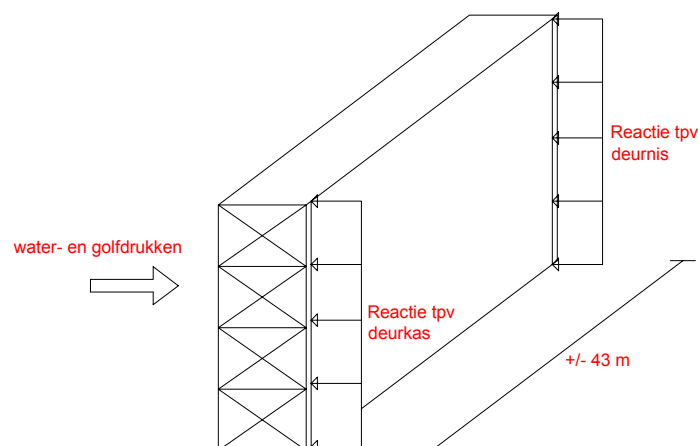


Figuur 11.3: Doorsnede deur.

De eindportalen dragen de belasting over op de verticale aanslagen in de deurkas en deurnis. Hiertoe zullen de eindportalen zwaarder moeten worden uitgevoerd om de belasting zo gelijkmatig mogelijk over de aanslagen te verdelen. Eventueel zijn ook schoren aangebracht.

Krachtsoverdracht:

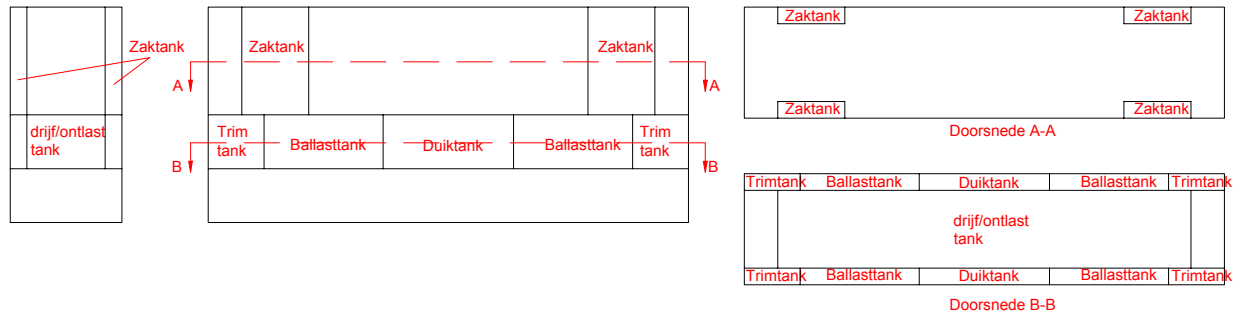
In gesloten situatie overspant de deur de gehele sluisbreedte en kan zo het verval over de deur keren. Hierbij worden de horizontale belastingen overgedragen naar verticale aanslagen in de deurkas en de deurnis van het hoofd. Het systeem bestaat dus uit een samengestelde constructie opgelegd op twee lijnondersteuning.



Figuur 11.4: Krachtsoverdracht naar aanslagen.

Luchtkisten

De deur is zodanig van omvang dat deze drijvend aangevoerd zal moeten worden. Daarom zal de deur moeten worden voorzien van luchtkisten om de deur drijvend te maken. De luchtkisten zijn verdeeld in meerdere compartimenten. De compartimenten kunnen individueel worden gevuld met water als ballast en of trimmogelijkheid tijdens het transport, afzinken en gebruik. Een deel van de compartimenten blijft fungeren als luchtkist om het gewicht beperkt te houden, een deel wordt gevuld met ballastwater om de deur stabiel te houden tijdens het openen en sluiten van de deur. In onderstaande figuur is schematisch de verschillende compartimenten weergegeven.



Figuur 11.5: Schematisatie luchtkisten verschillende luchtkisten.

Om hinderlijke, grote bewegingen van deur te vermijden is het van belang dat de luchtkisten zich onder het waterniveau bevinden en dus zo laag mogelijk in de deur moet worden aangebracht. Echter met het oog op de stabiliteit tijdens transport kunnen de luchtkisten niet geheel onderin worden gesitueerd.

Open constructie:

Om de weerstand tijdens het bewegen zo klein mogelijk te houden is het van belang dat de deur zo goed mogelijk doorstroombaar is. Grotere spanten leiden tot een kleinere doorstroomopening en een hogere stromingsweerstand en dus een groter benodigd aandrijvend vermogen van de bewegingswerken. Ter plaatse van de luchtkist(en) is de doorstroomopening geblokkeerd.

Om het openen te vereenvoudigen zijn de aanslagen aan de deurkaszijde op de deur vaak niet direct tegen de beplating aangebracht maar bevinden zich op enige afstand hiervan. Bij een kleine verplaatsing ontstaat dan een grotere opening tussen wand en beplating waaromheen het water stroomt. De invloed hiervan is echter kleiner dan de invloed van de mate waarin de deur doorstroombaar is. De afstand kan worden gerealiseerd door het eindportaal uit te laten steken. De hoofdreden voor het uitstekende eindportaal aan de deurkaszijde is de grotere breedte van deurkasopeningen om het in- en uitvaren van de deur mogelijk te maken. Een hoog eindportaal is weer ongunstig voor de stromingsweerstand.

Regelafstand

Deze wordt o.a bepaald door het benodigde drijvend vermogen en dus de grootte van de luchtkisten, sterkte van de stijlen en de hydraulische belasting. Het benodigde drijvend vermogen is afhankelijk van het eigengewicht. In onderstaande tabel zijn voor een aantal roldeuren de afmetingen en het eigengewicht weergegeven.

Sluis	Lengte	Breedte	Hoogte	Gewicht	Bijzonderheden	Grootste verval
Westsluis (Terneuzen, NL)	44 m	6,5 m	20 m	13800 kN	Omloopriolen	6,38 m
Noordersluis (Ijmuiden, NL)	54 m	7,3 m	20 m	11750 kN	Omloopriolen, Rijdek	?
Kallosluis (Antwerpen, B)	50 m	7,5 m	22 m	14660 kN	Omloopriolen, Rijdek (alleen voor licht verkeer)	+/- 4,5 m
Berendrechtsluis	70 m	11 m	23 m	16000 kN	Omloopriolen,	+/- 4,5 m

(Antwerpen, B)						
Zeesluis Zeebrugge (B)	58 m	10 m	24 m	20000 kN	Deurvulling, Rijdek	+/- 4,5 m
Zeesluis Wilhelmshaven (D)	60 m	10 m	20 m	17000 kN	Deurvulling, Rijdek	?

Tabel 11.3: Overzicht deurdimensies diverse grote zeesluizen

Op basis hiervan wordt de het gewicht van de deur geschat op 13000 kN. Om het gewicht van 13000 kN te laten opdrijven is er 302 kN/m opdrijvend vermogen noodzakelijk is. Bij een deurbreedte van 6,5 meter levert dit, in zoet water, een luchtkist hoogte van 4,65 m ($256 \text{ kN/m} / 6,5 \text{ m} \cdot 10 \text{ kN/m}^3$). Bij een gelijkmatige verdeling van de horizontale platen over de deurhoogte is de onderlinge afstand bij 5 horizontale plaatvelden 4,85 m. Van deze onderlinge regelfstand zal verder uitgegaan worden.

11.2.3 Deurlengte

De lengte van de deur is afhankelijk van de doorvaartbreedte en de positie van de aanslagen in de deurkas en deurnis. Als gevolg van de verbreding kent de doorvaartbreedte twee afmetingen. De breedte van de doorvaart voor verbreding is 40 m en een nog onbekende breedte na verbreding. Eerst zal uitgegaan worden van een doorvaartopening van 40 meter.

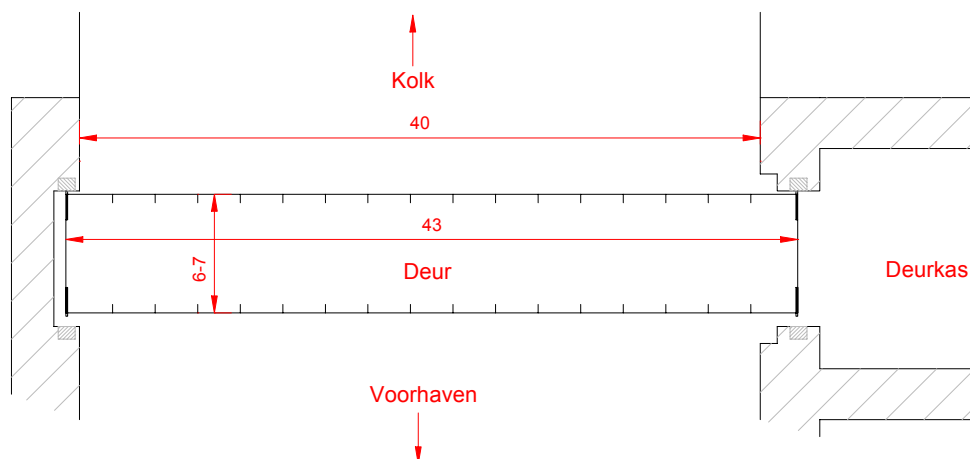
De verticale lijnvormige opleggingen en afdichtingen (aanslagen) bevinden zich buiten deze 40 meter in de deurnis en deurkas. De deurlengte wordt dan ook op 43 meter gesteld.

11.2.4 Breedte van de deur

De deurbreedte wordt bepaald door:

- De benodigde sterkte en stijfheid voor de belasting tijdens het keren.
- De afmetingen van de onderrolwagens in geval van een roldeur.
- Het aanwezig zijn van een rijdek.

Als eerste schatting van de deurbreedte, afstand tussen de beplatingen, kan ongeveer 1/6 a 1/7 van de deurlengte genomen worden, op basis van deurbreedte van andere sluizen met roldeuren. De afstand tussen de beplating wordt dan 6,14 – 7,17 m.



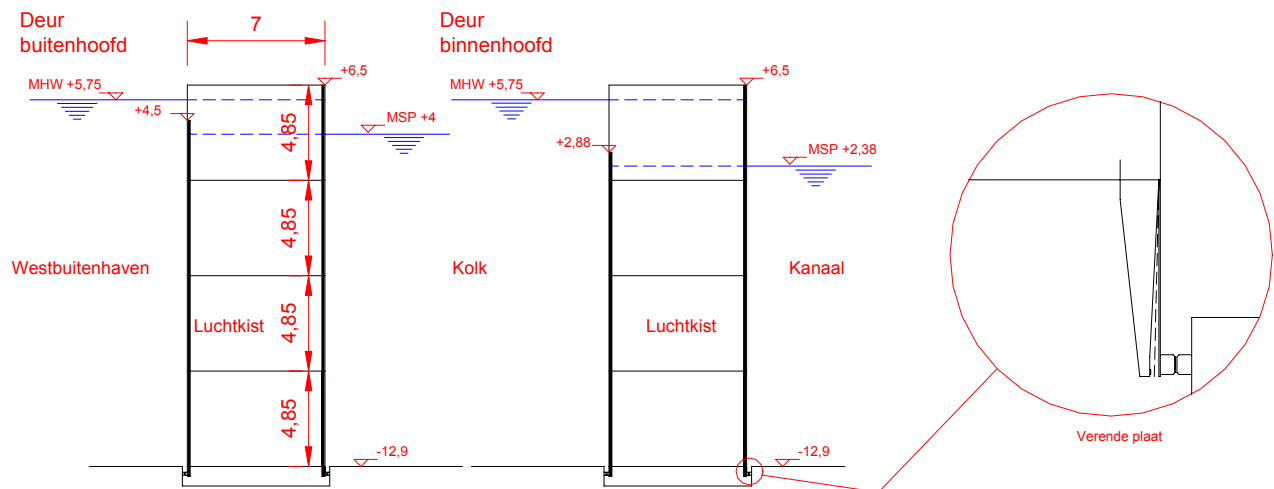
Figuur 11.16: Basis afmetingen deur bij kolkbreedte van 40 m.

11.2.5 Deurhoogte

De deuren moeten tweezijdig kunnen keren en zijn daarvoor voorzien van twee volledig afdichtende wanden. De kerende wand is meestal aan de laagwaterzijde gesitueerd. De wand aan de kolk/kanaalzijde keert het maatgevende hoogwater. De wand aan de Westbuitenhavenzijde keert het maximum kanaal- of schutpeil, waarbij het schutpeil maatgevend is voor de deuren in het buitenhoofd en het kanaalpeil voor de deuren in het binnenhoofd. De bovenkant van de beplating aan de kolk/kanaalzijde ligt dan op + 6,5 m N.A.P. De bovenzijde van de deur wordt eveneens op + 6,5 m N.A.P. gesteld. De onderste plaat ligt op -12,9 m N.A.P. De verticale beplating aan de onderzijde zal

verder doorlopen als verende plaat die tegen de wand van de sleuf in de bodem aan wordt gedrukt t.g.v. het drukverschil.

De deurhoogte is 19,4 m, exclusief verende plaat. In de figuur is de deur schematisch weergegeven.



Figuur 11.17: Principe doorsnede deur en verende plaat.

11.3 Belastingen op deuren

Er zijn 5 situaties te onderscheiden waarop krachten op de deur werken:

- In gesloten stand.
- Tijdens het bewegen.
- In geopende stand.
- Tijdens transport.
- Tijdens onderhoud

Van deze 5 situaties zal in eerste instantie alleen gekeken worden naar de situatie waarbij de deur gesloten is. Dan treden immers de grootste belastingen op die maatgevend zijn voor de dimensionering van de hoofdafmetingen van de deur.

Belastingen:

Hier volgt een overzicht van de belastingen op de deuren. Het overzicht is niet volledig, echter geeft het de belangrijkste/grootste belastingen weer.

Permanente belastingen die in elke stand optreden:

- Eigengewicht.
- Oprijvende kracht, is een functie van de waterstand.
- Slibafzetting.
- Rijdek.

Veranderlijke belastingen in gesloten stand:

- Hydraulische belasting, drukverschillen ten gevolge van waterstandsverschillen en dichtheidsverschillen.
- Golfbelasting.
- Overige veranderlijke belastingen die optreden zijn o.a de verkeersbelasting, windbelasting en translatie golven.

Als bijzondere belastingen kunnen worden genoemd:

- Aanvaring.
- IJs en sneeuw.
- Lek raken van drijfkist.

Permanente belasting:

Tijdens het gebruik is er sprake van het dienstgewicht van de deur. Het dienstgewicht wordt bepaald door het gewicht van de deur en alle aanwezige belastingen zoals slibafzettingen en het opdrijvende vermogen. De grootte van het dienstgewicht is met name van belang voor het ontwerp van de bewegingswerken en het transportsysteem zoals de rolwagens en de rails in geval van een roldeur of de hydrofenders en glijbaan in geval van een glijdeur. Het dienstgewicht mag niet te groot zijn omdat (1) met name hydrofenders een maximaal draagvermogen hebben, (2) zwaardere bewegingswerken noodzakelijk zijn. Maar het dienstgewicht mag ook niet te klein om ongewenste bewegingen en het gaan klapperen van de deur door golven te voorkomen.

Hydraulische belasting:

De grootste horizontale kracht op de deuren treedt op tijdens het grootste verval over de deur.

Deze treedt op bij de laagste buitenwaterstand van N.A.P -4 m en een kanaalpeil van N.A.P +2,38 m (= N.A.P +2,13 m + 0,25 m). Het verval is dan 6,38 m.

Of tijdens het MHW +5,75 m en een minimum kanaalpeil van N.A.P +1,88 is het verval 3,87 m + golfbelasting.

Naast de vervalbelasting moet rekening gehouden worden met de dichtheidsverschillen tussen het kanaal/kolk en de Westbuitenhaven. Deze dichtheidsverschillen fluctueren met het seizoen en de hoeveelheid zoet water afvoer van de Schelde en het kanaal Gent Terneuzen. De gemiddelde dichtheid in de Westbuitenhaven varieert van 1012 tot 1020 kg/m³. De gemiddelde dichtheid op het kanaal direct achter de sluizen varieert van 1000 tot 1008 kg/m³.

Voor de berekening zal uit gegaan worden van de ongunstigste situatie. Bij MHW heeft het water in de Westbuitenhaven een dichtheid van 1020 kg/m³ en het kanaal 1000 kg/m³. Tijdens het MLW wordt uitgegaan van respectievelijk 1012 kg/m³ en 1008 kg/m³.

In de figuren in de bijlage I zijn de drukverlopen en de waterniveau's aan weerszijde van de deur weergegeven.

Golfbelasting:

Tijdens MHW werken er ook golfkrachten op de deur. Deze worden vertaald naar dynamische golfdrukken welke worden bepaald met behulp van de methode van Sainflou, bijlage I.2.

Overige belastingen:

Deze zijn niet van belang voor de globale bepaling van de deurbreedte.

11.3.1 Belastingcombinaties

De deuren worden alleen berekend voor de uiterste grenstoestand, waarbij de belastingen in combinatie met elkaar werken. De volgende combinaties worden bekeken:

- Maatgevend hoogwater (N.A.P +5,75 m) + Ontwerpgolf ($H_d = 2,8$ m) + laag kanaal/kolkpeil (N.A.P +1,88 m).
- Hoog kanaalpeil (N.A.P +2,38 m) + Maatgevend laagwater (N.A.P - 4 m), dit is het maximale verval over de deur.

Naast de uiterste grenstoestand zullen ook belastingen in de bruikbaarheidstoestand moeten worden gecontroleerd voor bijvoorbeeld de doorbuiging en hierdoor ontstane lek verliezen langs eventuele kieren. Dit wordt binnen dit kader echter niet gedaan om dat de hoofdafmetingen vooral bepaald worden door de belastingen in de uiterste grenstoestand.

11.4 Bepaling benodigde deurbreedte*Deurbreedte bij doorvaartbreedte van 40 m:*

Bij een doorvaartopening van 40 m breedte zijn enkele deurbreedten bekeken, zie ook bijlage I. In onderstaande tabel zijn voor de tweede regel van onderen welke het zwaarst belast wordt door de hydraulische belasting, de optredende spanningen en doorbuiging samengevat.

Deur-breedte	σ (N/mm ²)		Doorbuiging f (mm)
7,0 m	192	98	50
6,5 m	210	105	59
6,0 m	232	113	71
5,5 m	258	126	86

Tabel 11.4: Spanningen en doorbuiging verschillende deurbreedten ter hoogte van de tweede regel.

De spanningen in de doorsneden kunnen worden opgenomen door staalkwaliteit S235 of S355. De doorsnede voldoet dus. Op basis hiervan zou een kleinere deurbreedte gekozen kunnen worden.

De doorbuiging van de deur mag niet te groot worden indien er van uit wordt gegaan dat de belasting alleen mag worden overgedragen ter plaatse van de eindportalen. De verende plaat aan de onderzijde van de deur heeft een beperkte uitslag. Overschrijding hiervan kan betekenen dat de deur op deze plaats gaat steunen. Hierdoor kan schade ontstaan omdat de onderrand en drempel niet gedimensioneerd zijn om deze belasting over te dragen. De maximale doorbuiging van de deur in het midden wordt ongeveer op 75 mm gesteld.

Ter indicatie: Bij de zeesluis in Zeebrugge wordt de belasting via de verticale aanslagen en de horizontale drempel overgebracht. Hierbij wordt 27 – 37 % van de belasting opgenomen door de onderdrempel. De maximale doorbuiging van de deur in het buitenhoofd is ongeveer 65 mm in de uiterste grenstoestand op de tweede horizontale regel van boven bij een onderlinge regelafstand van ongeveer 4 m.

Bij een doorvaartopening van 40 m is de benodigde deurbreedte ongeveer 6 m.

11.5 Gevolgen verbreding op deurbreedte

Een grotere overspanning zal logischerwijs leiden tot een bredere deur. De totale belasting op de deur neemt immers toe als gevolg van de grotere lengte. In onderstaande tabel zijn voor drie verschillende sluisbreedten de benodigde deurbreedte en de optredende doorbuiging gegeven.

Sluisformaat	Doorvaart-breedte	Deurlengte	Deur-breedte	σ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	f_m
Post-Panamax	46 m	49 m	7,0 m	249	112	85
Cape-size	57 m	60 m	10,0 m	230	90	82
Berendrecht	68 m	71 m	12,0 m	251	90	105

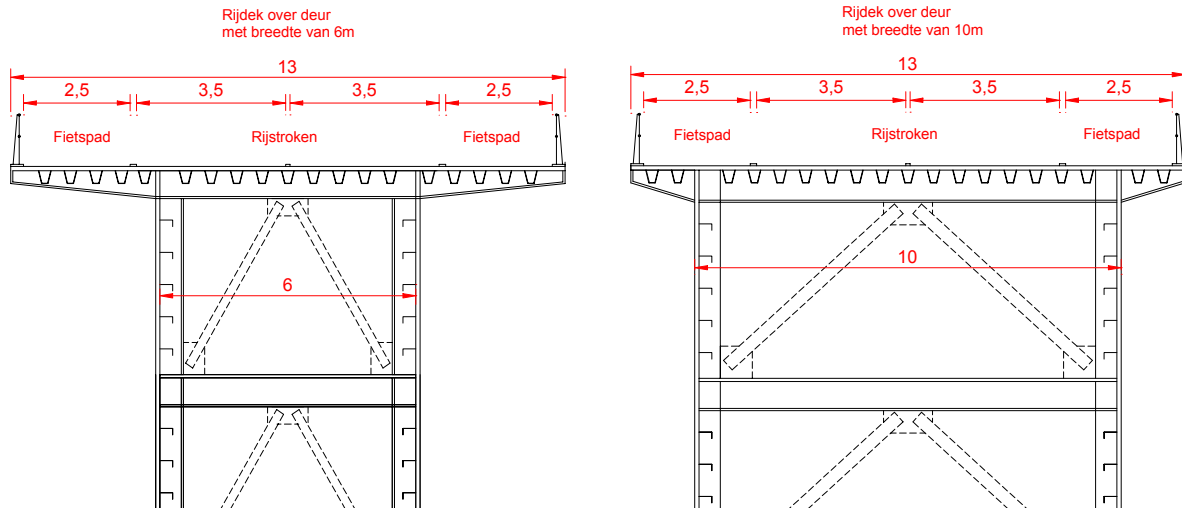
Tabel 11.5: Indicatie deurbreedte bij verschillende sluisbreedten.

De berekende deurbreedten komen redelijk overéén met de deurbreedten bij de bestaande sluizen uit tabel 11.3.

Bij een sluis van gelichterde Cape-Size formaat is een deur nodig met een breedte van 10 , terwijl voor een Panamaxsluis een deurbreedte van ongeveer 6 m voldoende is. In de volgende paragrafen wordt ingegaan welke deurbreedte voor de flexibele sluis het meest voor de hand ligt om toegepast te worden.

11.6 Rijdek op deur

Het verkeer passeert de sluis via de deuren. Hiervoor is een rijdek op de deuren noodzakelijk. Dit heeft gevolgen voor zowel de deur als het hoofd. De benodigde rijdekbreedte is afhankelijk van het wegtype en het aanwezig zijn van fietspaden. In voorgaand hoofdstuk 'Wegverbinding over de sluis' zijn de randvoorwaarden en enkele eisen genoemd. In onderstaande voorbeelden zijn twee dwarsdoorsneden over de deur geschetst bij een wegprofiel van 13 m breed. De voorkeur gaat uit naar een ruimer wegprofiel in verband met de verkeersafwikkeling.

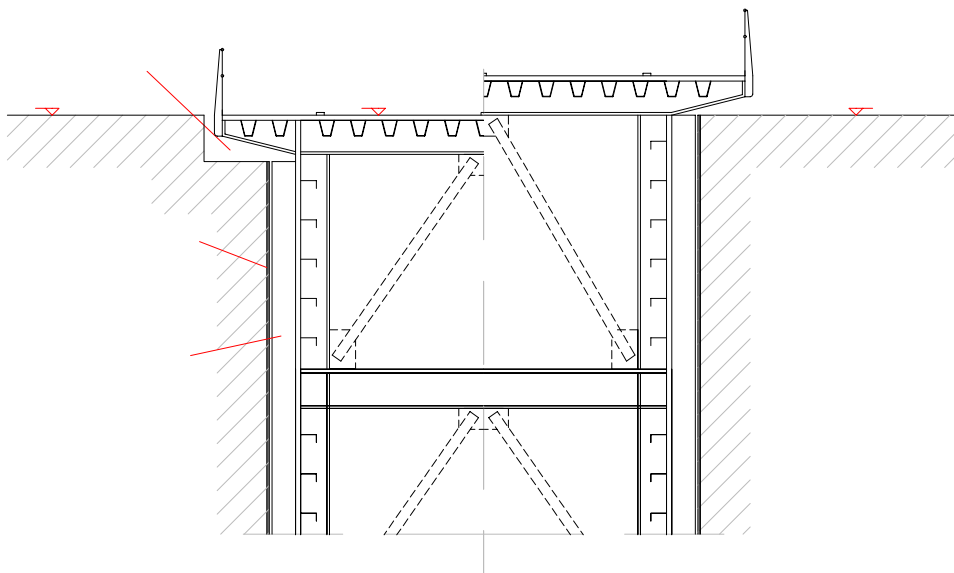


Figuur 11.18: Doorsnede deuren van respectievelijk 6 m en 10 m breed met rijdek.

Nadelen van smallere deur ten opzichte van bredere deur zijn:

- Bij een smallere deur steekt het rijdek aan weerszijden van de deur ver uit. Tijdens maatgevend hoogwater kunnen hoge waterdrukken onder het uitkragende rijdek optreden als gevolg van golven.
- Het rijdek is bij de smallere deur in verhouding tot deur van grote omvang. De stabiliteit van de deur zal hierdoor kleiner zijn en zal moeten worden gecompenseerd door een groter gewicht van de deur en/of het hoger aanbrengen van de drijfkisten.

Om ruimte te bieden aan de uitkraging zullen ter plaatse van de aansluitingen op het hoofd uitsparingen moeten worden gerealiseerd of het rijdek moet hoger worden aangebracht, zoals is in figuur 11.19 is geïllustreerd. In het eerste geval lopen de aanslagen van de deur niet door tot een hoogte van + 6,5 m N.A.P. De toename van het overslagdebiet tijdens MHW zal echter beperkt zijn omdat het slechts een kleine opening betreft.



Figuur 11.19: Niveau rijdek.

Het toepassen van een verhoogd rijdek zal afhangen van de overbruggingsconstructie. Is deze binnen het hoofd in te passen, dan zal het rijdek gelijk zijn aan het dekzerkniveau. Is de overbrugging niet

binnen de wanden van het hoofd in te passen dan zal het wegdek op de deur verhoogd moeten worden zoals in het rechter deel van figuur 11.19 is geschetst.

11.7 Deuroplossingen bij verbreding van de sluis

In principe is de grootte van de verbreding in de toekomst niet bekend. De benodigde sluisverbreding wordt immers bepaald op basis van de toekomstige veranderingen. Verbreding van de sluis heeft als gevolg dat de af te sluiten doorvaartopening wordt groter. In geval van verbreding van Panamax naar bijvoorbeeld Cape-Size zal de breedte van de doorvaartopening toenemen met 17 m naar totaal 57 m. Aanpassen of vervanging van de deuren zal dan noodzakelijk zijn. Er zijn drie oplossingen voor de deur mogelijk om aan de nieuwe randvoorwaarden te voldoen. Deze zullen hier worden genoemd:

- Het verlengen van de bestaande deuren.
- De oude deuren vervangen door nieuwe langere deuren.
- Direct kiezen voor een lange deur.

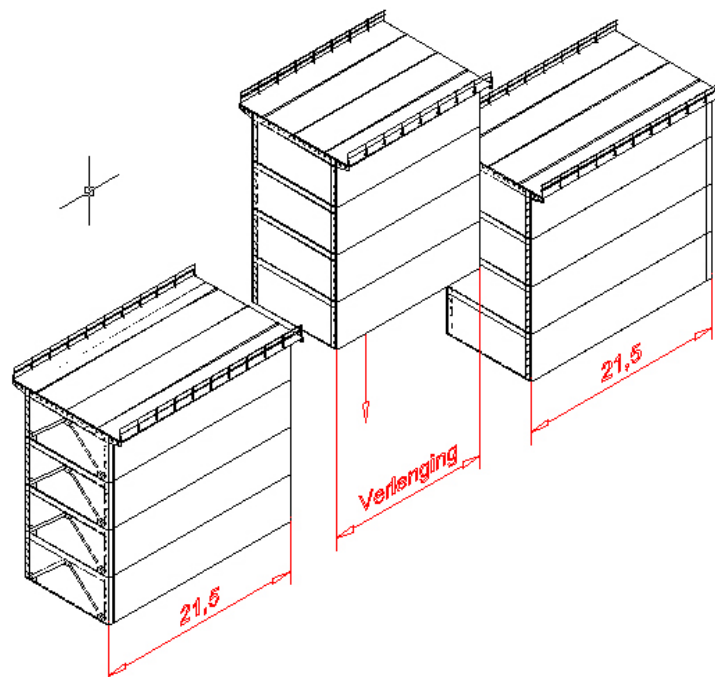
Deze drie mogelijkheden zullen hierna kort worden toegelicht.

11.7.1 Verlengen van de deur

De deur wordt verlengd doormiddel van een tussenstuk met een lengte ter grootte van de verbreding. Hiertoe wordt de deur in twee delen gesneden waarna het deel er tussen wordt gelast. Voorbeelden van het verlengen van staalconstructies die overéénkomsten hebben met een roldeur zijn te vinden in de scheepsbouw, waar bestaande schepen worden verlengd. Verwacht mag worden dat verlengen van sluisdeuren eveneens mogelijk is. Met het ontwerp zal hier wel rekening mee moet worden gehouden. De deur moet voor twee situaties voldoen en worden doorgerekend, waarbij de situatie na verbreding maatgevend zal zijn voor de hoofdafmetingen.

Als gevolg van de grotere deurlengte na verbreding zal een bredere deur noodzakelijk zijn dan nodig is in de situatie wanneer de doorvaartopening 40 m breed is. In de periode voor de verbreding is er in feite sprake van een overgedimensioneerde deur. De deur zal dus ook duurder uitvallen dan een deur met dimensies die op de 40 m brede opening is afgestemd. Het voordeel is echter dat na verbreding geen geheel nieuwe deur nodig is, maar slechts een tussenstuk. Van te voren moet wel bekend zijn welke verbreding maximaal verwacht mag worden. Aan het hoofd zijn voor de verlengde deur aanpassingen noodzakelijk in de vorm van het verlengen van de deurenkassen.

Onderstaand is ter illustratie schematisch het verlengen van een deur met rijdek weergegeven.

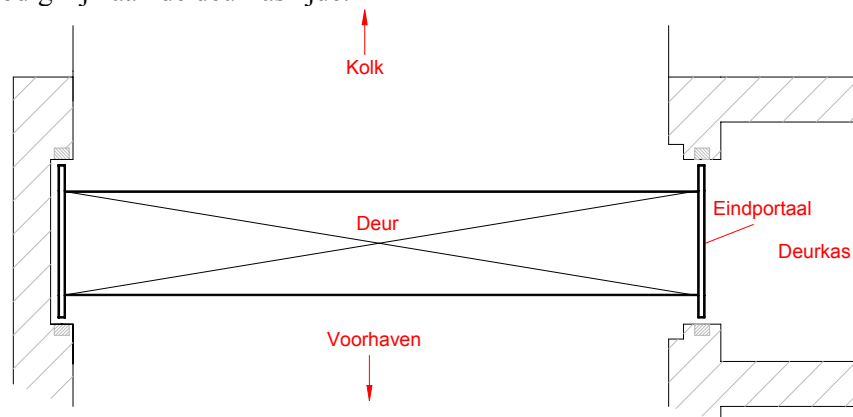


Figuur 11.20: Principe van het verlengen van de deur.

11.7.2 Nieuwe deur

Hierbij wordt de bestaande, te korte deur, geheel vervangen door een nieuwe. Het ontwerp van deuren kan dan geoptimaliseerd worden naar de situatie. Bovendien kan de eerste deur voor een kortere levensduur ontworpen worden, omdat deze relatief snel vervangen wordt. Wel moet men dan zeker weten dat de verbreding daadwerkelijk wordt uitgevoerd. Bovendien is het maar zeer de vraag of de deur hierdoor veel goedkoper kan worden uitgevoerd. De constructie moet immers aan dezelfde eisen voldoen met betrekking tot het keren van de maatgevende waterstanden en vervallen. Besparing kan mogelijk wel worden gevonden in de conservering en het onderhoud.

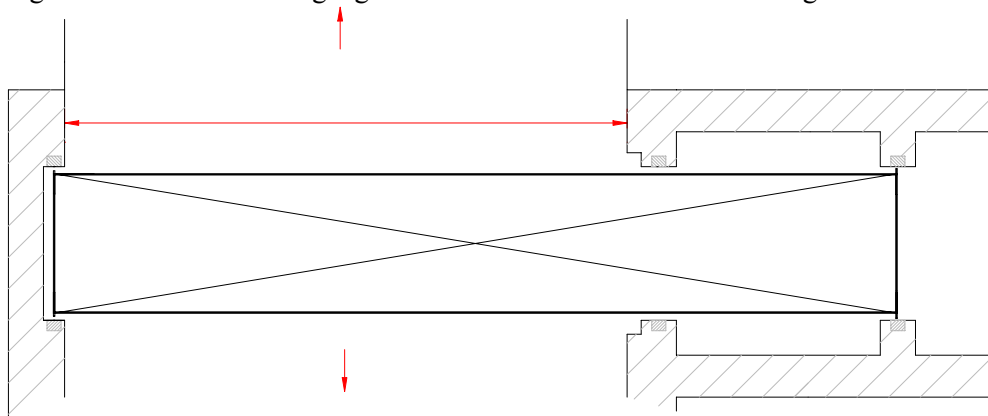
Consequenties voor het hoofd zijn dat naast langere deurkassen er ook bredere deurkassen noodzakelijk zijn, aangezien de nieuwe langere deur, zeer waarschijnlijk ook breder zal worden uitgevoerd dan de oude deur omdat de af te sluiten breedte groter is. Het achteraf verbreden van deurkassen is ingrijpender dan verlengen. Verbreden is niet zonder meer mogelijk daar het hoofd aan zowel de kolkzijde als de voorhavenzijde grenst aan wandconstructies. De kassen zullen dus een grotere breedte moeten hebben dan voor de eerste deur noodzakelijk zal zijn. Bij de eerste deur zal hierdoor de aanslagen op grotere afstand komen te liggen van de deurwand, waardoor hoge eindportalen nodig zijn aan de deurkaszijde.



Figuur 11.1: Hoge eindportalen met brede deurkas (openingen)

11.7.3 Lange deur

Hieronder wordt verstaand dat direct gekozen wordt voor een langere deur dan in eerste instantie noodzakelijk is. De deur is dus gedimensioneerd voor de uiteindelijke situatie na verlenging. Dit biedt als voordeel dat voor verlenging alleen de wanden van kolk en hoofd aan de deurniszijde verplaats/vervangen dienen te worden. Nadelen zijn de grotere investering die direct gedaan moeten worden, waarvan in de toekomst mogelijk geen gebruik van wordt gemaakt. De toekomstige verbreding wordt daarnaast al vooraf bepaald door de gekozen deurlengte. Voor het hoofd heeft een langere deur consequenties zoals langere deurkassen en dubbel uit te voeren aanslagen in de deurkas voor de beginsituatie met een doorgang van 40 m en de situatie na verbreding.



Figuur 11.2: Lange deur met dubbel uitgevoerde aanslagen deurkas.

Deze dubbele aanslagen zitten na verbreding als de deurlengte geheel gebruik moet worden waarschijnlijk het bewegingssysteem in de weg en zullen dan gesloopt moeten worden. Een ander oplossing is de doorvaartopening direct al met een grotere breedte te bouwen, waardoor er hier geen aanpassingen meer nodig zijn. Het voordeel van een kleinere en goedkopere sluis gaat hiermee wel verloren. De besparing kan dan alleen nog behaald worden met de kolk.

Intermezzo: Andere deurtypen

Naast de roldeur zijn er andere deurtypen overwogen om als afsluitmiddel toegepast te worden, de gebogen roldeur en de 'Thames' deur. Voor alle deurtype geldt dat deze aangepast moeten gaan worden aan de nieuwe situatie. De gebogen roldeur is hier in het grootste nadeel. In geval van verbreding zullen de deuren vervangen moeten worden door nieuwe en het gehele hoofd sterk aangepast om plaats te kunnen bieden aan de grotere deuren. Bij een rechte deur kan het hoofd grotendeels behouden blijven en kan worden volstaan met een verlenging van de deuren. Ook de 'Thames' deur is minder eenvoudig aan te passen. Bij verbreden zal één van de draaipunten, welke in de wand van het hoofd is gesitueerd moeten worden vervangen.

11.8 Kosten van de verschillende deurenoplossingen

Schatting kosten verschillende deurafmetingen:

- Een deur van 40 m lang en +/- 6 m breed: 8 miljoen Euro
- Een deur van 40 m lang en 10 m breed wordt geschat op 10 miljoen Euro
- Een deur van 60 m lang en 10 m breed: 14 miljoen Euro

Hierbij moet worden opgemerkt dat de kostprijzen van de verschillende deurafmetingen gebaseerd zijn op kostenramingen uitgevoerd in het kader van de Beleidsanalyse en economische analyse en op basis van eerdere studies van een nieuwe grote zeesluis naast de bestaande Westsluis door RWS. De kosten van een verlengbare deur zijn geschat aan de hand van de kosten van een deur van 60 meter en omgerekend naar een deur van 40 m.

Kosten deuren:

Deurvariant	Aanschaf	Uitbreiding/verlenging naar 60 m breedte	Kosten per deur	Kosten 4 deuren
Verlengbare deur	10.000.000	$(10.000.000/40)*20 = 5.000.000$	15.000.000	60.000.000
Vervangen deur	8.000.000	14.000.000	22.000.000	88.000.000
Lange deur	14.000.000	0	14.000.000	56.000.000

Tabel 11.1: Kostenschatting deuroplossingen.

11.9 Deurkeuze

De totale kosten van een langere deur zijn het kleinst. Daar staat tegenover dat direct een grote investering gedaan moet worden waarvan het toekomstige gebruik niet zeker is. Ook het hoofd zal duurder uitvallen, zoals dubbele deuraanslagen en langere deuren, of het direct bouwen van een bij de deur passend hoofd.

Het vervangen van deur door nieuwe deuren is de duurste oplossing omdat twee keer geïnvesteerd moet worden in nieuwe deuren. De hier gegeven kosten zullen waarschijnlijk lager uit kunnen vallen omdat de oude deuren verkocht kunnen worden als oud ijzer. Het toepassen in een andere sluis is niet waarschijnlijk omdat de deur voor een specifieke situatie is ontworpen.

Bij het verlengen van de deur zijn de kosten van het tussenstuk bepaald door de kosten van de deur uit te drukken in een prijs per meter deur. Hierbij zijn de uitvoering van de werkzaamheden niet in begrepen. Deze hangen af van de locatie van het verlengen. Kunnen de deuren in de deuren zelf verlengd worden, of moeten de deuren naar een werf worden getransporteerd om daar verlengd te worden.

Gekozen wordt voor het toepassen van een verlengbare deur.

12 Geleiding en bewegingssysteem

12.1 Inleiding

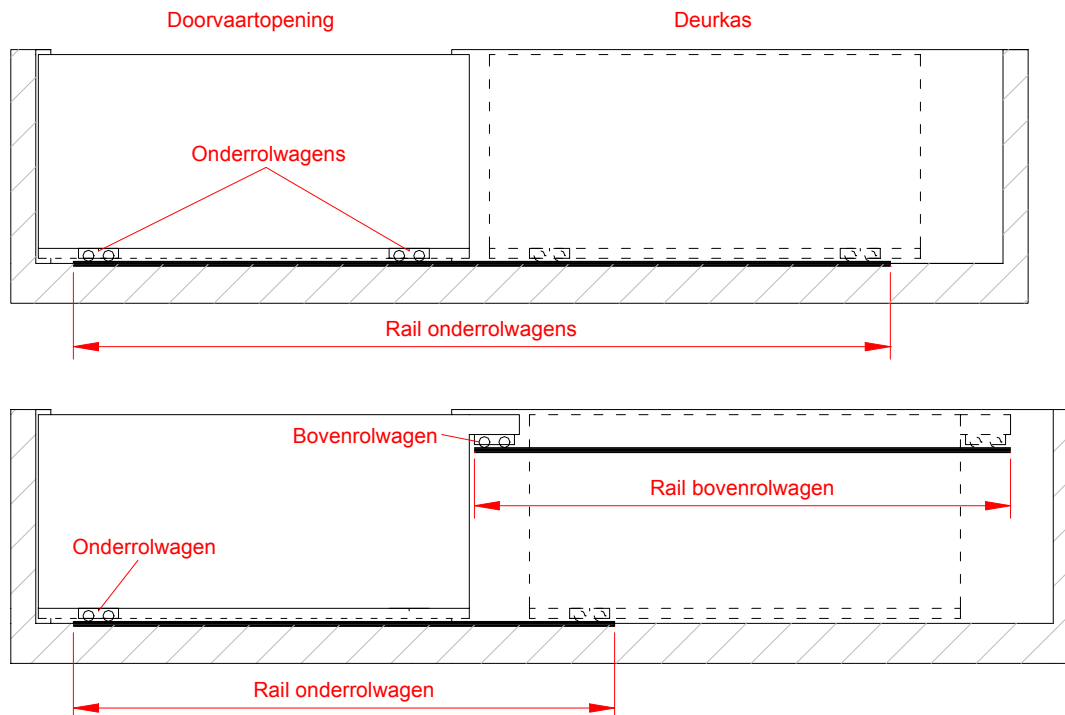
De deuren worden doormiddel van het geleidings- en bewegingssysteem geopend en gesloten. In dit hoofdstuk zal ingegaan worden op de geleiding en bewegingswerken voor de deuren. Het geleiding- en bewegingssysteem bepaald naast de deur in belangrijke mate de vormgeving en afmetingen van het hoofd. Om die reden wordt het geleidings- en bewegingssysteem eerst behandeld voordat in hoofdstuk 14 nader wordt ingegaan op het hoofd. Het doel is inzicht te krijgen in de meest voorkomende verschijningsvormen van de systemen, toegepast bij grotere sluizen en zeesluizen, en de inpassing binnen het hoofd. Ten aanzien van de verbreding zullen de gevolgen worden bekeken. Aan de hand hiervan zal het hoofd nader vormgegeven worden.

12.2 Geleiding

De deur kan in verticale zin op twee manieren worden ondersteund. Deze zijn:

- Ondersteuning doormiddel van twee onderrolwagens.
- Ondersteuning door één onderrolwagen en een bovenrolwagen (kruiwagentype).

In onderstaande figuren zijn de principes van de twee ondersteuningstypen geschetst.

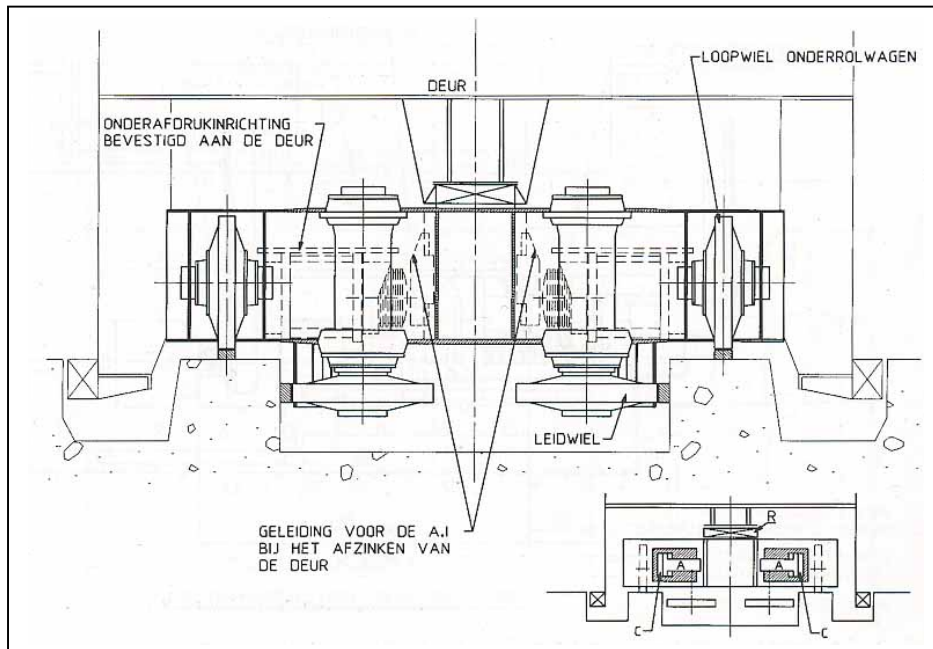


Figuur 12.1: Deurondersteuning door twee onderrolwagens en ‘kruiwagen’ type.

Bij twee onderrolwagens wordt het dienstgewicht van de deur gelijkelijk naar deze twee wagens afgedragen. De onderrolwagens rijden over rails welke in een sleuf in de vloer van het hoofd zijn aangebracht. De deur is scharnierend op de rolwagens opgelegd waardoor zijdelings verplaatsen van de deur mogelijk is. De deur wordt dan als gevolg van het verval tegen de aanslagen aangedrukt en dicht de opening af.

Bij het kruiwagentype wordt een deel van het dienstgewicht gedragen door de onderrolwagen en een deel door de bovenrolwagen, de gewichtverdeling is meestal niet gelijk. Voor de bovenrolwagen is een tweede rail hoger in de deurkas nodig. De deur is scharnierend opgelegd op de onderrolwagen en is opgehangen door middel van pendels aan de bovenrolwagen om zijdelings tegen de aanslagen gedrukt te kunnen worden. In Nederland worden bij de sluizen twee onderrolwagens per deur toegepast, terwijl in België ook verschillende grote sluizen zijn uitgerust met het kruiwagentype.

De onderrolwagen(s) zijn voorzien van vier verticale loopwielen die de verticale deurbelasting overdragen naar de rails. De horizontale krachten als gevolg van bijvoorbeeld wind, dichtheidsverschillen en golven worden door een horizontale geleiding opgenomen. Deze zijn zowel aan de onderzijde als aan de bovenzijde van de deur aangebracht. Bij een rollende horizontale ondergeleiding is de onderrolwagen voorzien van leidwielen en is rails aangebracht tegen de wand van de sleuf, zie figuur 12.2. Een rollende horizontale geleiding wordt toegepast als de horizontale belasting tijdens het bewegen vrij groot is.



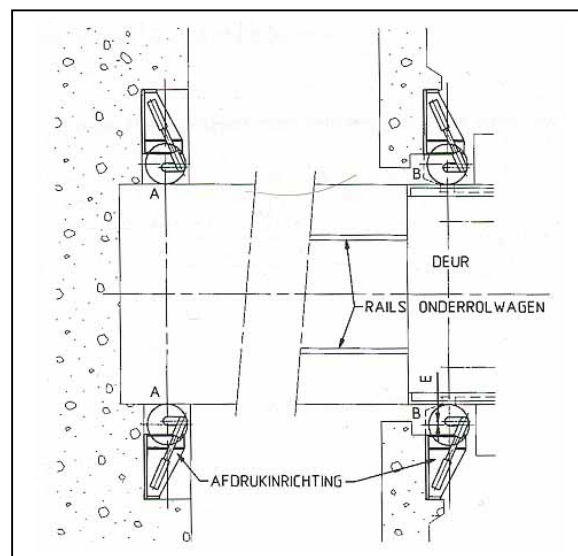
Figuur 12.2: Voorbeeld onderrolwagen (Onderlinge afstand van deurbeplating is 6,5 m).

Voor het openen en in de middenstand houden van de deur tijdens het openen is een afdrukinrichting aangebracht. Bij kleinere horizontale belastingen worden de horizontale wielen weggelaten en vindt de zijgeleiding plaats via schuivers op de vierhoekpunten van de deur en door flensen aan de verticale wielen. De schuivers glijden langs banen in de sleuf, waarbij de banen tevens dienst doen als afdichting.

Om klemmen en hoge weerstand bij het bewegen te voorkomen moeten de rails zeer nauwkeurig ten opzichte van elkaar gemonteerd worden.

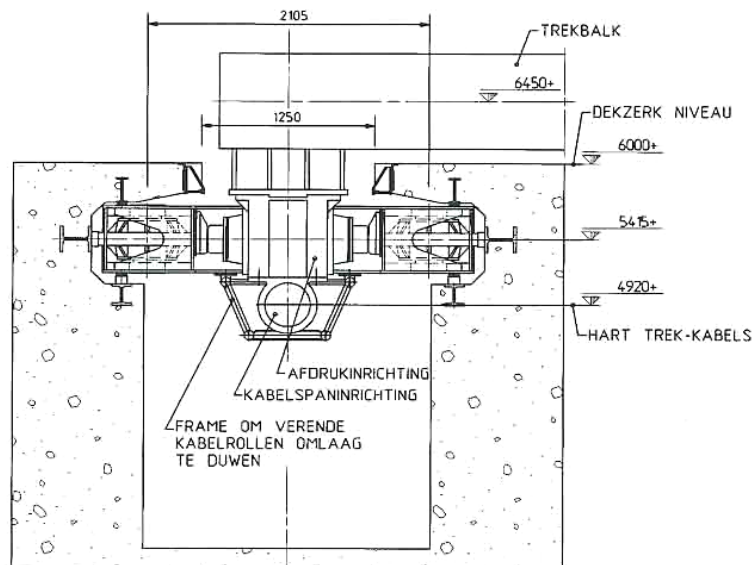
De bovengeleiding bij kleinere horizontale belastingen bestaat uit aan de bovenzijde ter plaatse van de deurkasopening aangebrachte leidwielen. De deur wordt geleid door de horizontale wielen welke over een op de deur aangebrachte rails lopen. Eventueel zijn aan de deurniszijde ook horizontale geleide wielen aangebracht, zie figuur 12.3

Bij grotere horizontale krachten, welke in dit geval wel verwacht mogen worden door de dichtheidsverschillen en de grote deurafmetingen zijn de horizontale geleiding aan de deur bevestigd doormiddel van uitkragende armen. De wielen lopen door een goot in de deurkas of tegen een rail op de kaswand.



Figuur 12.3: Horizontale geleiding bovenzijde

In figuur 12.4 is een voorbeeld van een dergelijke geleidingsconstructie weergegeven.

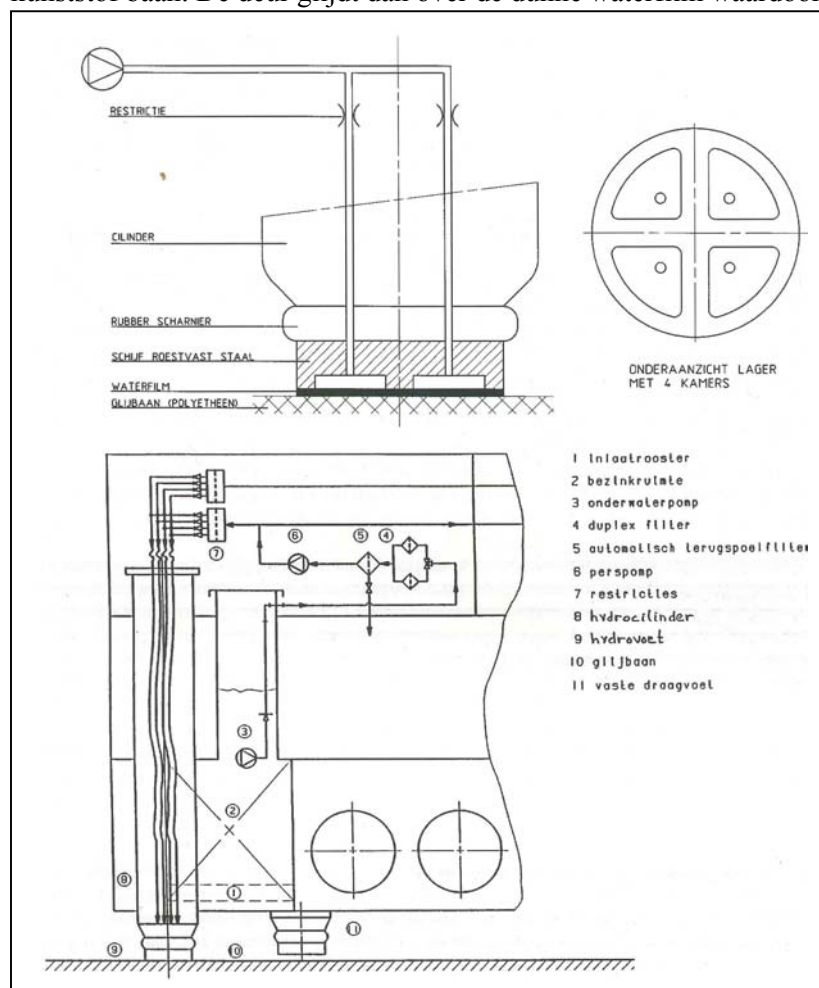


Figuur 12.4: Horizontale geleiding gecombineerd met trekkabel voor openen en sluiten.

12.3 Glijdende oplegging

In plaats van onderrolwagens wordt de deur gedragen door hydrofenders of hydrovoeten.

Hydrofenders of hydrovoeten zorgen voor een dunne waterfilm tussen het fender en de onderliggende kunststof baan. De deur glijdt dan over de dunne waterfilm waardoor de weerstand klein is. De



kunststof baan is eveneens in een sleuf in de vloer aangebracht. Ook hierbij is het zeer belangrijk dat de baan nauwkeurig wordt aangebracht. In rust wordt het gewicht van de deur door de fenders gedragen.

Het grote voordeel van een glijdeur tov een roldeur is dat er geen bewegende onderdelen onderwater meer zijn. In principe behoeft de deur ook minder onderhoud en het onderhoud is eenvoudiger uit te voeren omdat de hydrofenders kunnen worden verwijderd zonder droogzetten van de deur. Omdat de deuren door de overbrugging minder goed te bereiken zijn, kan dit een belangrijk argument zijn te kiezen voor een glijdeur. De ervaringen met het systeem zijn echter beperkt omdat het nog maar bij één andere kleiner type sluis, de Nieuwe Oranjesluis te Amsterdam, in de praktijk is toegepast.

Figuur 12.5: Principeschets glijdeur.

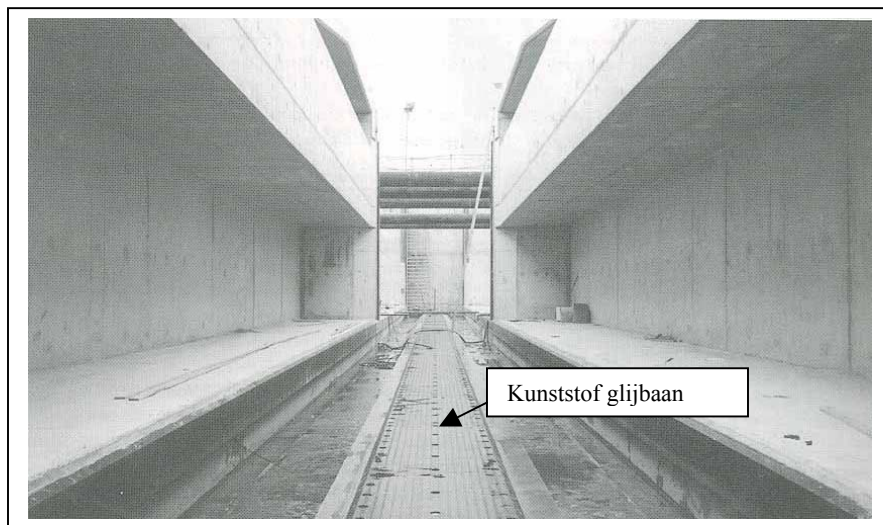


Foto 12.1: Kunststof glijbaan.

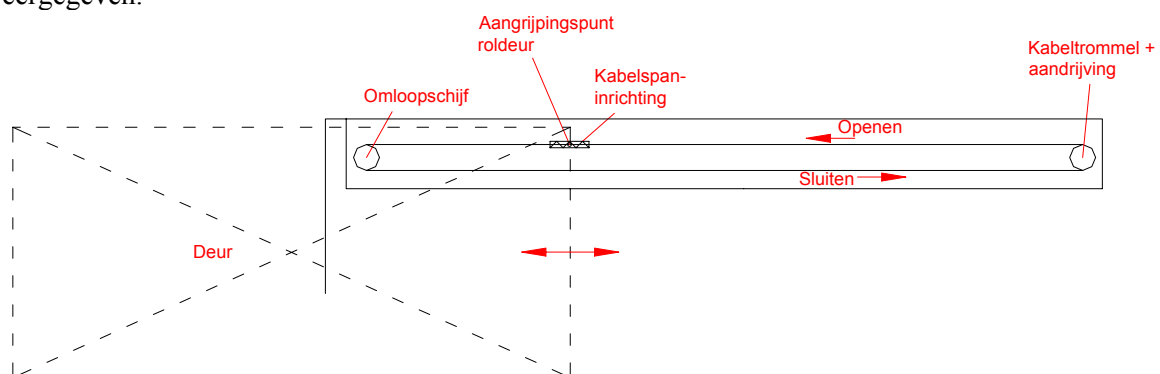
In de verdere uitwerking zal uitgegaan worden van het gebruikelijke systeem met rolwagens.

12.4 Bewegingswerken bij twee onderrolwagens

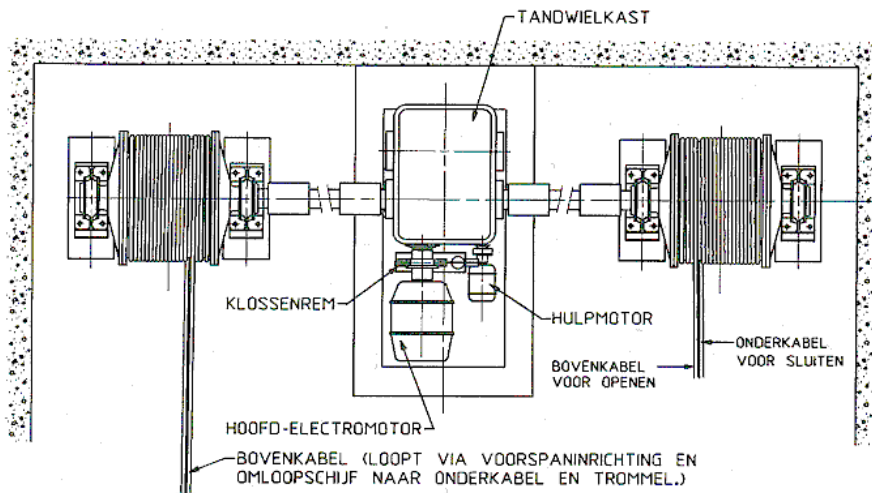
Roldeuren worden doormiddel van kabellierwerken geopend en gesloten. Het systeem bestaat uit de (elektrische)aandrijving, kabeltrommel(s), omloopschijven, spaninrichtingen en kabels. Voor grote deuren (brede) is een tweezijdige aandrijving gebruikelijk omdat bij eenzijdige aandrijving de excentriciteit groot wordt.

Er zijn twee te onderscheiden typen tweezijdige aandrijvingen: tweezijdige aandrijving met aan beide zijde een kabeltrommel figuur 12.7, of tweezijdige aandrijving met één kabeltrommel figuur 12.8.

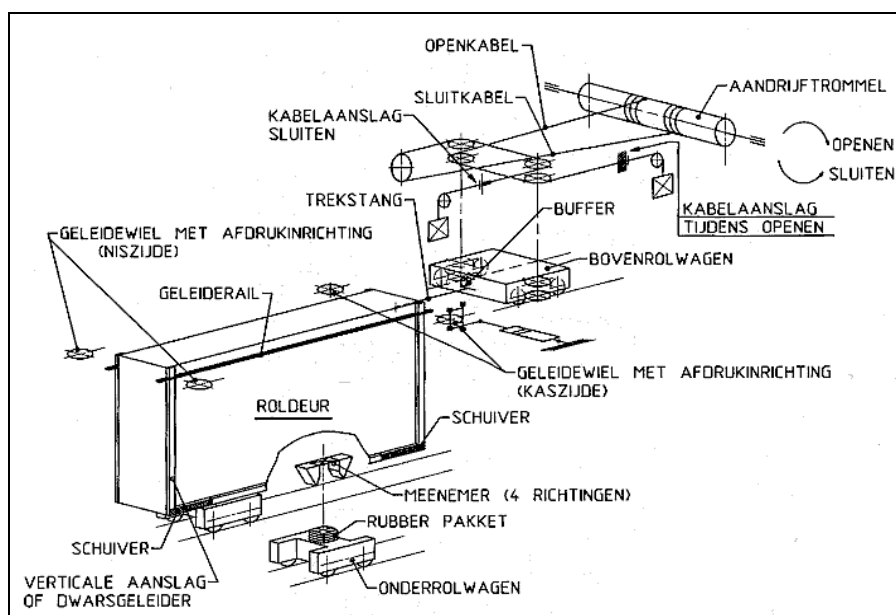
In onderstaande figuur is schematisch de kabelaandrijving zoals toegepast bij de Westsluis weergegeven.



Figuur 12.6: Schema kabelaandrijving Westsluis



Figuur 12.7: Bewegingswerk Westsluis met tweezijdige kabeltrommels



Figuur 12.8: principe tweezijdige aandrijving met één kabeltrommel.

De kabels zijn bij het systeem met aan elke zijde een trommel direct aan de de deur bevestigd doormiddel van een horizontale trekbalke en een horizontale geleiding in geval van grote horizontale krachten. Bij kleinere horizontale krachten zijn vaste horizontale geleidewielen zoals in figuur 12.3 is weergegeven voldoende. Bij grotere horizontale krachten worden de horizontale geleidingswielen aan de deur bevestigd via een trekbalke. De trekkabel is tevens aan de trekbalke verbonden zie figuur 12.4. Een tweede mogelijkheid is een bovenrolwagen welke doormiddel van een centrale trek- en duwstang met de deur verbonden is. De bovenrolwagen geleidt en draagt de deur niet maar kan wel worden voorzien van een rijdek en vormt zo een overgang tussen de overbrugging over de deurkas en de deur.

Het systeem met slechts één kabeltrommel is alleen in combinatie met een bovenrolwagen mogelijk. De bovenrolwagen geleidt of draagt de deur eveneens niet, maar zorgt er voor dat de vier schijven met de deur meebewegen zie figuur 12.8. De bovenrolwagen kan voorzien worden van een rijdek.

Voor alle systemen geldt dat aan weerszijde van de deur een kabelgoot en een of meerdere railbanen lopen voor hetzij de horizontale deurgeleiding of voor de bovenrolwagen. Tevens zijn aan de uiteinden van de deurkassen de kabeltrommels en aandrijving gesitueerd.

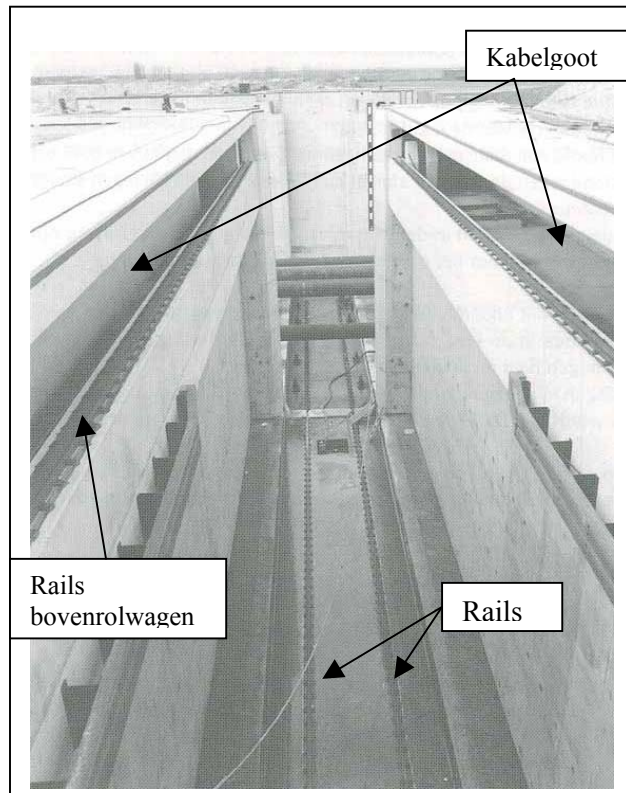
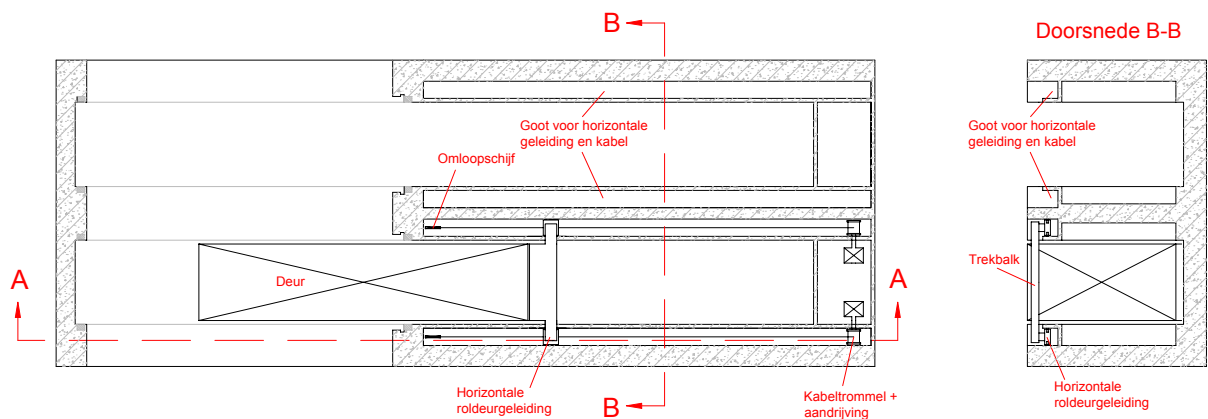
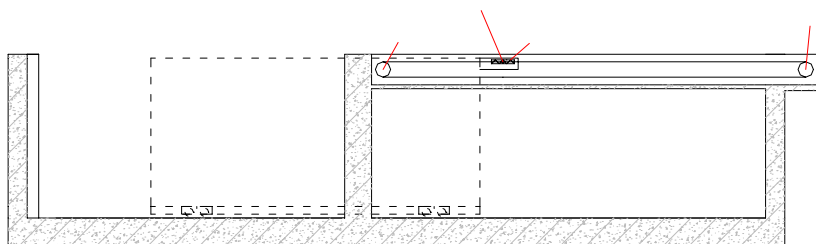


Foto 12.2: Voorbeeld deurkasinrichting.

De bovenrand van de kabelgoot moet hoger zijn dan het maximumschut peil van + 4 m N.A.P, om te voorkomen dat de kabels in het water moeten bewegen en gaan roesten. Tijdens maatgevend hoogwater komen de kabels dus in aanraking met het water. Om te voorkomen dat de aandrijving schade oploopt zal deze in een waterdichte ruimte worden ondergebracht. Daarnaast wordt de positie van de kabels en aandrijving mede bepaald door de aanwezigheid van de overbruggingsconstructie.



Figuur 12.9a: Inpassing bewegingswerken binnen het hoofd



Figuur 12.9b: Inpassing bewegingswerken binnen het hoofd.

In figuur 12.9 is goed te zien dat bij een verlenging van de deurkassen de aandrijving en de kabeltrommels niet op dezelfde positie gehandhaafd kunnen blijven. In paragraaf 12.7 zal een oplossing hiervoor worden voorgesteld.

12.5 Bewegingswerken voor kruiwagentype

Voor het kruiwagentype is het in principe mogelijk de hiervoor genoemde typen aandrijvingen toe te passen. De aparte bovenrolwagen is hier niet noodzakelijk. De trekkabel is direct aan de bovenrolwagen bevestigd. Onderstaande foto is een voorbeeld van de bevestiging van de kabel aan de bovenrolwagen. Deze bovenrolwagen draagt wel een deel van het dienstgewicht van de deur.



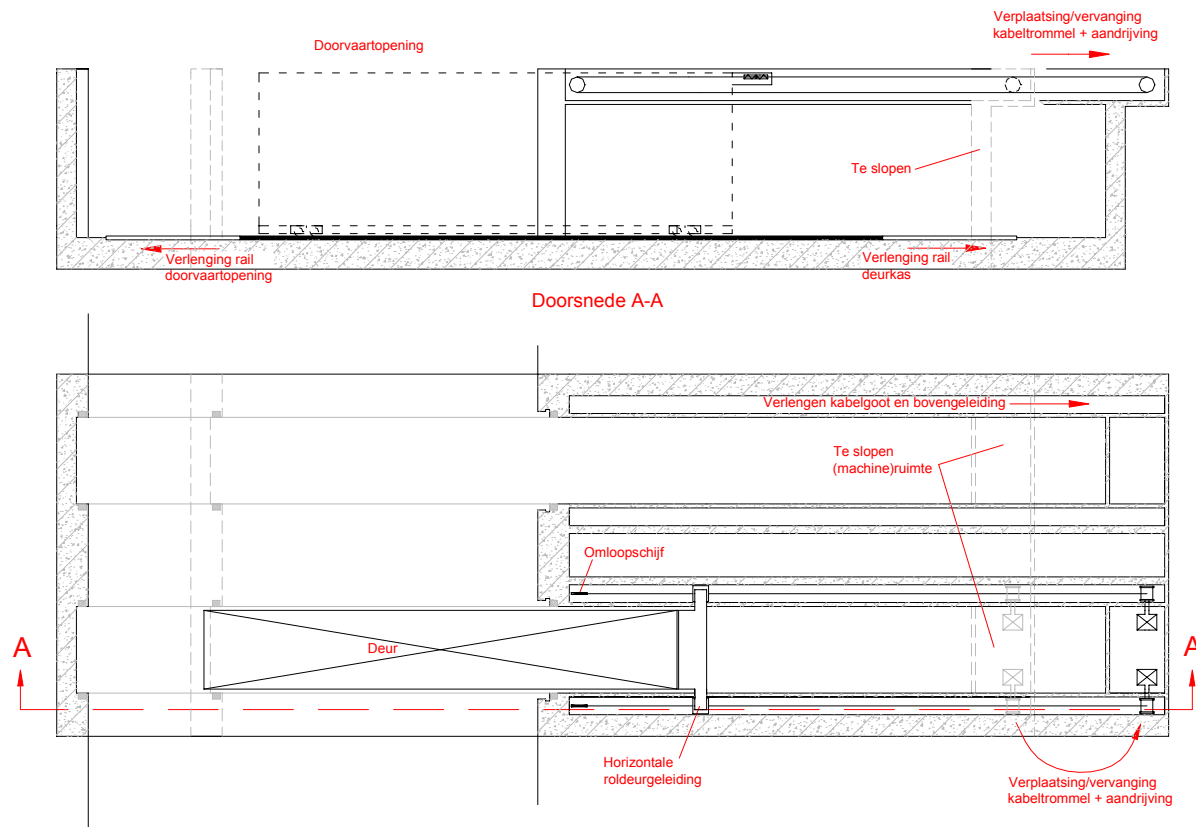
De railconstructie van de bovenrolwagen en de draagconstructie zal zwaarder uitgevoerd moeten worden dan voor een bovenrolwagen die alleen dienst doet als geleiding van de deur bij twee onderrolwagens.

Foto 12.3: Aansluiting kabel aan bovenrolwagen

12.6 Gevolgen verbreding en deurkasverlenging

Als gevolg van de verbreding van de sluis zal de in de doorvaartopening groter worden. De deurkas wordt hierbij verlengd om plaats te bieden aan de langere deur. Dit heeft de onderstaande gevolgen voor het geleidings- en bewegingssysteem:

- De rails of kunststof baan op de bodem moet zowel in de doorvaart opening als in de deurkassen doorgetrokken worden zodat de langere deur kan sluiten en geheel in de kas terug getrokken kan worden.
- Sloop ruimte van de aandrijving welke in het verlengde van deurkassen zijn gesitueerd.
- De bewegingswerken zelf moeten worden verplaatst, dan wel vervangen worden.
- Doortrekking van de kabelgoot en rail voor bovenrolwagens en/of horizontale deurgeleiding.



Figuur 12.10: schematische weergave gevolgen verbreding sluis op bewegings- en geleidingssysteem.

12.6.1 Gevolgen voor bewegingswerken

In hoeverre de bewegingswerken zelf moeten worden vervangen of opnieuw kunnen worden gebruikt hangt af van de capaciteit van het toegepaste systeem. De toename van de benodigde kracht voor het bewegen van de deur zal waarschijnlijk beperkt zijn. Het dienstgewicht van de langere deur kan gelijk gehouden worden aan die van een kortere door de aanwezigheid van de luchtkisten. De verticale belasting op de rolwagens zullen dan niet toenemen. De benodigde trekcapaciteit van het bewegingswerk hangt van de weerstand tijdens het bewegen van de deur.

De weerstand voor het bewegingswerk bestaat uit:

- W1. De weerstand veroorzaakt door het verschil in niveau van het water voor en achter de deur en is alleen bij het begin van het bewegen aanwezig.
- W2. De weerstand door massa-traagheid, deze is gelijk aan het dienstgewicht.
- W3. Weerstand als gevolg van wrijving van de rollende of glijdende verticale geleiding.
- W4. Weerstand die het water ondervindt bij het doorstromen van de deur.
- W5. Weerstand van de horizontale geleiding als gevolg van de horizontale belasting tijdens het bewegen.

De weerstand W1 is alleen bij het begin van de beweging aanwezig, zolang de deursnelheid toeneemt voor een deur in de orde grote als die van de Noordersluis te IJmuiden is dit:

- Voor een deur die gesloten wordt, deur bevindt zich in de deurkas, is dit 4 ton.
- Voor een deur in gesloten stand, deur wordt deurkas in getrokken is dit 12 ton.

De deur vanuit gesloten stand openen is maatgevend.

W1 is van meerdere factoren afhankelijk. Dit zijn:

- De waterdiepten in de deurkas en de waterdiepte boven de luchtkist. Bij het groter worden van deze diepte neemt de weerstand af.

- Het oppervlak van de natte dwarsdoorsnede van de deur boven en onder de luchtkist en het overige wateroppervlak. Een toename van dit oppervlak leidt tot grotere weerstanden.
- De snelheid en versnelling van de deur. Een hogere snelheid betekend meer weerstand.
- De lengte van de deur. Een langere deur verhoogd de weerstand.

Bij verlenging van de deur neemt de lengte toe en hiermee de weerstand. Dit kan gereduceerd worden door het langzamer openen van deur. Omdat deze weerstand alleen in het begin aanwezig is heeft dit geen invloed op het bewegingswerk

De weerstand W2 is afhankelijk van het deurgewicht en de versnelling van de deur. Bij een deurgewicht G van 1300 ton en een versnelling a van $0,05 \text{ m/s}^2$ is de weerstand te berekenen met:

$$(G/g) \cdot a = (1300/10) \cdot 0,05 = 6,5 \text{ ton} \quad (g = \text{zwaartekrachtsversnelling} = 10 \text{ m/s}^2)$$

Bij een langere deur neemt het deurgewicht toe, en dus de weerstand. Bij een kleinere versnelling neemt de weerstandskracht af.

Weerstand W3 is afhankelijk van het dienstgewicht van de deur en het type lagers dat gebruikt wordt in de onderrolwagens. Bij glijlagers is de weerstand groter dan bij toepassing van kogellagers. In verhouding tot de andere weerstand is W3 te verwaarlozen. Bij kogellagers en een dienstgewicht van 100 ton is W3 ongeveer 0,4 ton. Bij een langere deur kan het dienstgewicht gelijk worden gehouden. De weerstand neemt dan niet toe.

Weerstand W4 is afhankelijk van de mate waarin de loodrecht op de stroomrichting staande stijlen en steunbalken de doorstroming belemmeren en de deursnelheid. Hoe hoger de toegepaste stijlen en balken, des te groter het oppervlak dat de doorstroming blokkeert, des te hoger de weerstand. Voor de deur in de Noordersluis is de weerstand ongeveer 1 ton en dus klein te noemen ten opzichte van de overige weerstanden. Bij een langere deur zal deze toenemen, echter de toename van de totale weerstand hierdoor zal beperkt zijn.

Bij een langere deur zal de weerstand 5 toenemen door de grotere totale horizontale belasting op de deur. De krachten zijn het gevolg van golven, wind en het verschil in zijdelingse waterdruk tegen beide deurzijden. Bij een langere deur nemen deze evenredig toe met de lengtetoeename. Door toepassing van een rollende geleiding in plaats van een schuivende geleiding kan de weerstand sterk worden verkleind. Ter illustratie het verschil in weerstand bij de deuren van de Noordersluis. Bij een glijdende geleiding is deze bij een waterstandsverschil bij het openen van de deur 3 cm en een winddruk van 500 N/m^2 . Het waterniveau is 15 m en de hoogte boven water is 6 m. De deur steekt 46 m uit in de dag van de sluis. De weerstand is dan 36 ton. Voor een rollende geleiding wordt deze weerstand gereduceerd naar ruim 12 ton.

De benodigde kracht voor het openen en sluiten van de deuren neemt toe bij een langere deur. Een op de deurlengte afgestemde bewegingswerk zal vervangen dan wel aangepast moeten worden.

12.6.2 Gevolgen geleiding

De verticale belasting op de rolwagens zullen bij gelijkblijvend dienstgewicht niet gaan toenemen. De horizontale belasting daar in tegen zal wel toenemen. De horizontale geleiding moet hier dus op berekend zijn. Anders is vervanging van rolwagens en bovengleiding noodzakelijk. Het vervangen de onderrolwagens op zich is geen probleem, omdat de levensduur hiervan korter is dan van de deur zelf. Afhankelijk van het aantal deurbewegingen is vervanging ervan na 25 jaar niet ongebruikelijk.

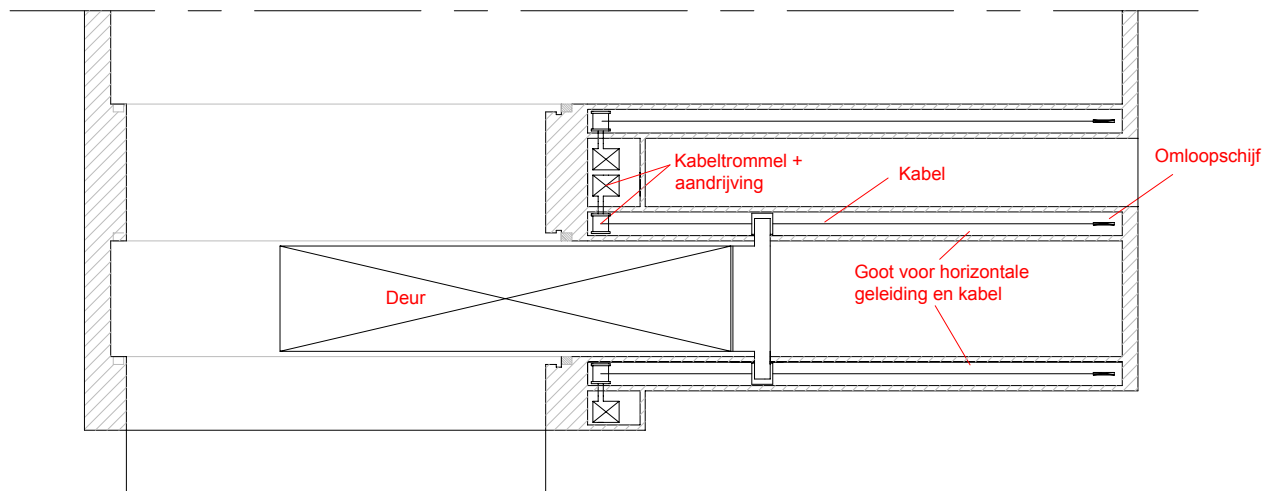
Ook de rails en de betondorsnede waarop de rail bevestigd is, moeten de hogere belasting kunnen opnemen. Omdat vervanging en aanpassing van de betondorsnede moeilijk uitvoerbaar is, zal de betonconstructie dus gedimensioneerd moeten worden op de belasting na verbreding.

12.7 Concept oplossingen voor alternatieve plaatsing van het bewegingssysteem

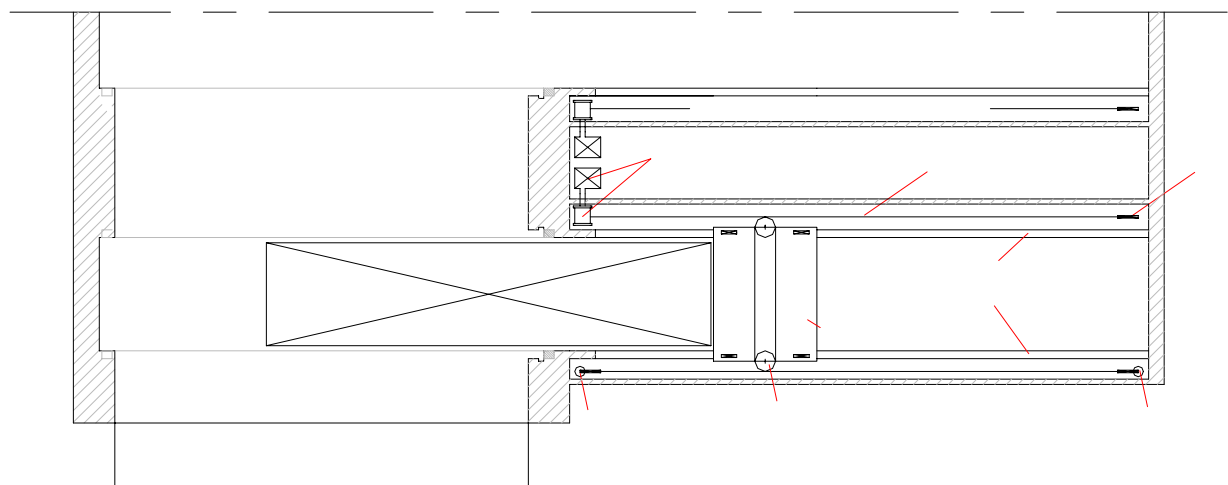
Om te voorkomen dat een groot deel van de bewegingswerken en de ruimten waarin ze zich bevinden verplaatst en gesloopt moeten worden, zal het systeem zodanig ingericht moeten worden dat de aandrijving en kabeltrommels niet in het verlengde staan van de deur.

Hiervoor zijn een aantal configuraties mogelijk:

Het verwisselen van de locatie van de omloopschijf met de kabeltrommels + aandrijving. In onderstaande figuren 12.11 en 12.12 zijn voor de twee systemen tweezijdige aandrijving met twee kabeltrommels en met één kabeltrommel geschetst.



Figuur 12.11: Principe oplossing met twee kabeltrommels bij flexibele sluis.



Figuur 12.12: Principe oplossing met één kabeltrommel bij flexibele sluis.

Bij het verlengen kunnen de aandrijving en de kabeltrommels op hun plaats blijven. Wel is het onvermijdelijk dat de omloopschijven en kabelspangewichten verplaatst moeten worden. Het verplaatsen hiervan zal echter eenvoudiger zijn dan het verplaatsen van de aandrijving met kabeltrommels. Het nadeel van deze configuratie is dat de aandrijving minder goed bereikbaar is voor rijdend materieel zoals kranen ter vervanging van de aandrijving of onderdelen ervan.

De benodigde breedte van het hoofd neemt toe door de plaatsing van de aandrijving tussen deurkassen in. In de figuren is slecht schematisch de benodigde breedte voor de aandrijving weergegeven. Het achter elkaar plaatsen van de aandrijving voor de binnen- en buitendeur verkleint de benodigde breedte. De afmetingen van de diverse onderdelen van de bewegingswerken waarmee gerekend moet worden voor de inpassing bij dergelijke deurafmetingen zijn:

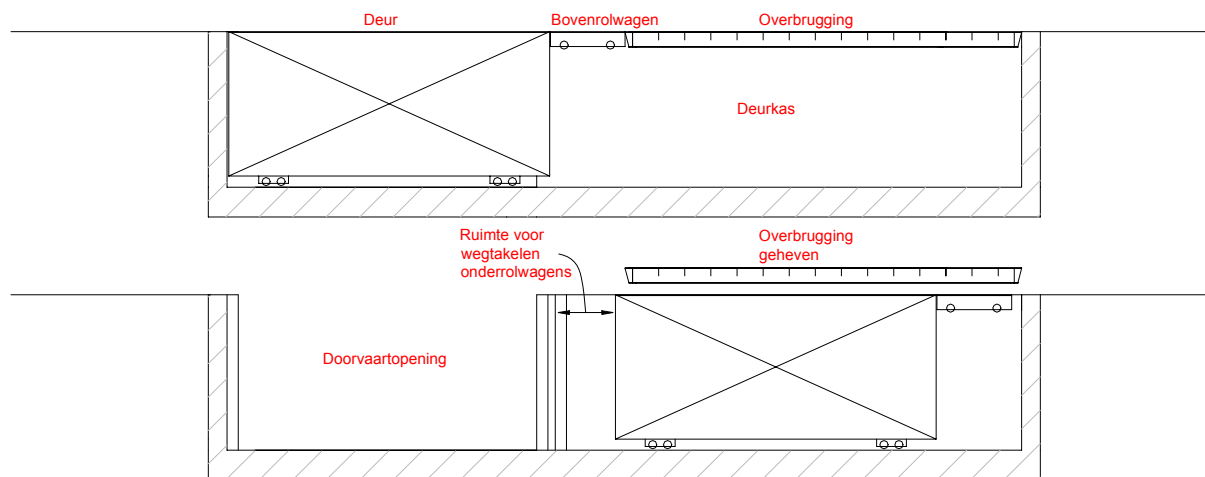
- Doorsnede kabeltrommel 1,5 – 2 m.

- Breedte kabeltrommel inclusief bevestiging +/- 2,5 m.
- Doorsnede omloopschuiven 1,5 – 2 m.
- Breedte kabelgoot 2 à 3 m.
- Benodigde breedte voor aandrijving +/- 3 à 4 m.

12.8 Toe te passen systeem

In de verdere uitwerking uitgegaan van een systeem voorzien van twee onderrolwagens en een bovenrolwagen. Redenen hiervoor zijn:

- Het verlengen van de deur. Bij het verlengen wordt de deur verlengd met een tussenstuk. Hierdoor neemt de afstand van de onderrolwagens onderling toe. Door voldoende opdrijvend vermogen te creëren kan de verticale belasting op de onderrolwagens gelijk worden gehouden. In geval van ondersteuning van het kruiwagentype blijft de totale belasting ook gelijk echter neemt de belasting op de bovenrolwagen, hetzij beperkt toe, zie bijlage J.
- De bovenrolwagen vormt een overgang tussen het rijdek op de deur en de overbruggingsconstructie.
- Omdat de overbruggingsconstructie de gehele deurkas niet van boven afsluit is het mogelijk bij onderhoud de onderrolwagens aan de voorzijde van de deurkas weg te takelen zonder verwijdering van de overbrugging.



Figuur 12.13: Aansluiting rijdek deur, bovenrolwagen en overbrugging.

Samenvattend:

De deurgeleiding en bewegingssysteem voor de flexibele sluis bestaat uit de volgende onderdelen:

- Twee onderrolwagens.
- Bovenrolwagen welke de deur open trekt/dicht duwt.
- Rails in sleuf in vloer van het hoofd voor de onderrolwagens, zowel voor de verticale belasting dragende wielen als voor de horizontale leidwielen.
- Rails voor bovenrolwagens boven in deurkas.
- Rails voor horizontale bovengeleiding boven deurkas
- Omloopschijven.
- Kabeltrommel(s) en aandrijving gesitueerd aan doorvaartopeningszijde.

13 Vul- en ledigingssysteem

13.1 Inleiding

Met behulp van het vul- en ledigingssysteem kan de waterstand in de kolk met de zich daarin bevindende schepen op gelijk niveau worden gebracht met het kanaalpeil dan wel het peil op de Westerschelde. Het systeem moet het mogelijk maken om op gecontroleerde wijze water in of uit de kolk te laten stromen, waarbij de afgemeerde schepen slecht beperkt hinder mogen ondervinden en de benodigde nivelleertijden kort zijn.

Er zijn diverse typen van vul- en ledigingssystemen mogelijk. De kolk kan via deuropeningen, omloopriolen met of zonder woelkelder, langsriolen met dwarsriolen, enz worden gevuld en geledigd. Daarnaast is onderscheid te maken naar de wijze van in- en uitstroom van de kolk namelijk in langsrichting, via de kolkbodem of via de wand dwars op de kolk. Tot slot heeft het toepassen van een zout-zoetscheiding/bestrijding eveneens invloed op de vormgeving van het uiteindelijke systeem.

Grote zeesluizen zijn meestal voorzien van omloopriolen. De Noordersluis te IJmuiden heeft twee korte omloopriolen per hoofd, evenals de grote zeesluizen de Kallo en de Berendrechtlsuis te Antwerpen. De genoemde sluizen zijn tevens voorzien van speciale uitmondingen om hinderlijke stromingen te beperken. De Westsluis in Terneuzen is voorzien van een langsruiol met twee dwarsriolen en vulling via de bodem door roosters.

De keuze voor een bepaald type vul- en ledigingssysteem hangt af van meerdere factoren. Deze worden hier genoemd:

- Nivelleertijd: in de praktijk varieert deze tussen de 11 en 15 minuten voor vervallen tussen de 1,5 en 5 meter. Bij een zoutbestrijdingssysteem waarbij het kolkwater wordt uitgewisseld, kan globaal gerekend worden met een verdubbeling van de nivelleertijd.
- Verval: deze wisselt door het getij op de Westerschelde.
- Grote van de sluis: meestal valt de keuze op een systeem met riolen, omloop- of langsriolen met dwarsriolen, en speciale uitmondingen om een rustig stroombeeld in de kolk te creëren. Bij deurvulling dient veel aandacht te worden besteed aan de spreiding van de vulstralen. Deurvulling wordt vaak toegepast indien nivelleertijden geen zwaarwegende eisen zijn.
- Zout/zoetscheiding.
- Waterbesparing: bijvoorbeeld toepassen van spaarbekkens.
- Kosten.

In de volgende paragrafen van dit hoofdstuk zal ingegaan worden welke rioolssystemen het meest geschikt zijn om toegepast te worden bij de flexibele sluis.

13.2 De systemen

Er zijn vele soorten vul- en ledigingssystemen in gebruik. In het literatuurrapport zijn diverse systemen met zout-zoetscheiding beschreven. De meeste systemen zijn dusdanig complex dat uitbreiding vrijwel onmogelijk is. Daarom zal hier gekeken worden naar meer eenvoudigere systemen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende systemen:

- Kort omloopriolen.
- Langsriolen.
- Deurvulling.

Van deze drie systemen wordt gekeken naar de inpassing binnen het sluisontwerp zodat uitbreiding van de sluis zonder aanpassing van het vul- en ledigingssysteem mogelijk is. Aangezien de zoutlast op het kanaal door de sluis niet te groot mag zijn, worden ook de mogelijkheden om met deze systemen de zoutbelasting binnen de perken te houden nader bekeken.

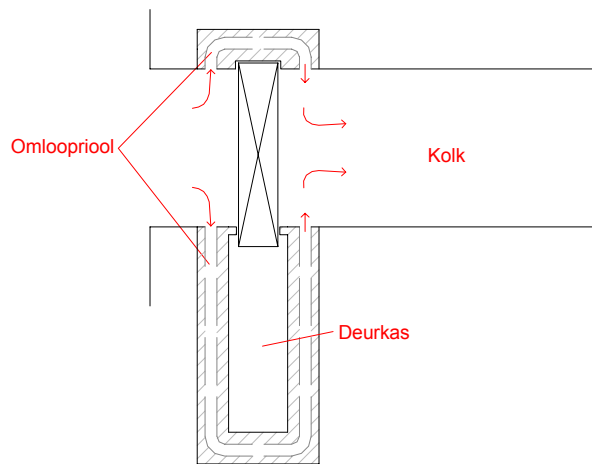
Waarom behoudt van systeem?

Het systeem moet tijdens de uitvoering van de uitbreiding kunnen blijven functioneren, zodat ook dan schepen kunnen worden gesloten. De stremmingsduur en hiermee de kosten van de stremming kunnen dan beperkt blijven.

De kosten van een vul- en ledigingssysteem bedragen al snel 15% van de totale kosten van de sluis bij een systeem met langsriolen. Zie hoofdstuk 17. Afbraak en nieuwbouw zal al snel leiden tot hoge kosten. Het aandeel van het vul- en ledigingssysteem in de totale uitbreidingskosten zullen deze kosten hoger maken. Bovendien zal het de uitvoering van de uitbreiding complexer en langduriger zijn. Niet alleen de bouwkosten maar ook de stremmingskosten zullen toenemen. De stremming zal immers langer duren.

13.2.1 Korte omloopriolen

In onderstaand figuur is een veel voorkomend hoofd met deurkas(sen) en korte omloopriolen geschetst voor grote zeesluizen, o.a. toegepast bij de Noordersluis te IJmuiden, de Berendrechtlsuis en de Kallosluis te Antwerpen.



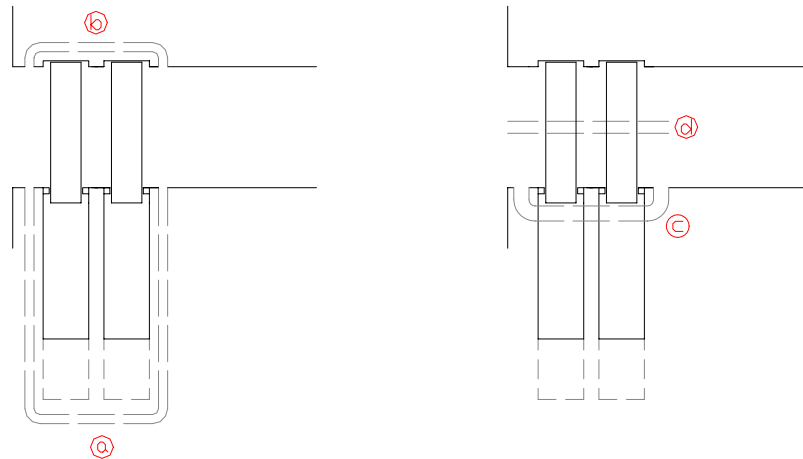
Figuur 13.1: Hoofd met korte omloopriolen om deurkas

De riolen lopen om de deurkas(sen) en de deurnis(sen) heen. Bij verbreding komen deze bestaande omloopriolen te vervallen en zullen vervangen moeten worden door een nieuw systeem. Schutten van schepen tijdens uitvoering van het werk is dan niet meer mogelijk.

In onderstaande figuren staan een aantal varianten geschetst bij toepassen van korte omloopriolen. Insteek bij deze oplossingen is dat het vul- en ledigingssysteem behouden kan blijven en de sluis ook gedurende de uitvoering zo lang mogelijk in gebruik kan blijven.

Varianten korte omloopriolen:

- Variant 1a, om deurkassen.
- Variant 1b, om deurnissen heen.
- Variant 1c, onder deurkassen door.
- Variant 1d, onder doorvaartopening door.



Figuur 13.2: Varianten a t/m d.

Kort omloopriool variant	Voordelen	Nadelen
1a	Het hoofd zelf kan eenvoudig blijven.	Relatief lang riool noodzakelijk.
		Riool bemoeilijkt verlenging van de deuren, tenzij riool op ruime afstand bevindt.
1b	Het hoofd zelf kan eenvoudig blijven.	Te slopen bij verbreding aan vlakke zijde.
	Kort riool.	
1c	Kort riool.	Diep gelegen, dus diepere bouwput/kuip*.
	Geen belemmering tijdens verbreding aan vlakke zijde.	Gecomplieerdere uitvoering.
1d	Kort riool.	Plaatsing, aandrijving en onderhoud rioolschuiven gecompliceerd.
	Vormt geen belemmering voor uitbreiding.	Diepe ligging*

* diepe ligging kan ook nodig zijn ivm met zout/zoetscheidingssysteem, waarbij de in- en uitstroomopeningen diep gelegen zijn in de zoutput.

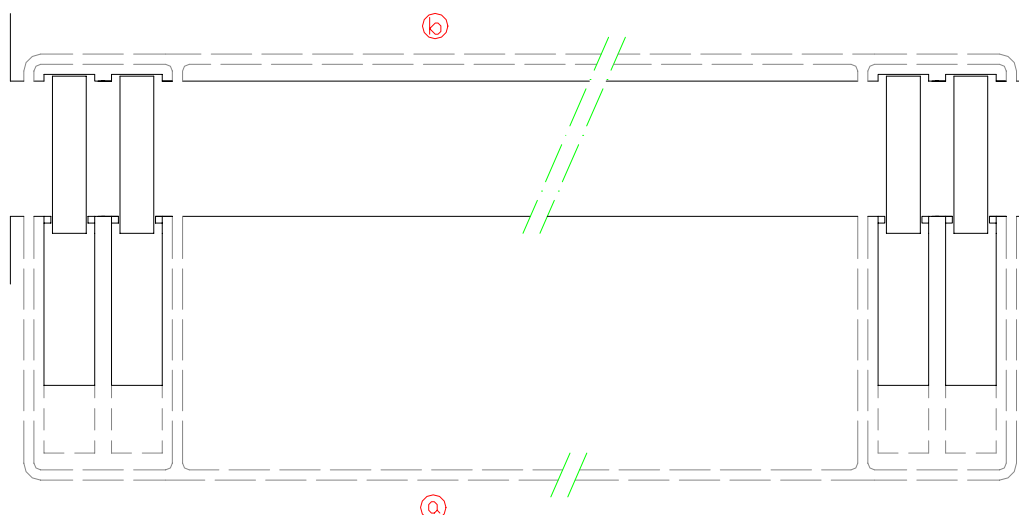
Tabel 13.1: Voor- en nadelen varianten korte omloopriolen.

13.2.2 Langsriolen

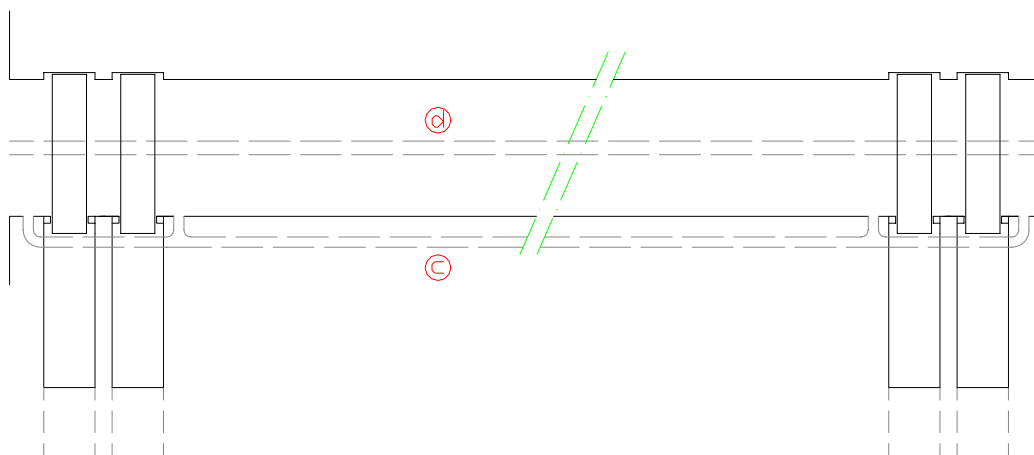
Het systeem met langsriolen bestaan uit riolen welke langs de gehele lengte van de sluis lopen en dwarsriolen lopende van het langsriool naar de kolk. Door middel van dwarsriolen kan de kolk worden gevuld of geledigd. De Westsluis is voorzien van langsriolen welke om de deuren heen lopen en zijn niet met het hoofd zijn geïntegreerd. In het literatuurrapport is het riolenplan weergegeven. In onderstaande figuur zijn varianten geschetst van langsriolen welke behouden kunnen blijven bij een verbreding.

Met langsriolen:

- Variant 2a, om deuren heen
- Variant 2b, om deurnissen heen
- Variant 2c: onder deuren door/diepe ligging
- Variant 2d: onder doorvaartopening door



Figuur 13.3: Varianten 2a en 2b.



Figuur 13.4: Varianten 2c en 2d.

Langsriool variant	Voordelen	Nadelen
2a	Eenvoudiger hoofd.	Lange dwarsriolen
		Extra lang riool ivm uitbreiding deurkas
		Rekening houden met ligging riool tijdens uitvoering verbreding
2b	Eenvoudiger hoofd.	
	Korte dwarsriolen.	
2c	Korte dwarsriolen.	Diepe ligging*
	Geen belemmering tijdens verbreding.	
2d	Eenvoudigere kolkwanden.	Plaatsing, aandrijving en onderhoud riolschuiven gecompliceerd
	Vormt geen belemmering voor uitbreiding.	Diepe ligging*

* diepe ligging kan ook nodig zijn ivm met zout/zoetscheidingssysteem, waarbij de in- en uitstroomopeningen diep gelegen zijn in de zoutput.

Tabel 13.2: Voor- en nadelen varianten met langsriool.

13.2.3 Deurvulling

Vullen en ledigen van de kolk door de deur is het meest eenvoudige systeem. Via openingen in de deur voorzien van beweegbare schuiven kan het waterpeil in de kolk worden geregeld. Deuropeningen hebben echter een aantal beperkingen en bezwaren, de belangrijkste zijn:

- Langere vul- en ledigtijd;
- Geen of slechts beperkte zout/zoetscheiding in de vorm van een bellenscherm mogelijk;
- Vulstralen zorgen voor onrustige ligging schepen en hogere troskrachten, veel aandacht voor de spreiding van de vulstralen is noodzakelijk;
- Duurdere deur welke bij aanpassing sluis vervangen of aangepast moet worden, echter systeem met deurvulling is goedkoper dan systeem met riolen.

Met name om de redenen van de beperkte zout/zoetscheiding en de langere vul- en ledigtijd valt een systeem met deuropeningen af.

13.2.4 In- en uitstroomopeningen

De wijze van het in- en uitstromen bij het vullen en ledigen van de kolk is van belang voor schepen in de kolk. Bij zeeschepen is het belangrijk dat de schepen een rustige ligging hebben om de troskrachten te beperken en de benodigde sleepboothulp beperkt kan blijven. In de voorhaven zijn de eisen minder streng, maar zijn ook daar gebonden aan beperkingen om hinderlijk golfverschijnselen te voorkomen, met name aan de kanaalzijde.

De beschreven rioleringen, kort omloopriool en langsriool kunnen worden voorzien van de volgende in- en uitstroomopeningen in de kolk en in de voorhaven:

- Wandopeningen in of nabij het hoofd, bij langsriool ook elders in de wand.
- In- en uitstroomopeningen (bodemrooster) in de bodem nabij de hoofden.
- Diep gelegen in- en uitstroomopeningen in de voorhaven.

Via wandopeningen:

De (vul)straal is loodrecht op de sluisas gericht, het water stroomt vanaf de zijkant de kolk in of uit. In tegenstelling tot bestaande rioolssystemen, zoals in figuur 13.1, is het riool aan slechts één zijde gesitueerd. Bij de gebruikelijke systemen zijn de uitstroomopeningen tegenover elkaar gesitueerd. Hierdoor ontstaan twee tegen elkaar botsende stromen waardoor veel energie wordt afgebroken. Om hinderlijke stroming te voorkomen en de vulstraal te spreiden in geval van ééNZijdige instroming zullen speciale in- en uitstroomopeningen aangebracht moeten worden zoals verticale balken die de stroom onderbreken. Het gedeelte van de kolk voor de opening mag niet gerekend worden tot de nuttige kolk lengte. De totale benodigde lengte van de kolk tussen de deuren zal hierdoor dus toenemen. Een oplossing is het toepassen van vlak boven de vloer gelegen opening waardoor de vulstraal onder de schepen door stroomt, zoals foto 13.1. Hiertoe wordt het systeem wel duurder omdat meerdere in- en uitstroomopeningen nodig zijn en het riolenstelsel uitgebreider wordt.



Foto 13.1: Diep gelegen in- en uitstroomopeningen in kolkwand.

Ook moet bij dit type rekening worden gehouden met de bodembescherming bij een open bodem. Om erosie te voorkomen is mogelijk een zwaarder beschermingsmateriaal noodzakelijk.

De in- en uitstroomopeningen aan de voorhavenzijden kunnen zowel in de wand van het hoofd loodrecht op de sluisas, of evenwijdig aan de sluisas via openingen in de vleugelwanden worden aangebracht.

Bij een langsriool kan er voor gekozen worden meerdere openingen langs de gehele kolk toe te passen zodat geen langskrachten op treden. Wel ontstaan er dwarskrachten. Door de openingen diep aan te leggen schiet het water onder het schip door en wordt het schip tegen de vulwand aangedrukt. Dit is gunstig omdat de troskrachten dan afwezig zijn.

Via bodemrooster:

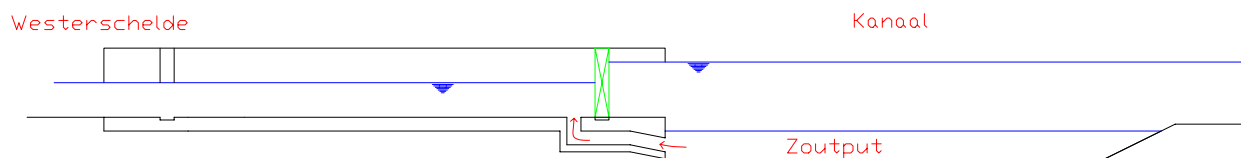
Het water stroomt in verticale richting vanuit de bodem naar de kolk. Door openingen over de gehele kolkbreedte toe te passen wordt de vulstraal goed verspreid. De langskrachten op schepen kunnen verder verkleind worden door het toepassen van meerdere inlaatpunten. Een langsriool is dan noodzakelijk. Het systeem via bodemroosters is duurder dan het systeem met wandopeningen omdat de aanlegdiepte van de riolen groter is en complexer van vorm. Daar tegenover staat dat de kolk lengte kleiner kan zijn dan bij normale wand openingen. Als voorbeeld kunnen de bodemroosters in de Westsluis genoemd worden.

Diep gelegen openingen in voorhaven:

De openingen zijn beneden het vloerniveau van de sluis gelegen. Diep gelegen openingen worden bij het zout/zoetscheidingssysteem Terneuzen toegepast waarbij het zoute water vanuit een zoutput in de voorhaven wordt aangezogen, zonder meevoering van zoet water. Deze openingen worden alleen aan de kanaalzijde toegepast, zie ook figuur 13.5.

13.2.5 Zout/zoetscheiding met kort omloopriool

Bij het toepassen van diepe in-/uitstroomopeningen en een zoutput zoals bij de Westsluis t.p.v het binnenhoofd, kan spuien van zout water uit de zoutvang alleen plaatsvinden bij gesloten binnendeuren en een buitenwaterstand lager dan kanaalpeil, zie in figuur 13.5. Het zoute water uit de zoutput stroomt dan via de riolen in het binnenhoofd de kolk in. Dus uitwisselingsspuien is niet mogelijk. Gezien deze beperktere mogelijkheden tot spuien van zout water zal de effectiviteit ervan ook kleiner zijn dan van de Westsluis en het zoutbezwaar op het kanaal toenemen.



Figuur 13.5: spuien zout water uit zoutput.

13.2.6 Zout/zoetscheiding met langsriool

Het toepassen van langsriolen maakt het mogelijk het systeem Terneuzen toe te passen als zout/zoetscheidingssysteem. Aan de kanaalzijde dient dan wel een zoutput aanwezig te zijn en diep gelegen in- en uitstroomopeningen, zoals ook bij de Westsluis is toegepast. De effectiviteit is groter dan bij het korte omloopriool. In het literatuurrapport is het systeem en de effectiviteit beschreven. Wel kan gemeld worden dat het zoutbezwaar zal gaan toenemen bij de komst van de extra sluis, ondanks het toepassen van het systeem Terneuzen. Om een extra zoutbelasting op het kanaal te voorkomen is een ingewikkelder en duurder systeem noodzakelijk zoals een zoute liftbak of het systeem Duinkerken. Dit maakt uitbreiding echter vrijwel onmogelijk.

13.2.7 Overige zout/zoetscheidingmogelijkheden

Overige technische oplossingen die genoemd kunnen worden en te combineren zijn met beide rioolsystemen zijn het luchtbellenscherm en de beweegbare drempel ter plaatse van het binnenhoofd.

Het luchtbellenscherm is goed te combineren met een uitbreiding aangezien het een eenvoudig aan te brengen systeem is welke zelfs achteraf in elke sluis in te bouwen is. De tweede oplossing is het toepassen van een beweegbare drempel op de bodem nabij het binnenhoofd (zie ook literatuurrapport). Deze maatregel is complexer en daardoor minder geschikt om te combineren met een uitbreiding.

13.2.8 Keuze van rioolsysteem

Het toe te passen rioolsysteem zal bestaan uit langsriolen, dit met het oog op het zoutbezwaar op het kanaal en de grotere efficiëntie van de bestrijding ervan. Voor de inpassing binnen het ontwerp zal gekozen worden om het riool onder het hoofd door te laten lopen. Tijdens de verbreding wordt dan geen hinder van de riolen ondervonden.

Voor de in- en uitstroomopeningen wordt uitgegaan van het volgende:

- Westbuitenhavenzijde: In- en uitstroomopeningen in de wand.
- Kanaalzijde: Verdiepte in- en uitstroomopeningen aan kanaalzijde aansluitend op de zoutput.
- Kolk: Diepe in- en uitstroomopening in wand nabij binnenste deuren.

13.3 Capaciteit vul- en ledigingssysteem

Het doel van deze paragraaf is te komen tot een voorontwerp waarbij de orde van grootte van de afmetingen van de riolen bekend zijn. Tevens zal ingegaan worden op de gevolgen van een vergroting van het kolkvolume op de schuttijden voor de verschillende afmetingen van het riool. Verwacht mag worden dat de schuttijden gaan toenemen bij een groter kolkvolume en dat grotere rioolafmetingen de vultijden verkorten.

Aan de hand van deze verschillende schuttijden worden de tijdswinsten die een groter riooldoorsnede heeft ten opzichte van een kleinere doorsnede bepaald. Extra schuttijd betekent vertraging voor de scheepvaart en dus extra kosten. De tijdswinst van een grotere riooldoorsnede betekenen besparingen op deze kosten. Daar staat echter een hogere investering tegenover. Op basis van deze extra kosten en de te behalen besparingen wordt beslist of een kleiner riool dan wel een groter riool een betere/goedkopere oplossing is.

Uitgangspunten bij bepaling rioolafmetingen:

- Invloed dichtheidsverschillen verwaarloosd.
- Openingssnelheid schuiven constant.
- Vertragingseffecten van het riool worden niet meegenomen.

13.3.1 Troskrachtcriterium

Het vul- en ledigingssysteem wordt getoetst aan de hand van een troskrachtcriterium. Dit is de maximale toelaatbare langskracht op een schip. De volgende waarden worden aangehouden:

Scheepsgrootte	WATERVERPLAATSING	Troskrachtcriterium (‰)	Langskracht
20.000 DWT	250000 kN	0,25	62 kN
80.000 DWT	900000 kN	0,18	162 kN
150.000 DWT	1800000 kN	0,12	216 kN

Tabel 13.1: Toelaatbare troskrachten.

13.3.2 Bepaling van vultijd van de kolk

De schuif in het riool wordt met constante snelheid geheven. Het oppervlak van de schuifopeningen nemen dan lineair toe met de tijd tot de maximale openingsgrootte gelijk is aan het riool. Voor verschillende tijdstippen geldt:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{vulopening}} &= B_{\text{riool}} * v_{\text{hef}} * t, & \text{voor } t < t_{\text{hef}} \\
 A_{\text{vulopening}} &= A_{\text{riool}}, & \text{voor } t > t_{\text{hef}}
 \end{aligned}$$

Hierin is: B_{riool} = breedte riool
 v_{hef} = hefsnelheid schuif
 t_{hef} = benodigde heftijd
 $A_{vulopening}$ = oppervlak vulopening

Het debiet door de opening is:

$$Q = mA_{vulopening} \sqrt{2g(h_b - h_k)}$$

waarin: Q = debiet

m = afvoercoëfficiënt

h_b = waterniveau buiten

h_k = waterniveau in kolk- en buitenwaterstand

De toename van het waterniveau in de kolk:

$$\frac{dh_k}{dt} b_k l_k = Q$$

met: dh_k/dt = verticale stijgsnelheid van het waterniveau in de kolk

b_k = breedte van de kolk

l_k = lengte van de kolk

Voor $t < t_{hef}$:

$$h_k = h_{k,t=0} + \frac{mv_{hef} B_{riool} \sqrt{2g(h_b - h_{k,t=0})}}{2b_k l_k} t^2 - \frac{(mv_{hef} B_{riool})^2 g}{8(b_k l_k)^2} t^4$$

$$Q = mv_{hef} B_{riool} \sqrt{2g(h_b - h_{k,t=0})} t - \frac{(mv_{hef} B_{riool})^2 g}{2b_k l_k} t^3$$

Voor $t > t_{hef}$:

$$h_k = h_{k,t=t_{hef}} + \frac{mv_{hef} B_{riool} \sqrt{2g(h_b - h_{k,t=t_{hef}})}}{b_k l_k} (t - t_{hef}) - \frac{(mA_{riool})^2 g}{2(b_k l_k)^2} (t - t_{hef})^2$$

$$Q = mA_{riool} \sqrt{2g(h_b - h_{k,t=t_{hef}})} - \frac{(mA_{riool})^2 g}{b_k l_k} (t - t_{hef})$$

Bovenstaande vergelijkingen zijn bedoeld voor vulling via een opening in de deur. Voor een eerste ontwerp van het vul- en lediging doormiddel van riolen geeft het een redelijke eerste schatting van de benodigde riolaafmetingen. In de afvoercoëfficiënt (μ) worden de verliezen over het riool verdisconteerd.

Bij een vloeistofstroom door het riool treden er verliezen wat vertraging van de stroming veroorzaakt. Deze vertragingen treden op ter plaatse van de instroomopeningen, bochten, schuiven, en uitstroomopeningen. De verliezen ten gevolge van de vertraging kunnen uitgedrukt worden in een verliescoëfficiënt ξ .

Voor het riool worden de volgende waarden aangehouden:

$$\xi_{uitstroom} = 1$$

$$\xi_{bocht} = 2$$

Ter plaatse van de schuif is de ξ afhankelijk van doorstroom opening en varieert met de tijd:

$$\xi_{schuif} = [(A_{riool}/A_{vulopening}) - 1]^2$$

De afvoercoëfficiënt: $m = \frac{1}{\sqrt{\sum \xi}}$

De hefsnelheid van de schuif wordt bepaald door de maximale troskrachten die mogen optreden, of ook wel het troskrachtercriterium

De troskrachten zijn het gevolg van langskrachten op het schip. De grootste kracht wordt veroorzaakt door translatiegolven. Het instromende water veroorzaakt een niveauverhoging die als een translatiegolf de kolk in loopt en tegen de andere deur terug gekeerd wordt en weer de andere kant op loopt. Deze waterstandsverschillen door de golven zorgen voor een in de tijd variërende bijdrage aan de langskracht op het schip. Als eerste benadering kan de kracht op het schip als gevolg van de translatiegolf worden berekend met:

$$F = \frac{dz}{dx} * \text{scheepsgewicht} ,$$

$$\text{Niveauverhoging } z = \frac{Q}{b_k c} ,$$

met b_k = kolkbreedte.

c = voortplantingssnelheid van de translatiegolf. De invloed van het schip in de kolk kan in

rekening worden gebracht door $c = \sqrt{\frac{g(A_{\text{kolk}} - A_{\text{schip}})}{b_k}}$, met A_{kolk} = de natte doorsnede van de kolk en A_{schip} = de natte doorsnede van het schip.

$$\Rightarrow F = \frac{dQ}{dt} * \frac{1}{b_k * c^2}$$

De grootste kracht treedt in het begin van het schutten op. De toename van het debiet met de tijd is dan het grootst, zie ook figuur 13.6.

Geval 1, Minimale kolkafmetingen:

Gegevens

$$l_k = 405 \text{ m}$$

$$b_k = 40 \text{ m}$$

Buitenwaterstand + 2,13 m N.A.P

Kolkwaterstand -1,96 N.A.P

Bij deze waterstand is de diepgang in de sluis 10,94 m,

Variabelen:

Hefsnelheid: v_h

Riooldoorsnede: A_{riool}

F1: de maximale diepgang van het maatgevende schip is ongeveer 8 m. Afmetingen van het schip zijn diepgang = 8 m, breedte = 34 m. Het gewicht is op 600.000 kN gesteld.

F2: schip van 250.000 kN, met een diepgang van 8 m en een breedte van 20 m.

Ariool	Hefsnelheid	Schutduur (< 900 s)	F1 (<162 kN)	F2 (<62 kN)
35 m2	T = 600 s	1042 s	98 kN	24 kN
	T = 500 s	992 s	118 kN	30 kN
	T = 400 s	942 s	148 kN	37 kN
	T = 300 s	892 s	200 kN	50 kN
40 m2	T = 600 s	950 s	112 kN	28 kN
	T = 500 s	900 s	135 kN	34 kN
	T = 400 s	850 s	169 kN	42 kN
	T = 300 s	800 s	228 kN	57 kN

45 m ²	T = 600 s	877 s	126 kN	31 kN
	T = 500 s	827 s	151 kN	38 kN
	T = 400 s	777 s	190 kN	47 kN
	T = 300 s	727 s	255 kN	64 kN

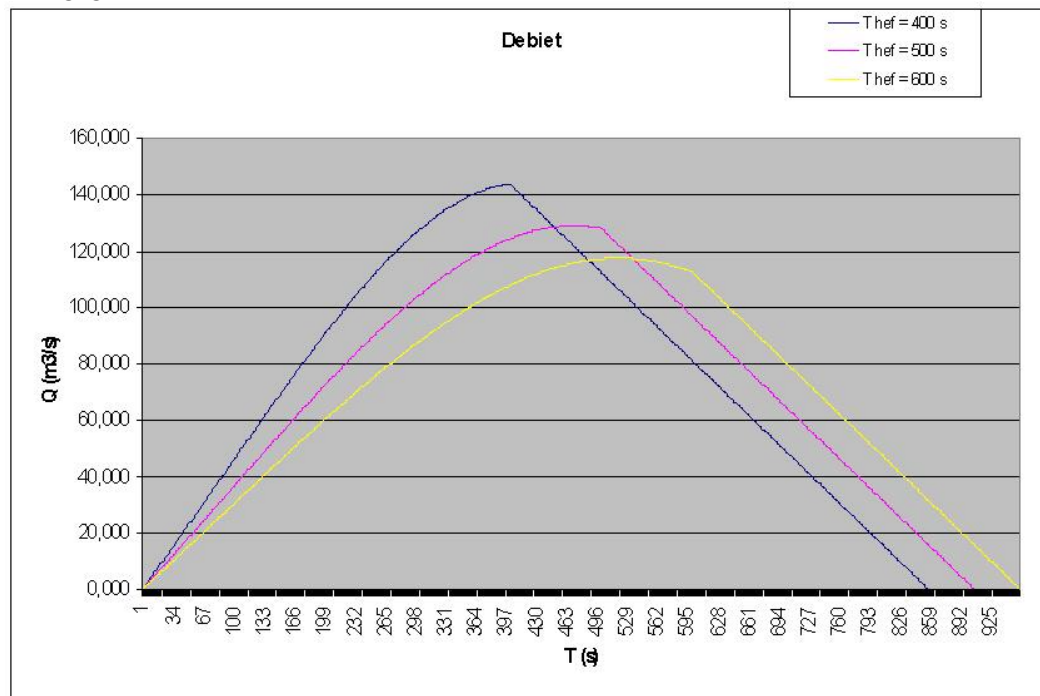
Tabel 13.3: Schuttijden en langskrachten op schip bij kolkafmetingen van 405*40.

Op de genoemde tijden is het niveauverschil nul. In werkelijkheid zal er enig niveauverschil blijven als gevolg van de dichtheidsverschillen.

De maatgevende schepen zullen normaal geschat worden tijdens hoogwater. Ter controle is het maatgevende schip gecontroleerd bij een maximale diepgang van 12,25 m.

Bij maximaal schutpeil is de buitenwaterstand 16,9 m en in de kolk 15,03 m tov drempel. Voor $T_{\text{hef}} = 500$ s, $A_{\text{riool}} = 40$ m² en gewicht schip = 900.000 kN is de langskracht op het schip 122 kN. Deze situatie is dus niet maatgevend.

In onderstaande figuur is het debietverloop als functie van tijd voor riool met afmetingen van 40 m² weergegeven.



Figuur 13.6: Debietverloop als functie van tijd.

Voor een sluis met kolkafmetingen van 405 m lang en 40 m breed, geschikt voor het schutten van Panamaxschepen voldoet een riool met afmetingen van rond de 40 m². De grootste schepen zijn maatgevend voor de maximale hefsnelheid.

Geval 2: Lange kolk.

Gegevens

$$l_k = 445 \text{ m}$$

$$b_k = 40 \text{ m}$$

Buitenwaterstand + 2,13 m N.A.P

Kolkwaterstand -1,96 N.A.P

Ariool	Hefsnelheid	Schutduur (< 900 s)	F1 (<162 kN)	F2 (<62 kN)
35 m2	T = 600 s	1132 s	98 kN	24 kN
	T = 500 s	1082 s	119 kN	31 kN
	T = 400 s	1032 s	149 kN	38 kN
	T = 300 s	982 s	201 kN	51 kN
40 m2	T = 600 s	1028 s	112 kN	28 kN
	T = 500 s	978 s	135 kN	34 kN
	T = 400 s	928 s	170 kN	42 kN
	T = 300 s	878 s	229 kN	58 kN
45 m2	T = 600 s	947 s	126 kN	31 kN
	T = 500 s	897 s	152 kN	39 kN
	T = 400 s	847 s	191 kN	47 kN
	T = 300 s	797 s	256 kN	65 kN

Tabel 13.4: Schuttijden en lanskrachten op schip bij kolkafmetingen van 445*40.

De schuttijden nemen toe met respectievelijk 90 s, 78 s en 70 s.

Geval 3, gelichterde Cape-Size formaat:

Verbreiding kolk naar 57 m:

Gegevens

$l_k = 445$ m

$b_k = 57$ m

Buitenwaterstand + 2,13 m N.A.P

Kolkwaterstand -1,96 N.A.P

Ariool	Hefsnelheid	Schutduur (< 900 s)	F1 (<162 kN)
35 m2	T = 600 s	1485 s	47 kN
	T = 500 s	1435 s	57 kN
	T = 400 s	1385 s	72 kN
	T = 300 s	1335 s	97 kN
40 m2	T = 600 s	1337 s	54 kN
	T = 500 s	1287 s	65 kN
	T = 400 s	1237 s	81 kN
	T = 300 s	1187 s	110 kN
45 m2	T = 600 s	1222 s	60 kN
	T = 500 s	1172 s	72 kN
	T = 400 s	1122 s	91 kN
	T = 300 s	1072 s	123 kN

Tabel 13.5: Schuttijden en langskrachten op schip bij kolkafmetingen van 445*57.

De schuttijden nemen respectievelijk toe met 443 s, 387 s en 345 s tov van de minimum sluisafmetingen.

Benodigde rioolafmetingen bij maximum schuttijd van 15 min = 900 s:

Ariool	Hefsnelheid	Schutduur	F1	F2
45 m2	T = 200 s	1022 s	189 kN	60 kN
50 m2	T = 200 s	930 s	209 kN	66 kN
55 m2	T = 300 s	904 s	149 kN	47 kN
60 m2	T = 400 s	891 s	120 kN	38 kN

Tabel 13.6: Rioolafmetingen bij maximale schuttijd.

13.4 Keuze rioolafmetingen

Uitgangspunten:

Bij de keuze welke rioolafmetingen het beste voldoen, wordt uitgegaan van een niveauverschil tussen kolk en buitenwater van 2 m. Dit is het verschil tussen het gemiddelde kanaalpeil en de gemiddelde buitenwaterstand.

Voor een sluis van minimale afmetingen (405*40) voldoet een riool met een oppervlak van 40 m² en een hefsnelheid van 500 s. De vultijd bij een verval van 4,09 m is 900 seconden en de langskrachten blijven beneden het maximum.

Voor een riool met afmetingen van 40 m² en een hefsnelheid van 500 seconden geldt bij een verval van 2 m:

Kolkafmetingen	Schutduur (s)
405*40	712
445*40	768
445*57	988

Voor een sluis met afmetingen van 445*40 voldoet een riooloppervlak van 45 m² en een hefsnelheid van 500 seconden. Voor een riool met afmetingen van 45 m² en een hefsnelheid van 500 seconden geldt bij een verval van 2m:

Kolkafmetingen	Schutduur (s)
405*40	661
445*40	711
445*57	906

Voor een sluis met afmetingen van 445*57 voldoet een riooloppervlak van 55 m² en een hefsnelheid van 300 seconden. Voor een riool met afmetingen van 55 m² en een hefsnelheid van 300 seconden geldt bij een verval van 2 m:

Kolkafmetingen	Schutduur (s)	
405*40	586	T _{hef} maximaal 500 s, dan F1 < 162
445*40	627	T _{hef} maximaal 500 s, dan F1 < 162
445*57	687	

In één richting worden er over 30 jaar 8.956 schepen per jaar verwacht, dus in totaal 17.912 schepen/jaar verdeeld over de verschillende klassen zoals in Bijlage N is aangegeven. Bij de in gebruik name van de sluis is het aantal schepen in één richting 4.514 per jaar bijlage N.

Met behulp van 'time charter rates', de kosten van een schip per dag, worden de verliezen/winsten van het langzamer dan wel sneller vullen van de kolk bepaald. Zie tabel in bijlage N met de aangehouden waarden.

Hetzelfde kan voor de goederen gedaan worden. In bijlage N is de gemiddelde waarde van de goederen per ton en het promillage van de waarde van dat goed als deze een uur eerder zijn bestemming bereikt.

Voorbeeld:

Bij in gebruikname zijn het aantal schepen door de sluis per jaar:

Scheepsklasse	Aantal	Kosten per uur (euro)	Kosten per scheepsklasse (euro)
50	5278	219	1.156.762
51	1092	606	662.025
52	1016	430	436.457
53	1102	360	396.261
54	540	369	199.350
			2.850.854

Tabel 13.7: Kosten schepen per uur.

Hoeveelheid goederen per jaar en de besparing bij 1 uur tijdswinst:

Goederen	tonnage	Waarde 1 uur winst/ton	Totale besparing 1 uur winst
dry bulk	20.181.315	0,00063	12.654
Liquid bulk	3.580.379	0,00257	9.184
stukgoederen	7.015.088	0,36040	2.528.238
totaal:	30.776.782	0,3636	2.550.075

Tabel 13.8: Maritieme goederen door sluizen bij begin openen nieuwe sluis.

Bij toepassing van een groter riool wordt het schutproces bekort. Voor elk schip en ton goederen geldt de volgende tijdswinsten t.o.v. een riool met $A = 40 \text{ m}^2$:

Kolk:	Bij 45 m2	Bij 55 m2
405*40	51 s	126 s
445*40	57 s	141 s
445*57	82 s	301 s

Aangenomen wordt dat de wachttijden met dezelfde tijd afnemen. De totale tijdswinst bij een riool van 45 m^2 t.o.v. een riool van 40 m^2 is dan $2 \cdot 51 = 102 \text{ s} = 0,0283 \text{ uur}$.

Besparing voor alle schepen is dan elk jaar:

$$2.850.854 \cdot 0,0283 + 2.550.075 \cdot 0,0283 = 80.774 + 72.252 = 153.026 \text{ euro}$$

Aan de hand van de berekening van de Netto Contante Waarde worden de alternatieven met elkaar vergeleken.

$$NCW = B / (1 + r)^t, \quad \begin{array}{l} B = \text{baten, besparing op wachttijden.} \\ r = \text{rentevoet.} \\ t = \text{tijd.} \end{array}$$

Bij en lineaire toename van het aantal schepen tot een maximum van 17.912 per jaar over 30 jaar is de NCW van de besparingen voor de diverse rioolafmetingen in Euro's bij een rentevoet van 4%:

Kolk:	Bij 45 m2	Bij 55 m2
405*40	3.876.687	9.577.696
445*40	4.332.767	10.717.898
445*57	6.233.104	22.880.053

NCW van de besparingen over 100 jaar (in euro's):

Kolk:	Bij 45 m2	Bij 55 m2
405*40	6.205.331	15.330.818
445*40	6.935.370	17.155.915
445*57	9.977.199	36.623.621

Hierbij is aangenomen dat het aantal schepen na 30 jaar niet verder toeneemt dan de 17.912 schepen uit de prognose over 30 jaar, omdat dan de hoeveelheid beschikbare terreinen verdere groei van de havens waarschijnlijk zal stoppen.

De kosten van een riool zoals toegepast bij de Westsluis voor een sluis van afmetingen van $400 \cdot 40$ en riool met $A = 35 \text{ m}^2$ is 36 miljoen Euro. Hetzelfde systeem voor een sluis van $450 \cdot 57$ kost ongeveer 54 miljoen Euro. Het verschil tussen beide systemen is 18 miljoen Euro.

Bij kolkafmetingen van $405 \cdot 40 \text{ m}$ is een kleinere riooldoorsnede goedkoper. De meerkosten van een grotere capaciteit weegt niet op tegen de extra baten/besparingen. Bij een groter kolkvolume is het systeem met riolen van 55 m^2 in het voordeel. Ten aanzien van de flexibele sluis verdient een systeem afgestemd op de toekomstige afmetingen de voorkeur, dus riolen met een doorsnede van 55 m^2 .

14 Het sluishoofd

14.1 Inleiding

De hoofden vormen de meest complexe onderdelen om aan te passen. Dit wordt veroorzaakt door de vele functies en raakvlakken met andere componenten zoals de deuren, de deurkassen, bewegingswerken, het vul- en ledigingssysteem en de overbruggingsconstructie.

De vormgeving en inrichting van de sluishoofden zijn direct afhankelijk van het type deur en het bewegingswerk dat wordt toegepast. De deuren en de hoofden zijn dan ook sterk aan elkaar gerelateerd. De hoofden bevinden zich aan weerszijde van de kolk waarbij het buitenhoofd aan de zijde van de Westerschelde is gesitueerd, terwijl het binnenhoofd zich bevindt aan de kanaalzijde. Aan weerszijde van de hoofden zijn meestal, afhankelijk van het vul- en ledigingssysteem, de in- en uitstroomopeningen ondergebracht. Daarnaast worden vaak ter plaatse van de hoofden de oeververbindingen geprojecteerd.

14.2 Ontwerpaanpak en doel

In dit hoofdstuk wordt het hoofd uitgewerkt. Het doel is te komen tot een globaal ontwerp van het hoofd. Bij dit ontwerp worden de resultaten uit de voorgaande hoofdstukken betreffende de deur, oeververbinding, bewegingswerken en vul- en ledigingssysteem geïmplementeerd. Uiteindelijk worden voor de drie sluzientypen, Panamax, gelichterde Cape-Size en flexibel, de constructie van het hoofd bepaald.

In hoofdstuk 5 zijn de uitgangspunten, algemene randvoorwaarden en het programma van eisen al genoemd. Daarnaast zijn voor het hoofd van belangzijnde randvoorwaarden en eisen reeds gekwantificeerd in de voorgaande hoofdstukken, zoals deurafmetingen en peilen. De belangrijkste zullen hier, welke voor het hoofd specifiek van toepassing zijn, worden herhaald. Aan de hand hiervan en waarden uit de praktijk worden de voornaamste afmetingen van het hoofd zoals deurkaslengte, deurkasbreedte en doorvaarbreedte bepaald.

De dimensies van de wanden en vloeren worden bepaald door de op het hoofd werkzaam zijnde belastingen zoals grond- en waterdrukken. Daarna wordt het hoofd als geheel gecontroleerd op stabiliteit. Hierbij wordt gekeken naar diverse maatgevende toestanden zoals de maximale gronddruk, de weerstand tegen afschuiven, opdrijven en het gevaar voor kantelen. Eventueel vindt aanpassing plaats van afmetingen indien deze niet voldoen. In bijlage L zijn de berekening uitgewerkt, hier zullen alleen de belangrijkste resultaten worden gegeven.

14.3 Uitgangspunten, randvoorwaarden en eisen

Uitgangspunten:

- Uitgegaan wordt van de bouw van het hoofd in een droge bouwput waarbij het hoofd op staal gefundeerd is. Uit de berekening van de optredende gronddrukken, zettingen en het draagvermogen moet blijken of dit haalbaar is. Na gereed komen van het hoofd wordt rondom het hoofd aangevuld met zand tot + 6,5 m N.A.P.
- De horizontale krachten op het hoofd moeten door het hoofd zelf kunnen worden opgenomen. Er mag geen rekening worden gehouden dat de kolkconstructie een deel van de horizontale belasting opneemt aangezien de kolk niet uit een betonnen U-bakconstructie zal bestaan.
- Voor de maximale grondwaterstand wordt +0,18 m N.A.P aangehouden, gelijk aan het maximale polderpeil, aan de polderzijde. Het landgedeelte (eiland) tussen de nieuwe sluis en de Westsluis (Westsluiszijde) staat niet in verbinding met de polder maar wordt gescheiden door de voorhavens en de kolk van de nieuwe sluis. Het grondwaterniveau is hier gelijk aan het kanaalpeil. Als maximum peil wordt hier +2,38 m N.A.P aangehouden.
- De deurbreedte is 10 meter en het rijdek op de deur is 13 meter breed, zoals in de hoofdstukken 12 en 11 zijn bepaald.
- De deur wordt doormiddel van twee onderrolwagens en een bovenrolwagen voortbewogen.

Belangrijkste eisen en randvoorwaarden voor de hoofden zijn in onderstaande tabel samengevat.

	Afmetingen, peilen Panamax/ Flexibele sluis voor verbreding:	Afmetingen, peilen gelichterde Cape- Size/Flexibele sluis na verbreding:
Breedte doorvaartopening	40 m	57 m
Drempeldiepte	N.A.P – 12,9 m	N.A.P – 12,9 m
Dekzerkhoogte	N.A.P + 6,5 m	N.A.P + 6,5 m
Deurlengte	+/- 43 m	+/- 60 m
Deurdikte	6 m	10 m
Deurhoogte	19,4 m	19,4 m
Maximale grondwaterstand polderzijde	N.A.P + 0,18 m	N.A.P + 0,18 m
Minimale grondwaterstand polderzijde	N.A.P – 1 m	N.A.P – 1 m
Maximale grondwaterstand Westsluiszijde	N.A.P + 2,38 m	N.A.P + 2,38 m
Minimale grondwaterstand Westsluiszijde	N.A.P + 1,88 m	N.A.P + 1,88 m
MHW	N.A.P +5,75 m	N.A.P +5,75 m
MLW	N.A.P – 4 m	N.A.P – 4 m
Hoogste kanaal peil	N.A.P + 2,38 m	N.A.P + 2,38 m
Laagste kanaal peil	N.A.P + 1,88 m	N.A.P + 1,88 m
Grondparameters (zie bijlage D)		

Tabel 14.1: Eisen en randvoorwaarden.

14.4 Functies hoofd

De volgende functionele eisen kunnen voor het sluishoofd worden afgeleid:

- Waterkering: het hoofd moet samen met de deuren de maatgevende hoogwater kunnen keren. Dit betekent dat het dekzerkniveau voldoende hoog moet zijn. Zie ook hoofdstuk 6.
- Krachtsoverdracht: De waterdruk als gevolg van het verval op de deuren moeten door het sluishoofd worden opgenomen en naar de ondergrond worden afgedragen.
- Waterafdichting: De aansluiting van de deuren met het sluishoofd zullen waterdicht moeten zijn om lekverliezen en zout water instroom te voorkomen. De verticale deurplaat sluiten aan op de verticale wand in de deurnis en deurkas, door middel van aangebrachte strippen. De onderafsluiting wordt tegen het verticale deel van de inkassing in de vloer aangedrukt.
- (Grond)Water: Stroming/waterverliezen langs het hoofd moeten voorkomen worden.
- Grond(water)kering: De wanden zullen grond(water)dicht moeten zijn en in staat de belastingen veroorzaakt door de grond op te nemen.
- Plaats bieden aan deuren en bewegingswerken: In het sluishoofd worden de deuren en de bijbehorende bewegingswerken aangebracht. De deuren bevinden zich in geopende stand in de deurkassen. Aan deze deurkassen worden eveneens eisen gesteld, zoals ruimten en voorzieningen voor onderhoud aan de deuren (dokfunctie), deze worden later genoemd.
- Geleiden schepen naar de kolk: Het hoofd moet de scheepvaart onbelemmerd doorvaart verlenen, en eventueel scheepvaart belastingen kunnen opnemen.
- Verbinding wegverkeer: Het weg verkeer verloopt via de deuren. Het hoofd vormt de verbinding tussen de deuren en het land. Over de deurkassen zal een overbrugging moeten worden aangebracht die aansluit op het rijdek op de deuren. De brugconstructie kan bijvoorbeeld met een hydraulisch systeem geheven worden om de deur bij het openen in de kas toe te laten.

Een belangrijk deel van het hoofd bestaat uit de deurkassen waar de twee deuren per hoofd worden ondergebracht in geopende stand. Aan deze kassen worden de volgende eisen gesteld:

- De kas moet droog gezet kunnen worden voor inspecties, onderhoud en reparaties aan deuren, rail/glijbaan en geleidingen, zonder stremming van de sluis.
- De deur moet voldoende ver de kas in getrokken worden zodat aanvaring met langsvarende schepen niet kan voorkomen.

- De deur is van dusdanige afmetingen dat deze drijvend aangevoerd moet worden en de kas ingevaren wordt. De kasingang dient hiervoor voldoende breed te zijn om dit invaren mogelijk te maken.
- De kas voor een roldeur moet voldoende lang zijn om onderrolwagens te kunnen vervangen, in geval van een glijdeur is minder ruimte achter de deur noodzakelijk.

Tot slot dienen de hoofden te voldoen aan de stabiliteitseisen, deze zijn:

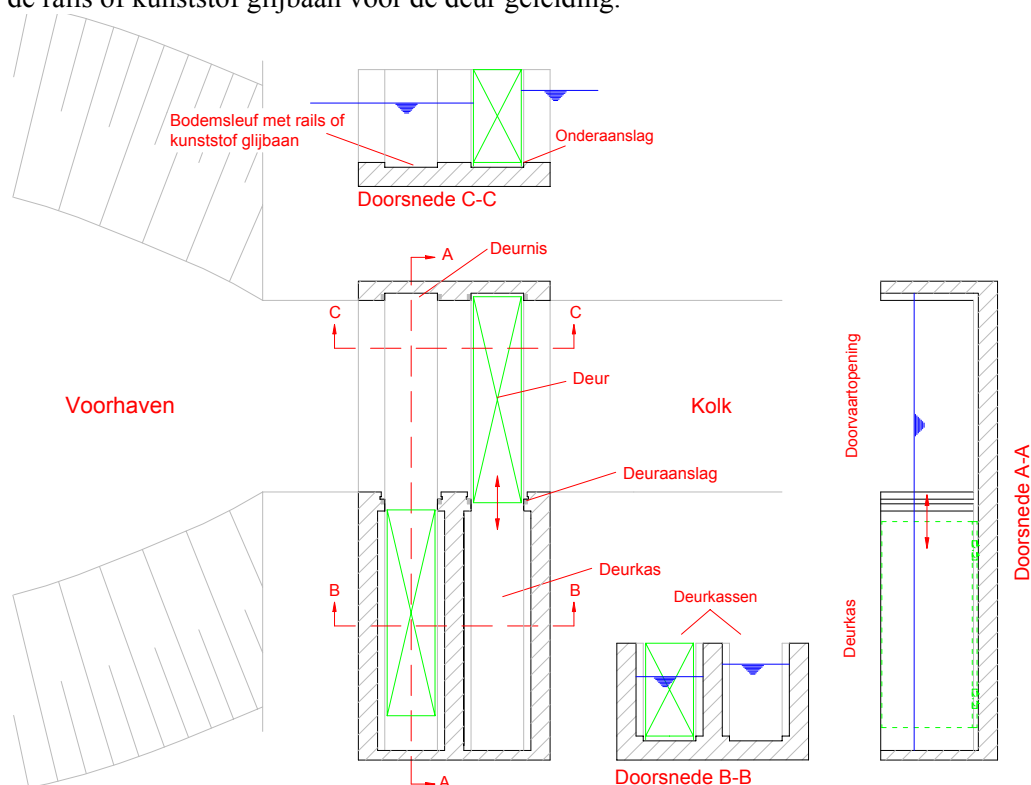
- Het hoofd mag niet kantelen.
- Het hoofd mag niet afschuiven.
- De fundatiedrukken mogen niet leiden tot het bezwijken van de grond.
- De zettingen mogen niet te groot zijn (in de orde van enkele centimeters).
- Voorkomen van onder- en achterloopsheid waardoor de stabiliteit van het hoofd in gevaar komt.

Uitbreidingseisen:

De uitbreiding van het hoofd moet zonder grootschalige sloop en aanpassingen waarbij de sluis langdurig gestremd is mogelijk zijn. Onder de uitbreiding wordt in dit geval verbreding van de doorvaartopening verstaan en hiermee samenhangend de noodzakelijke veranderingen aan de afsluitmiddelen en verlenging van de deuren. Na de uitbreiding moet de sluis blijven voldoen aan de genoemde functionele eisen tenzij deze veranderd zijn.

14.5 Vormgeving en basisafmetingen

De vormgeving van een sluishoofd voor roldeuren bestaat uit een aantal algemene kenmerken. De voornaamste kenmerken zijn de lange deuren loodrecht op de sluisas aan één zijde, waar de deur in geopende stand zich bevindt zodat de doorvaartopening vrij is voor de scheepvaart. De deuren bewegen zich in horizontale richting loodrecht op de sluisas. De deuraanslagen waartegen de deur wordt aangedrukt door het niveauverschil tussen kolk en voorhaven zijn aan weerszijde van de doorvaartopening gesitueerd en fungeren tevens als verticale afdichting. De horizontale onderafdichting is tegen de zijkant van de in de vloer aanwezige sleuf aangebracht. In deze sleuf lopen tevens de rails of kunststof glijbaan voor de deur geleiding.



Figuur 14.1: Verschijningsvorm hoofd met roldeuren.

14.5.1 Basisafmetingen hoofd

De breedte en drempeldiepte van de doorvaartopening zijn in hoofdstuk 6 bepaald. In hierna volgende paragrafen worden de afmetingen van de deurkassen en deurnissen bepaald. De diverse afmetingen zoals deurkaslengte, –breedte en deurnisdiepte worden aan de hand van de deurafmetingen, zoals bepaald in hoofdstuk 11 afgeleid. Tevens is gekeken naar constructies van bestaande vergelijkbare sluisen. Dit is gedaan voor de hoofden van een Panamaxsluis, gelichterde Cape-Size sluis en de flexibele sluis.

Deurkaslengte:

De totale lengte van de deurkas wordt bepaald door:

- Lengte van de deur.
- Lengte van de onderrolwagen.
- Lengte van de bovenrolwagen.
- Afstand tussen bovenrolwagen en deur (afhankelijk van hoe ver de rolwagen naar voren kan komen).
- Plaatsing van schotbalken/afsluitcaisson om de deurkas droog te zetten.

De lengte en breedte van de roldeuren zijn respectievelijk:

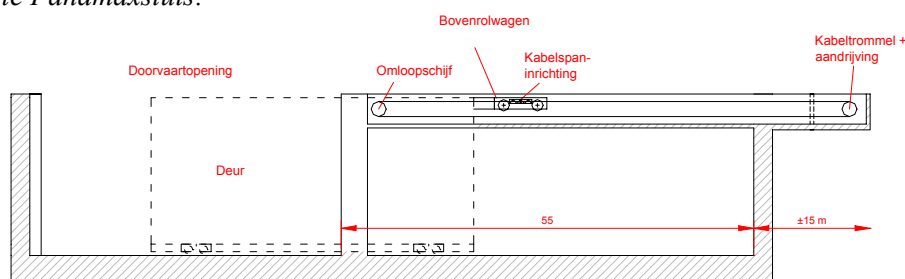
- Panamaxsluis = 40 en 6 m.
- Gelichterde Cape-Size = 60 en 10 m.
- Flexibele sluis = 40 en 10 m.

De lengte van een onderrolwagen voor een deur van 6 of 10 m dikte is niet direct te zeggen, maar wordt geschat op 5 en 6 m. Voor of achter de deur moet voldoende ruimte aanwezig zijn om deze onderrolwagens weg te kunnen hijsen. Voor de bovenrolwagen wordt een lengte van 7 m aangehouden. De uiteindelijke afmetingen van de wagens zullen volgen uit de grote van de wielen en omloopschijven die in de rolwagens worden ondergebracht.

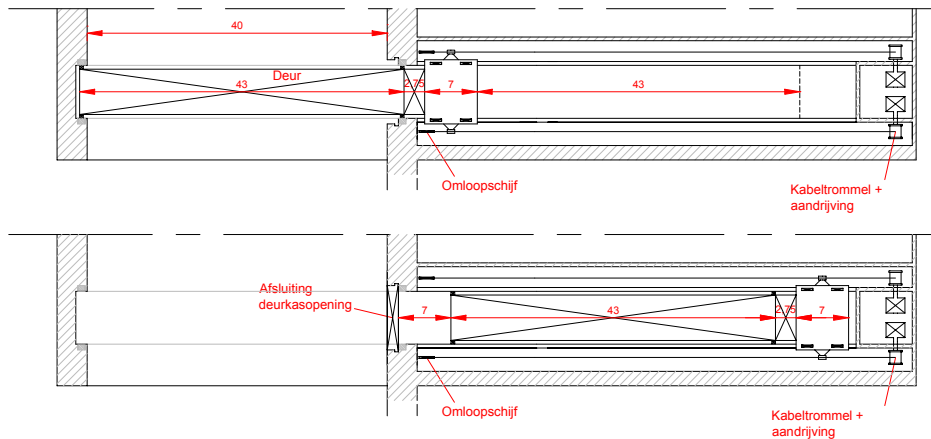
De afstand tussen deur en bovenrolwagen is afhankelijk van hoe ver de bovenrolwagen in de richting van de doorvaartopening kan bewegen. De afstand tussen de omloopschijven op de rolwagen en de vaste omloopschijven is over het algemeen kleiner dan de afstand met de kabeltrommel. Hierdoor kan een aandrijving met de normale configuratie waarbij de aandrijving in het verlengde van de deurkassen zijn opgesteld verder naar voren bewegen en is de afstand tussen deur en bovenrolwagen kleiner.

De deurkassen worden ten behoeve van onderhoud aan deuren of kas droog gezet. Hiertoe dient de kas afgesloten te kunnen worden. Dit kan doormiddel van een afsluitcaisson welke in de deurkasopening wordt geplaatst. Het verder naar achteren plaatsen van dit caisson is nadelig omdat de deurkaslengte hiermee vergroot wordt.

Deurkaslengte Panamaxsluis:



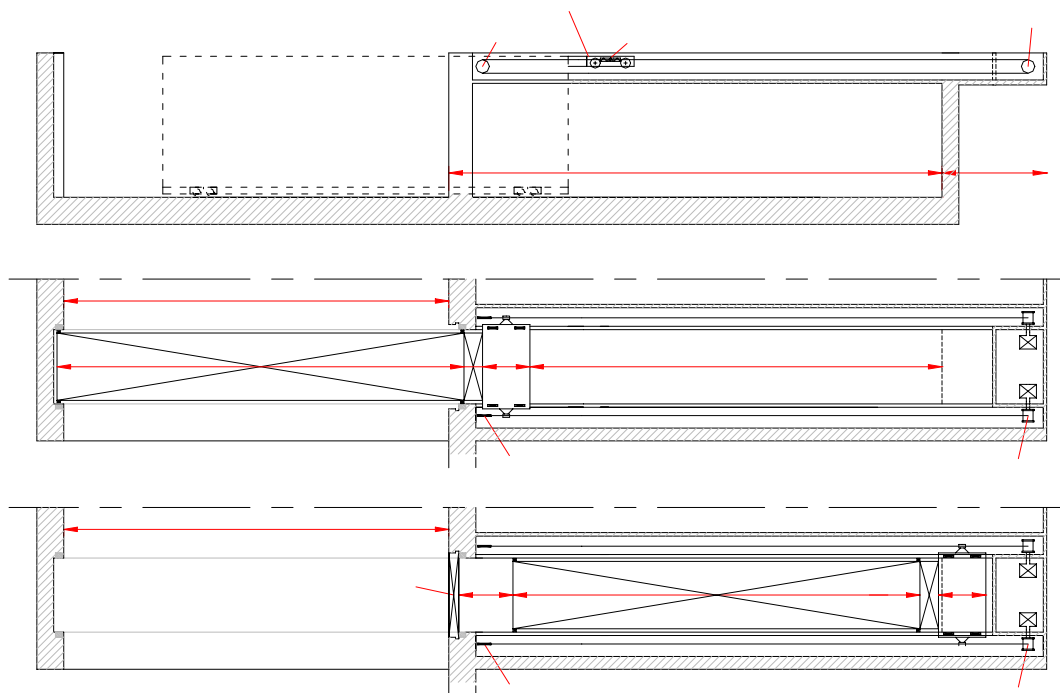
Figuur 14.2a: Deurkaslengte Panamaxsluis, dwarsdoorsnede.



Figuur 14.2b: Deurkaslengte Panamaxsluis.

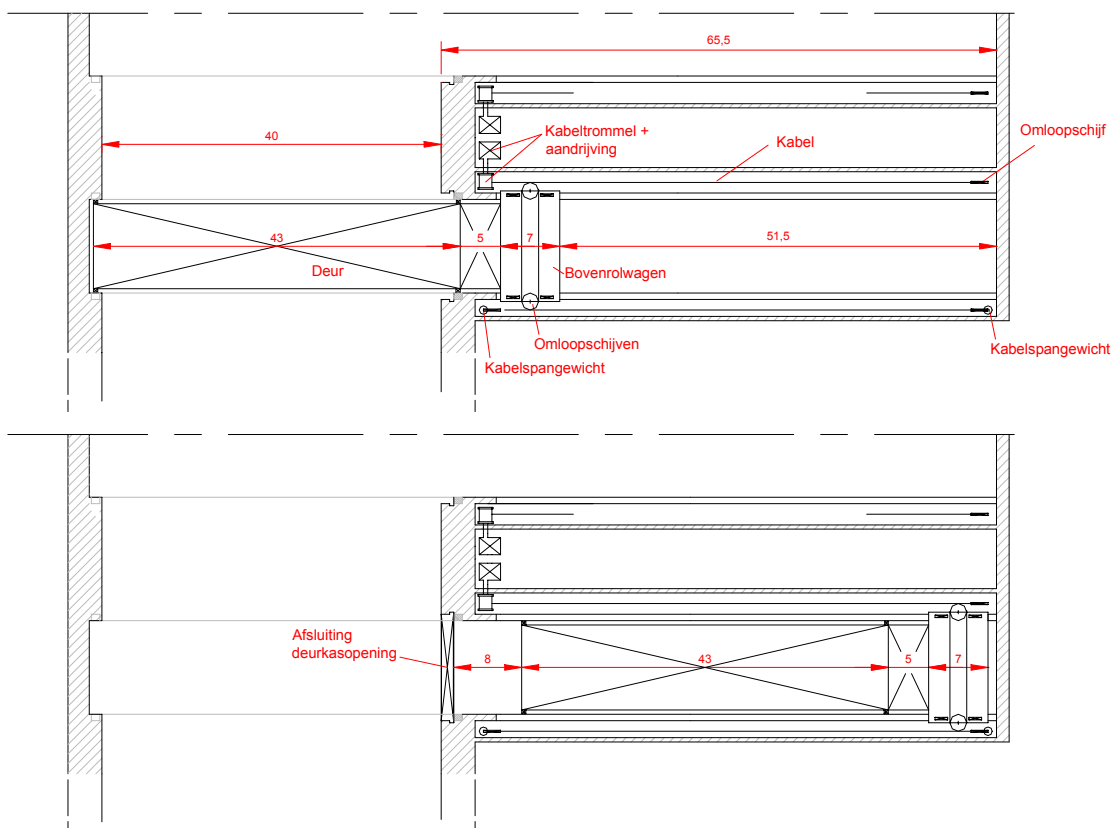
De benodigde deurkaslengte van de Panamaxsluis is ongeveer 55 m. Omdat de aandrijving in het verlengde van de deurkassen wordt gesitueerd is in dit geval achter de deurkas zelf extra ruimte noodzakelijk voor de machineruimte.

Deurkaslengte gelichterde Cape-Size sluis:



Figuur 14.3: Deurkaslengte gelichterde Cape-Size.

De lengte van de deurkas zelf van de gelichterde Cape-Size is ongeveer 73 m. Ook hier is extra ruimte achter de deurkassen voor de aandrijving noodzakelijk.

Deurkaslengte van de flexibele sluis:

Figuur 14.4: Deurkaslengte flexibele sluis.

De lengte van de deurkas is ongeveer 66 m gemeten vanaf achterwand tot aan voorkant voorwand.

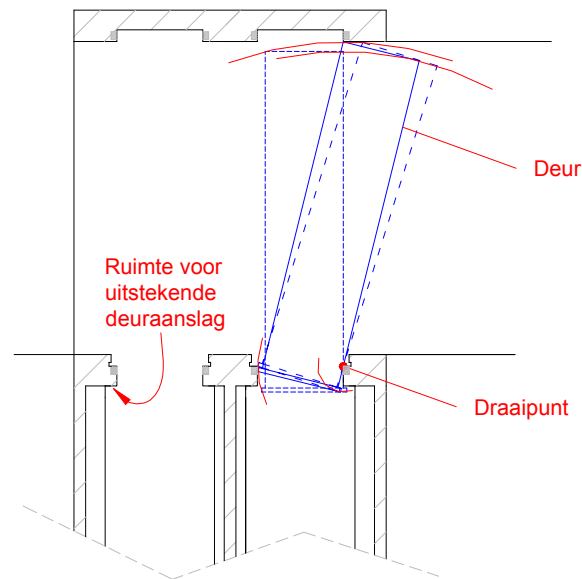
Deurkasbreedte:

De deurkasten zijn het smalst ter plaatse van de aanslagen. De breedte wordt bepaald door de mogelijkheid om de deur drijvend in te varen. De benodigde ruimte voor het invaren wordt bepaald door:

- De deurbreedte.
- De deurlengte.
- De hoogte van de aanslagen t.o.v de deurbeplating.
- Draaipunt.
- De zijdelingse verplaatsing van de deuren t.o.v de middenstand. Bij roldeuren is deze zijdelingse verplaatsing gewoonlijk in de orde van 5 cm.

Daarnaast kan ten behoeve van het vergemakkelijken van het in- of uitvaren een deel van de onderaanslag demonteerbaar worden gemaakt zoals in bijlage K is weergegeven.

Bij een deurkasopeningsbreedte van 11 m is het mogelijk de deur de deurkasten in te varen, waarbij de deur zelf 10 m dik is en de aanslagen 0,45 m uit tov van de deur beplating uitsteken. In bijlage K en figuur 14.5 is het indraaien geschetst. Voor een deur van 6 meter wordt een breedte aangehouden van 7 m.



Figuur 14.5: Indraaien deur in deurkas

De breedte in deurkas zelf wordt voornamelijk bepaald door de mogelijkheid om onderhoud te plegen, maar ook door de hoogte van aanslagen op de deur. Hierdoor mogen de wanden van de deurkassen niet gelijk zijn aan de breedte van deurkasopeningen zelf. Daarnaast is de breedte van de overbrugging van invloed op de breedte van de deurkas.

Voor bestaande sluizen ligt de breedte tussen de 1,3 en 2 maal de breedte van de deur t.p.v de deuraanslagen ter hoogte van het gemiddelde waterpeil. Hier is de breedte dan $1,3 \cdot 10,9 \approx 14$ m tot $2 \cdot 10,9 \approx 22$ m. Een bredere kas maakt het uitvoeren van onderhoudswerkzaamheden eenvoudiger, maar maakt het hoofd duurder. Hier wordt 14 m als minimum breedte op de bodem aangehouden, aan weerszijde van de deur ter plaatse van de aanslagen is dan 1,5 m vrije ruimte aanwezig. Voor een deurbreedte van 6 m wordt dit $1,3 \text{ à } 2 \cdot 6,9 = 9 \text{ à } 13,8$ m. Als minimale breedte wordt hier 10 m aangehouden.

De wanden loodrecht op de sluisas moeten minimaal 0,5 m versprongen liggen ten opzichte van de aanslagen om het indraaien van deur mogelijk te maken.

De invloed van de deurkasbreedte op de langskrachten op de deur tijdens het bewegen is beperkt, een smallere deurkas leidt niet tot grotere krachten.

Sleuf in vloer:

De diepte van de sleuf in de bodem is afhankelijk van het type onderrolwagens of de toepassing van een glijdeur. Meestal is de sleuf ongeveer 1 meter dieper dan de bovenzijde van de vloer/drempel. In deze sleuf zijn de railbanen voor de onderrolwagens opgenomen, of een gladde kunststoflaag bij een glijdeur.

De basisafmetingen van het hoofd zijn in onderstaande tabel en de figuren 14.6 en 14.7 weergegeven.

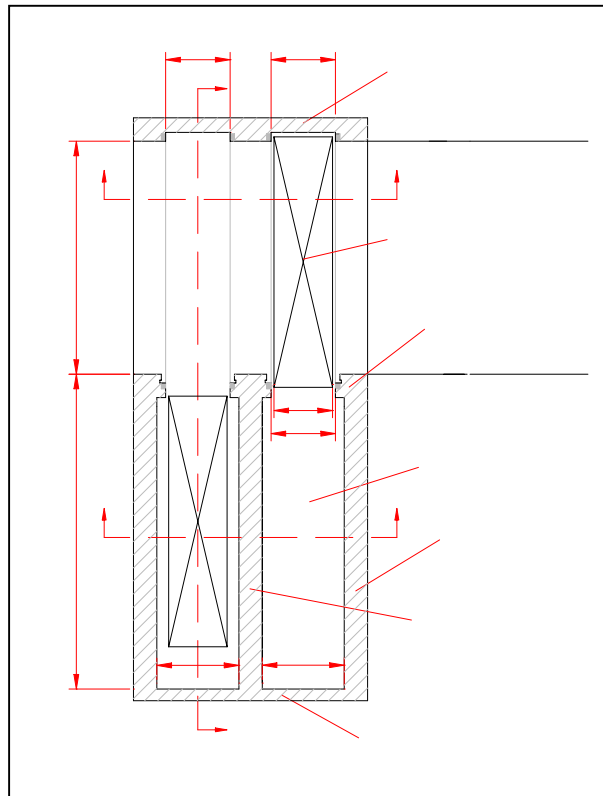
	Panamax	Gel. Cape-Size	Flexibele sluis
a: Doorvaart breedte (m)	40	60	40
b: Breedte deurkas opening (m)	7	11	11
c: Minimale deurkasbreedte (m)	10	14	14
d: Deurkaslengte (m)	55	73	66
e: Breedte deurnis (m)	7	11	11

Tabel 14.1: Basisafmetingen sluishoofden.

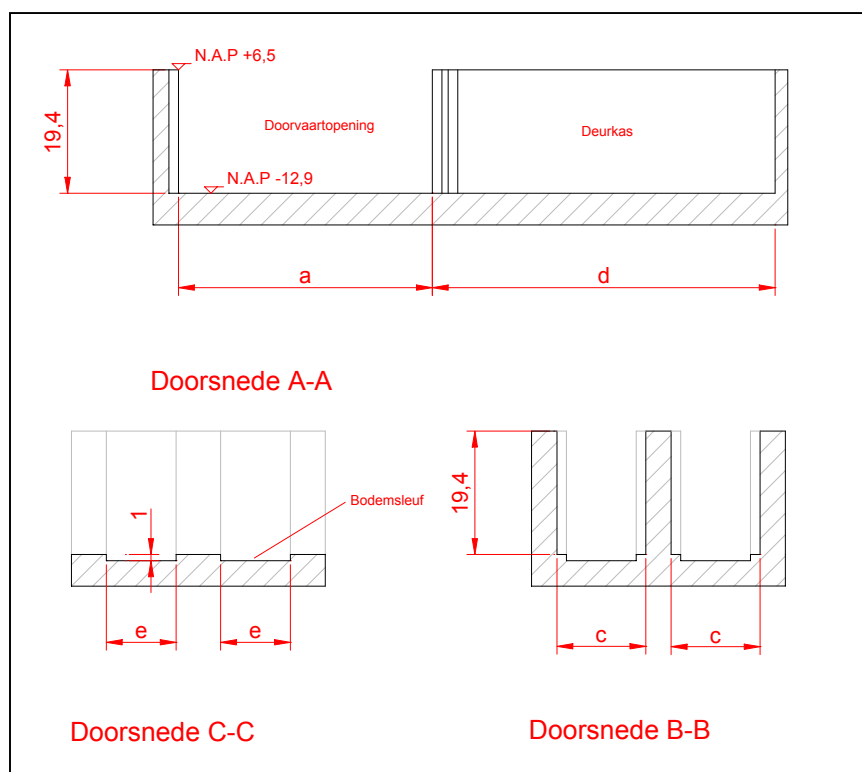
Nader te bepalen elementafmetingen:

- Deurniswand.
- Diepte deurnis.
- De buitenwanden van deurenkassen.
- De tussenwand.
- Voorwand.
- Vloerdikte.

In de bijlage zijn de afmetingen van de betondoorsneden bepaald.



Figuur 14.6: Benoeming elementen hoofd.



Figuur 14.7.

14.6 Belastingen

De globale afmetingen van het hoofd zijn nu bekend. De eisen worden verder vertaald naar belastingen op het hoofd voor het bepalen van de doorsneden van de diverse elementen als wanden en vloer. Onderscheid kan worden gemaakt tussen de uitvoeringsfase en gebruiksfase en de daarbij optredende belastingen en belastingcombinaties. In eerste instantie zal gekeken worden naar de belastingen in de uiterste grenstoestand gedurende de gebruiksfase. De belastingen die optreden in de uitvoering zijn sterk afhankelijk van de wijze van uitvoering. In dit geval wordt uitgegaan van een uitvoering in een droge bouwput.

Op de drie hoofdtypen zijn de dezelfde belastingen werkzaam. Belastingen die op het hoofd werken, in de gebruiksfase, zijn:

Permanente belastingen:

- Gronddruk
- Grondwaterdruk
- Eigengewicht
- Gewicht deur
- Overbruggingsconstructie

Veranderlijke belastingen:

- Hydraulische belasting
- Deurbelasting
- Troskrachten
- Verkeer
- Terreinbelasting

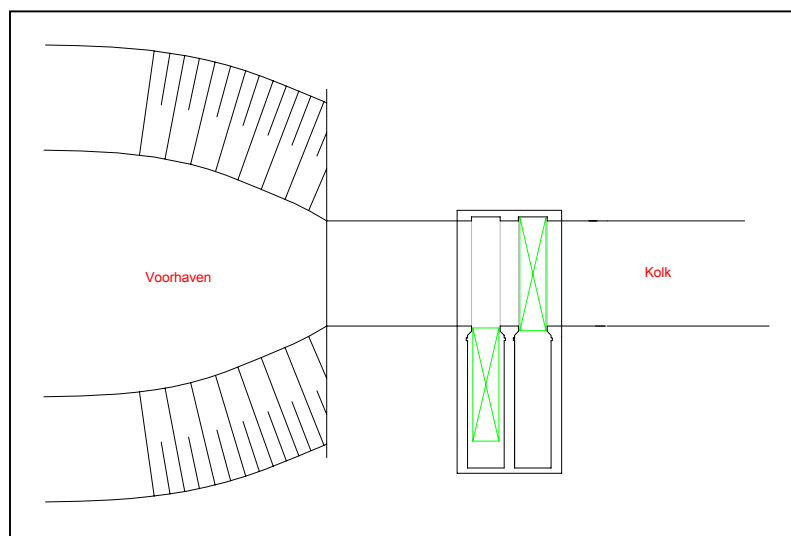
Bijzondere:

- Scheepsstoten/aanvaring
- IJs

Grond(water)belasting:

Op de wanden van het hoofd werken aan de grondzijde zowel gronddruk als grondwaterdruk. Voor de horizontale gronddruk wordt gerekend met een neutrale gronddruk aangezien de wanden nauwelijks vervormen. Voor de coëfficiënt van de neutrale gronddruk K_n wordt 0,5 aangehouden, zie ook bijlage D. De grote van de horizontale waterdruk is afhankelijk van het grondwaterniveau.

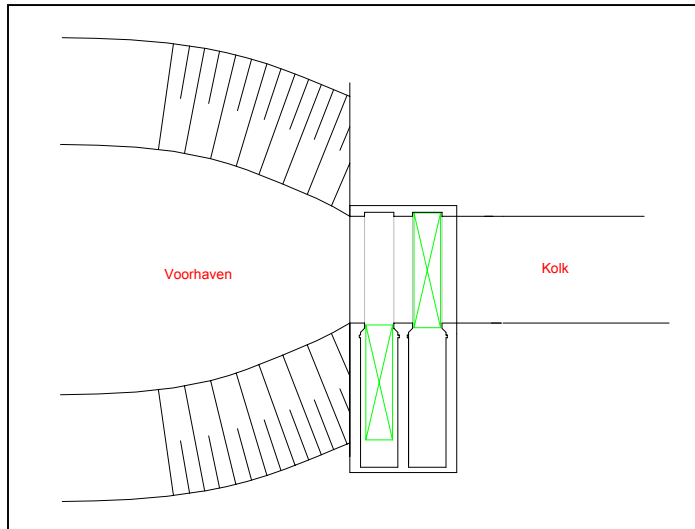
Normaal gesproken loopt de sluis in het verlengde van de kolk tussen de voorhaven en het hoofd over enige afstand door. Deze afstand is meestal afhankelijk van de locatie van in- en uitstroomopeningen en het aanwezig zijn van een brug. In geval van uitstroomopeningen in de wand welke loodrecht op de



sluisas in- en uitstromen en in geval van stroming via bodemroosters, of via de diepgelegen in- en uitstroomopeningen is een bepaalde lengte tussen het hoofd en voorhaven noodzakelijk. Indien deze afstand klein is kunnen de gronddrukken aan weerszijde van het hoofd verschillen. Er kunnen twee uiterste situaties worden onderscheiden. Bij de eerste is links en rechts op de deurkaswanden dezelfde horizontale grond- en grondwaterdruk aanwezig is.

Figuur 14.8.

In dit geval is er dus evenwicht. Van deze situatie kan uitgegaan worden indien aan de voorhavenszijde van het hoofd een grondmassa aanwezig is over enige lengte.



De tweede situatie treedt op indien de deurkaswand van het hoofd aan de voorhavenszijde gelijk fungeert als vleugelwand. Dan treedt er een verschil in belasting op. Aan de kolk zijde is de grond- en grondwaterbelasting aanwezig. Aan de voorhavenszijde is er de waterdruk en de aanwezige gronddruk als gevolg van het talud.

In de dimensionering van de sluishoofden wordt uitgegaan van de eerste situatie waarbij op de wanden een neutrale gronddruk aanwezig is.

Figuur 14.9

In verticale richting kan door nazakken van de grond, de grond aan de wand kleven waardoor er een extra belasting ontstaat. Het betreft hier echter een gladde betonwand en wordt in deze situatie niet meegenomen bij de berekening.

Het grondwater zorgt voor een verticale opwaartse belasting op de vloer.

Eigen gewicht en gewicht deur:

Deze verticale belasting bestaat uit het gewicht van de vloer en wanden van het hoofd. Daarnaast oefenen de aanwezige constructie als de deur een verticale belasting uit op de vloer en de overbrugging op de wanden. Het eigengewicht van de deurconstructie wordt aangenomen op 13000 kN en het dienstgewicht, dit is het constructiegewicht + ballast – oprijvend vermogen, wordt aangenomen op 1000 kN, eveneens gebaseerd op eerder genoemde sluisdeuren, zoals de Noordersluis etc.

Hydraulische belastingen:

In horizontale richting werken de hydrostatische waterdrukken en golfdrukken. In verticale richting geeft het gewicht van het water een naar beneden gerichte gelijkmatig verdeelde belasting op de vloer

Deurbelasting (in gesloten stand):

De belastingen op de deur als gevolg van het verval over de deur en de golven worden op het hoofd via de verticale geleiding van de deur naar de verticale aanslagen in de deurkas en deurnis overgedragen. De belasting kan geschematiseerd worden als lijn belasting. Het verloop van de belasting over de hoogte wordt gelijk genomen aan het verloop van de resulterende water- en golfdrukken op de deur. Zie ook figuur F.7 waar dit is geschematiseerd.

Deurbelasting extreme waarden:

- Maatgevend hoogwater + golven en minimaal kanaal/kolkpeil.
- Maatgevend laagwater + maximum kanaal/kolkpeil.

Overige belastingen:

Voor troskrachten wordt voor grote zeesluizen gerekend met 1000 kN per bolder of haalkom. Deze kunnen echter voor dit grove ontwerp buiten beschouwing worden gelaten, omdat deze zelden maatgevend zijn.

De verkeersbelasting zullen slechts klein zijn in verhouding tot de overige belastingen en zullen voor het geheel als hoofd nauwelijks van invloed zijn. Ook de terreinbelasting wordt hierbij niet meegenomen. Wel wordt met terreinbelasting rekening gehouden bij de berekening van de wandenafmetingen.

14.7 Belastingcombinaties

Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen belastingen op de elementen zelf zoals wanden en vloeren, en het hoofd als geheel. Maatgevende belastingcombinaties kunnen tijdens de bouw en gedurende de gebruiksfase optreden. Hierbij zijn permanente en eventueel veranderlijke belastingen gelijktijdig werkzaam. Voor een eerste ontwerp zijn de bijzondere belastingen niet van belang en worden meestal alleen meegenomen voor detailonderdelen en specifieke constructies. De maatgevende belastingcombinatie worden bij elk element bepaald.

14.8 Dimensionering sluishoofdelementen

In deze paragraaf worden van de diverse elementen van het hoofd zoals de buitenwanden en de vloer de betondoorsneden bepaald. De inpassing van de diverse onderdelen als de bewegingswerken worden bij de berekening van de wanden buiten beschouwing gelaten. De berekeningen zijn in bijlage F uitgewerkt. Hier worden de resultaten weergegeven.

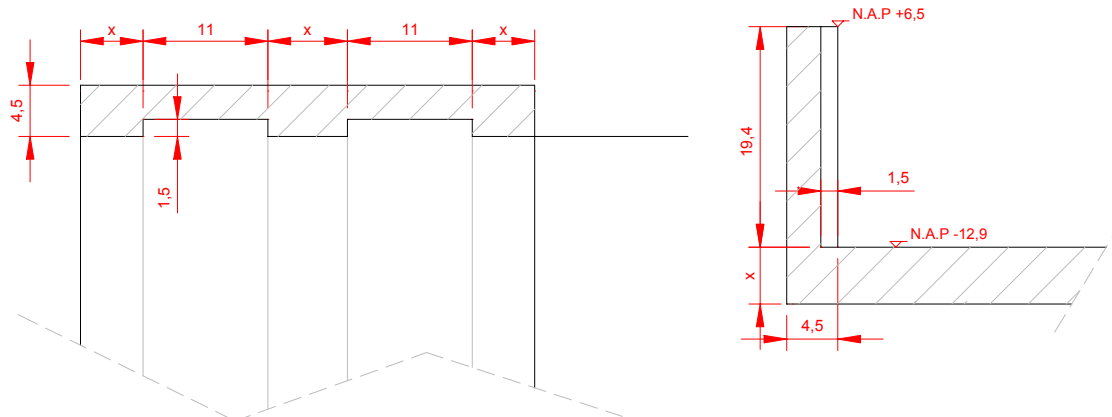
14.8.1 De deurniswand

Maatgevende belastingsgeval in de gebruiksfase. De wand is aan de Westsluiszijde gesitueerd en wordt om deze reden berekend op een maximale grondwaterstand gelijk aan die van het kanaalpeil. In de kolk is de waterstand – 4 m N.A.P.

Tijdens de uitvoeringsfase treedt de grootste belasting op als de wand aangevuld is met zand terwijl de sluis nog leeg staat. De bemaling is dan nog in bedrijf dus de grondwaterdruk ontbreekt.

De gebruiksfase blijkt maatgevend te zijn.

De wand heeft over de gehele hoogte een dikte van 4,5 m en ter plaatse van de deurnissen een dikte van 3 m. Doordat in de wand deurnissen aanwezig zijn van ongeveer 1,5 m diep wordt de wand niet verjongd. (De diepte van de deurnis is afgeleid van die van bestaande sluisen).



Figuur 14.10: Deurniswand

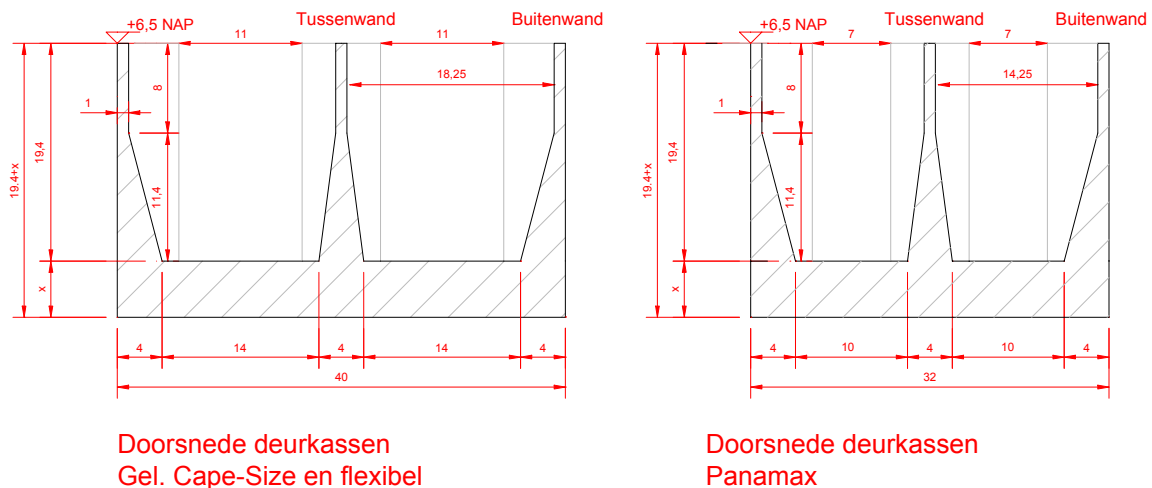
14.8.2 De buitenwanden

De deuren zijn aan de polderzijde gelegen en worden daarom berekend op het maximale polderpeil in combinatie met droog gezette deuren. Ook hier is de gebruiksfase maatgevend.

De wanden worden beschouwd als L-wand. De steun van de achterwand en voorwand is verwaarloosbaar omdat de invloed hiervan door de grote lengte van kas beperkt zal zijn. Zonder dwarskrachtwapening is dan een aanzienlijke wanddikte noodzakelijk van ruim 5 m. Deze wordt door toepassing van dwarskrachtwapening teruggebracht tot 4 m.

14.8.3 De tussenwand

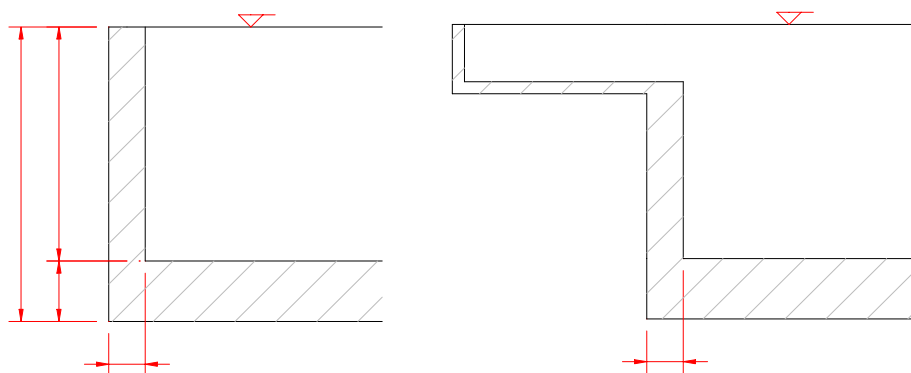
Maatgevende belasting treedt op in de gebruiksfase. Indien het hoofd uit één geheel bestaat is de belasting op de tussenwand het grootst als een deurkas leeg staat en de andere gevuld. De benodigde wanddikte bij de inklemming met de vloer is 4 m zonder dwarskrachtwapening. Indien het hoofd uit twee losse deurkassen bestaat vervalt de tussenwand. De wanden zijn dan allen gelijk aan elkaar.



Figuur 14.11: Voorlopige doorsnede t.p.v. deurkassen.

14.8.4 De achterwand

Ook hier treedt de maatgevende belasting op tijdens de gebruiksfase. De achterwand sluit de deurkassen aan de achterzijde af. De wand wordt per deurkas als driezijdig star ondersteunde ingeklemde plaat beschouwd. De benodigde wanddikte bij inklemming met de vloer is 3 m bij een deurkasbreedte voor de flexibele en gel. Cape-Size sluishoofd. Voor de Panamax sluishoofd kan in principe volstaan worden met een iets kleinere wanddikte maar wordt hier gelijk aangehouden. De wand wordt niet verjongd naar boven toe om de dwarskracht op enige hoogte met de aansluiting op de wand zonder dwarskrachtwapening te kunnen opnemen. Voor de achterwand van de machineruimte kan wel een kleinere dikte worden genomen.



Figuur 14.12: Doorsneden achterwand.

14.8.5 De voorwand

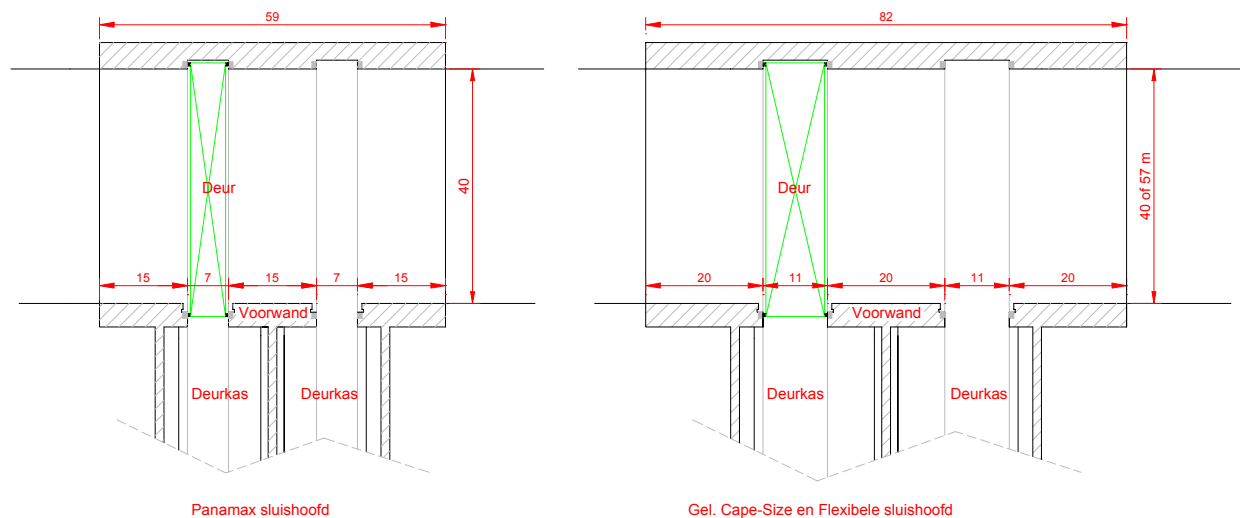
De voorwand moet de horizontale belasting van de deur opnemen. Deze belasting hangt af van de grootte van de deur. Bij toenemende breedte neemt de belasting evenredig toe. De voorwand zelf moet voldoende capaciteit hebben om deze belasting op te nemen. De belasting zorgt voor een horizontale afschuifkracht en een moment in de voorwand evenwijdig aan de sluisas. De wand wordt beschouwd als een gedrongen ligger zodat voor het afschuiven de gehele hoogte (lengte) van de wand mag worden gerekend. Voor het opnemen van het moment wordt uitgegaan van de inwendige

hefboomsarm welke gebaseerd is op de normaalspanningsverdeling van de ongescheurde ligger volgens de lineaire-elasticiteitstheorie. In werkelijkheid is geen sprake van lineair verlopende normaalspanningsverdeling als gevolg van afschuif- en dwarskrachtvervormingen. Hierbij is uitgegaan dat de haaks op de voorwand staande deurkaswand(en) niet meewerken.

De wand draagt de belastingen over op de vloer, waardoor in de vloer ook buigende momenten, dwarskrachten en normaalkrachten ontstaan. De krachtsoverdracht is niet doormiddel van een eenvoudige berekening te geven. Factoren die een rol spelen zijn de vloerdikte en stijfheidsverhoudingen van de vloervelden, maar ook de beddingsconstante van de ondergrond, een deel van de belasting zal direct naar de fundering worden overgedragen. Hierdoor nemen de momenten in de vloer af.

Voor de voorwand berekend op afschuiving is de benodigde voorwandlengte 15 m en dikte 4 m, bij een deurlengte van 40 m (Bijlage L.5). Ter vergelijking: de aanwezige wandlengte tussen de deurkasopeningen van de Westsluis bij het binnenhoofd is 13 m met een dikte van bijna 4,5 m. Hierbij is een lager ontwerppeil aangehouden van +5,65 m i.p.v +5,75 m N.A.P en tevens een kleinere golfhoogte. Het afschuifoppervlak komt dus met elkaar overeen. Voor een gelichterde Cape-Size en de flexibele sluis is de benodigde wandlengte 20 m. In principe is het wel mogelijk zijn de wandlengte te beperken tot 15 m bij toepassing van afschuif/dwarskrachtwapening en meer hoofdwapening. Daarnaast biedt de grotere wandlengte ten aanzien van de flexibele sluis voordelen omdat hierdoor meer ruimte tussen de twee deurkassen voorhanden is en de aandrijving van de deuren eenvoudiger in te passen is.

Bij de verdere uitwerking en vergelijking tussen de drie sluisstypen zal van de volgende afmetingen worden uitgegaan: Panamax 15 m, gelichterde Cape-Size en flexibele sluis 20 m.



Figuur 14.13: Voorwandlengten bij Panamax, gelichterd Cape-Size en Flexibele sluis.

14.8.6 De vloer

De dikte van de vloer wordt enerzijds bepaald door de sterkte eisen, anderzijds kan ook het gewicht tegen opdrijven een bepalende factor zijn voor de dikte.

In de buitenwanden treden als gevolg van de grond- en grondwaterdrukken een maximaal moment op van 18523 kNm/m. Dit moment moet ook door de vloer opgenomen kunnen worden. Hiervoor wordt voor de vloer ter plaatse van de aansluiting een gelijke dikte aangehouden als voor de wand namelijk 4 m. Ter plaatse van de bodemsleuf heeft de vloer een dikte van 3 m. In verband met weerstand tegen opdrijven is een kleinere vloerdikte niet mogelijk. In bijlage M 'stabiliteit' is dit berekend

Ter plaatse van de voorwand en deuraanslagen kunnen veel grotere momenten optreden zoals in de vorige paragraaf reeds gemeld is. Bij de Westsluis is de vloer onder de voorwand en deurkasopening echter even dik als onder de deurkassen.

Ter controle is in bijlage L.8 de doorsnede van de vloer bekeken. Uit deze eerste vereenvoudigde beschouwing blijkt dat een vloerdoorsnede met een dikte van 4 m deze plaatselijk grotere momenten kan opnemen, maar dat hiervoor wel aanzienlijke wapeningshoeveelheden noodzakelijk zijn.

14.9 Inpassing van het bewegingssysteem en overbrugging

Bewegingssysteem:

In hoofdstuk 13 is ingegaan op het bewegings- en geleidingssysteem voor roldeuren en is gekozen voor een systeem met twee onderrolwagens en een bovenrolwagen. Aan de hand van enkele doorsnede schetsen van het hoofd is de inpassing ervan verduidelijkt. Het inpassen heeft gevolgen voor de afmetingen en inrichting van de deurkassen en zal dus gaan afwijken van de in figuur 14.11 geschetste doorsneden. Om plaats te bieden aan de kabelgoot en bovenrails van de bovenrolwagen zal de breedte van de deurkas moeten toenemen en hiermee de totale breedte van deurkassen. In figuur 14.14 getekende doorsnede C-C laat een doorsnede zien bij toepassing van één tussenwand. De uitkraging/console waarop de bovenrail loopt is dan erg groot en hierdoor de optredende momenten en dwarskrachten eveneens. Een betere oplossing is geschetst in doorsnede B-B bestaande uit een dubbele tussenwand. De holle ruimte ertussen kan worden opgevuld met zand, waardoor eventueel de weerstand tegen opdrijven worden vergroot. De ruimte bovenin tussen beide wanden wordt gebruikt als machineruimte. Hierin is onder meer de aandrijving gesitueerd.

In de deurkas is de breedte tussen de consoles 13 m. De voorzijde van de consoles zijn 1 m versprongen ten opzichte van de aanslagen op de voorwand. Hierdoor is aan weerszijde van de deur ter plaatse van de aanslagen 1 m speling aanwezig en met de deurbeplating 1,5 m. Onder in de deurkas op de vloer is er aan weerszijde minimaal 1,5 m ruimte aanwezig. Deze ruimte is nodig voor het kunnen uitvoeren van onderhoudswerkzaamheden en kleine reparaties aan de deur.

Een alternatief voor het in doorsnede B-B geschetste doorsnede is het toepassen van twee ‘‘losse’’ deurkassen.

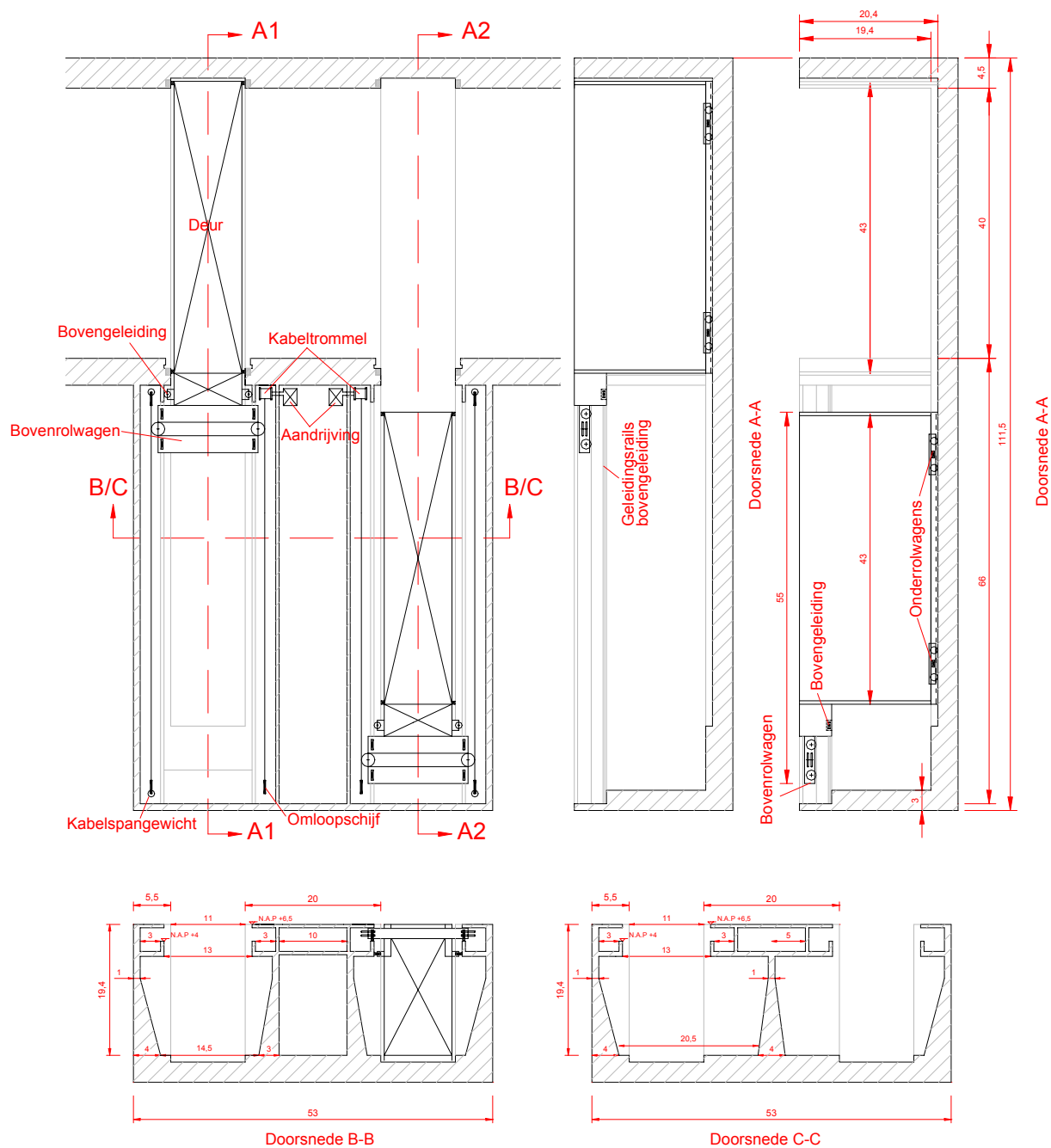
Overbrugging:

De overbrugging bestaat uit een rijdek dat verticaal kan op en neer bewegen. De breedte van de overbrugging zal gelijk zijn aan het rijdek over de deur en heeft een breedte van 13 m. De opleggingen zullen buiten of boven de trekkabels en de baan van de bovenrolwagen moeten komen te liggen. In bijlage H is ter illustratie een zeer eenvoudig ontwerp voorgesteld voor de overbrugging. Dit grove ontwerp is vervolgens in het hoofd ingepast, waarbij rekening is gehouden met het bewegingssysteem van de deur. Het inpassen van de overbrugging is alleen van toepassing voor het flexibele sluishoofd. Voor de andere twee hoofden kan de oeververbinding bestaan uit een beweegbare brug naast beide hoofden zoals in hoofdstuk 10 is beschreven.

In figuur 14.15 is de overbrugging over de deurkassen getekend. De brugconstructies worden met een hydraulisch systeem geheven zo hoog als nodig is om de deur bij het openen in de kas toe te laten. Het brugdek bevindt zich boven dekzerkniveau. Dit heeft enkele voordelen boven de plaatsing van het brugdek in de deurkassen zelf.

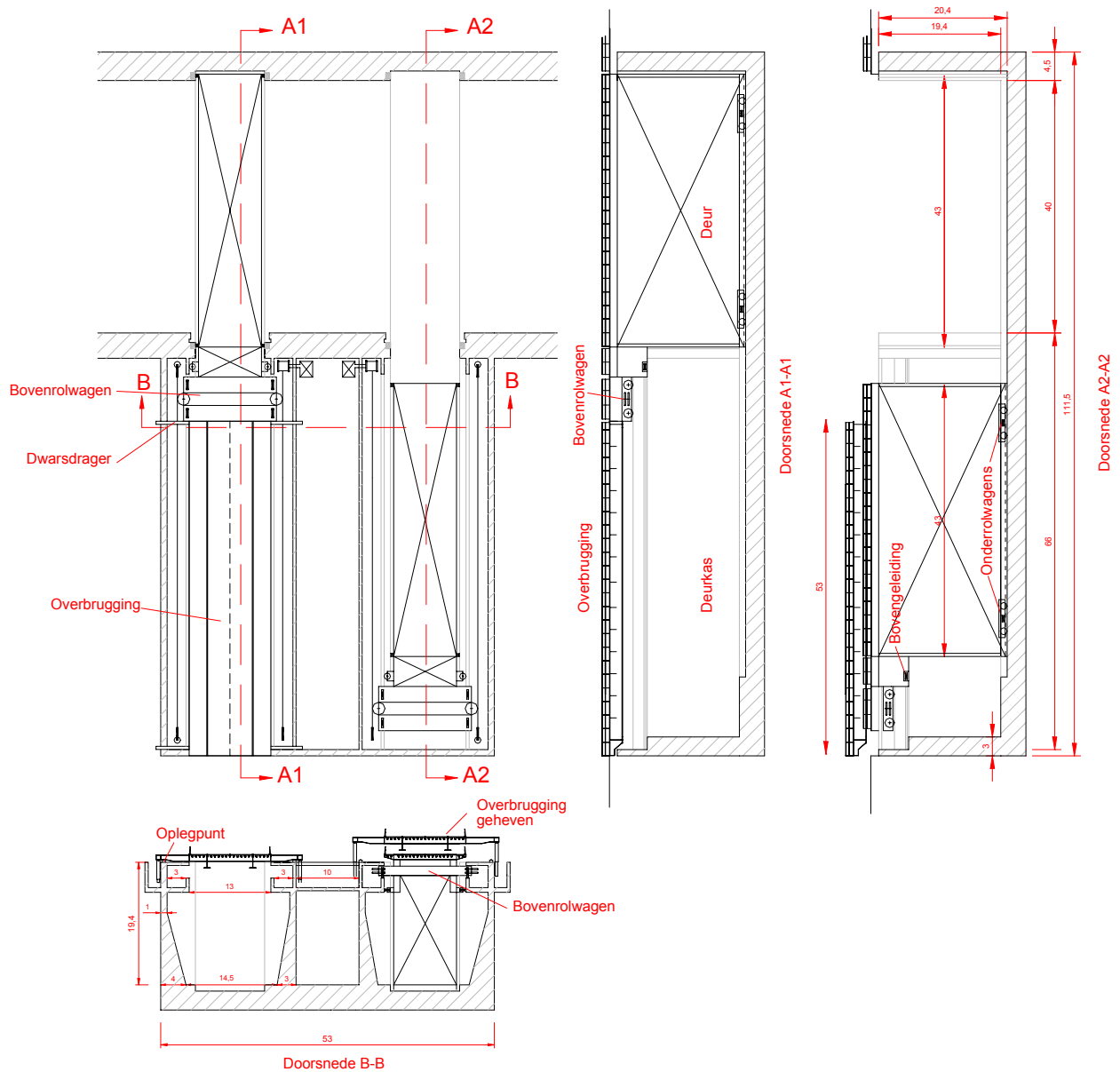
- Voldoende ruimte voor de trekkabels van de deuren.
- De overbrugging heeft geen invloed op de afmetingen van het hoofd. Voor de deurkassen kan gekozen worden voor de minimale breedte.
- Geen onderbreking van dak- en wandconstructie. De opleggingen zijn op de wanden gesitueerd, terwijl het hefmechanisme buiten de deurkassen kan worden geplaatst.

Inpassing van de deur met bewegingssysteem in het flexibel sluishoofd:



Figuur 14.14.

Inpassing overbrugging in het flexibele sluishoofd:



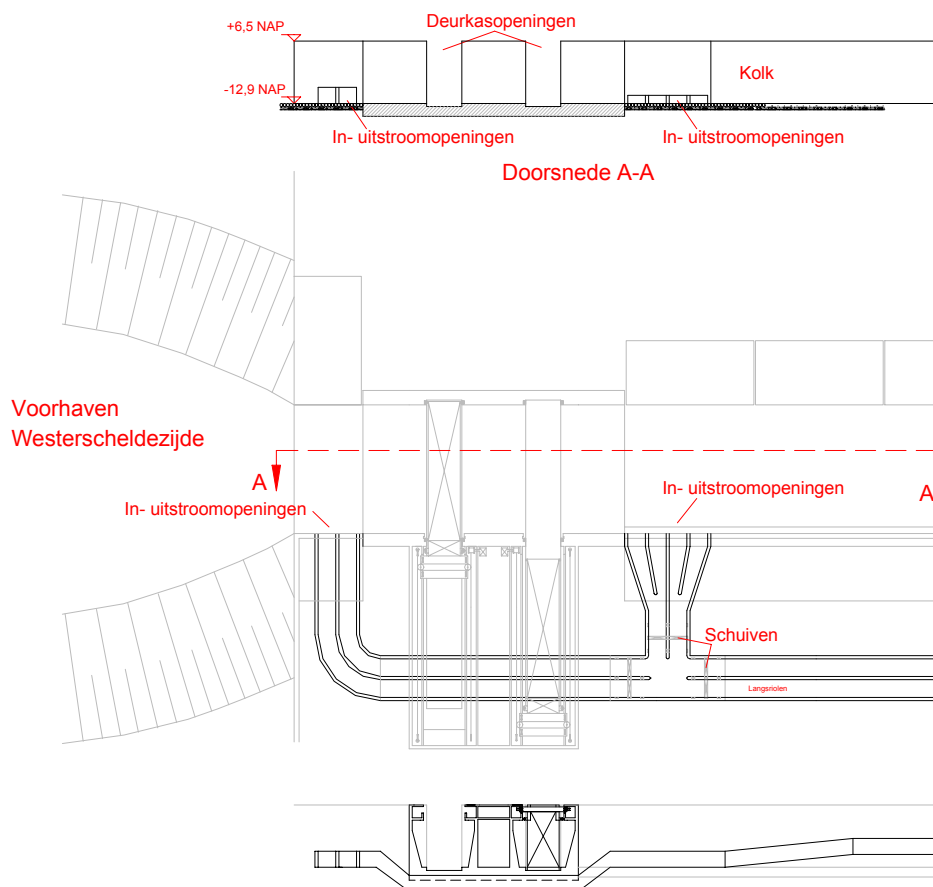
Figuur 14.15: Principe schets overbruggingsconstructie over deurkas.

In het bovenaanzicht is alleen de overbruggingsconstructie over de linker deurkas getekend. Het rijdek over de deur en de bovenrolwagen is niet getekend.

Inpassing van het vul- en ledigingsysteem:

In onderstaande figuur is de inpassing van het riolensysteem weergegeven. De riolen lopen onder het hoofd door zodanig dat deze bij verlenging van de deurkassen en verbreding van de doorvaartopening niet in de weg zitten. Hetgeen in hoofdstuk 13 aan de orde is gekomen.

De in- en uitstroom openingen bevinden zich direct boven de vloer. In de kolk wordt de vulstraal over meerdere openingen verdeeld om de hinder voor schepen in de kolk te beperken. Het diepste punt van het riool onder de deurkassen ligt ongeveer op -21 m N.A.P inwendig gemeten. Ter hoogte van de dwarsriolen en de schuiven ligt het riool op een diepte van $-12,9$ m N.A.P en is gelijk aan de ligging van de kolkvloer. Tussen beide dwarsriolen kan het riool hoger worden geplaatst om zo de grootte van de ontgraving te beperken. Hier ligt het riool hier op -9 m N.A.P, zodat tijdens maatgevend laagwater de bovenzijde zich nog juist onder het waterniveau bevindt. De natte doorsnede van het riool heeft een totale oppervlakte van 55 m^2 .



Figuur 14.16: Schetsontwerp riolen onder het buitenhoofd door.

14.10 Stabiliteit hoofd

Het hoofd als geheel moet onder elke omstandigheid binnen de gestelde eisen over voldoende stabiliteit beschikken. Het hoofd wordt hiertoe op de volgende punten gecontroleerd:

- Maximale belasting ondergrond, berekening fundering:
Maatgevend hoogwater + laag grondwaterniveau. De grootste belasting treedt op bij het buitenhoofd indien de deuren van het buitenhoofd zijn geopend. In de figuren in de bijlage zijn de belastingen schematisch weergegeven.
- Weerstand tegen afschuiven en kantelen:
 - a. Maatgevend hoogwater + lage kolkwaterstand + hoge grondwaterstand.
 - b. Hoge kolkwaterstand + maatgevend laag water + hoge grondwaterstand
- Opdrijven:

Maatgevend laagwater + hoge grondwaterstand. Een van de deuren is droog gezet voor reparatie/onderhoud.

Bij de berekeningen wordt uitgegaan van een vereenvoudigde vormgeving van het hoofd. Zo wordt het vul- en ledigingssysteem weggedacht. Ook is uitgegaan van afmetingen uit een eerder stadium, waarbij voor het hoofd over de volledige lengte een gelijke breedte is aangehouden en niet de breedten zoals in figuur 14.13 is weergegeven. In figuur in bijlage L.9 is de vereenvoudiging geschetst.

Om de aanwezige opwaartse waterdrukken te bepalen wordt eerst gekeken naar de noodzaak van het aanbrengen van onderloopschermen ter plaatse van de doorvaartopening. Doormiddel van een eenvoudig toetsing wordt gekeken of er gevaar bestaat voor zand meevoerende wellen die een gevaar opleveren voor de stabiliteit.

Globale toetsing met de regel van Bligh: $\Delta H_{crit} = L / c_{creep}$,

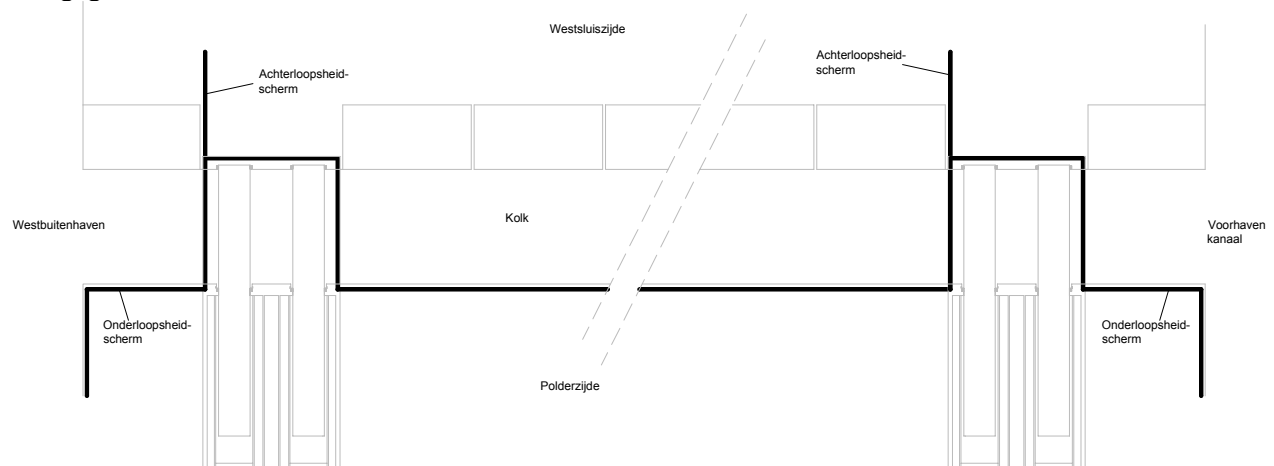
Waarin: L = leklengte, deze is hier de breedte van het hoofd = 40 m of 53 m.
 c_{creep} = creepfactor van Bligh, het hoofd wordt op een zandlaag gefundeerd, de waarde die aangehouden wordt is 15.
 ΔH_{crit} = toelaatbaar verval over hoofd.

$$\Rightarrow \Delta H_{crit} = 40/15 = 2,67 \text{ m} < \text{gemiddeld verval tijdens laagwater} = 4,09 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \Delta H_{crit} = 53/15 = 3,53 \text{ m} < 4,09 \text{ m}$$

Onder het hoofd worden ter voorkoming van onderloopsheid damwandschermen aangebracht. Aangezien de ondoorlatende leemlaag zich direct onder de zandlaag van de fundering aanwezig is, zullen de wanden hierin doorlopen en is de benodigde damwandlengte beperkt.

Een tweede reden voor het plaatsen van damwanden onder de doorvaartopening is het beperken van de opwaartse kracht. In onderstaande figuur is schematische de plaatsing van de damwanden weergegeven.



Figuur 14.17: Plaatsing damwanden.

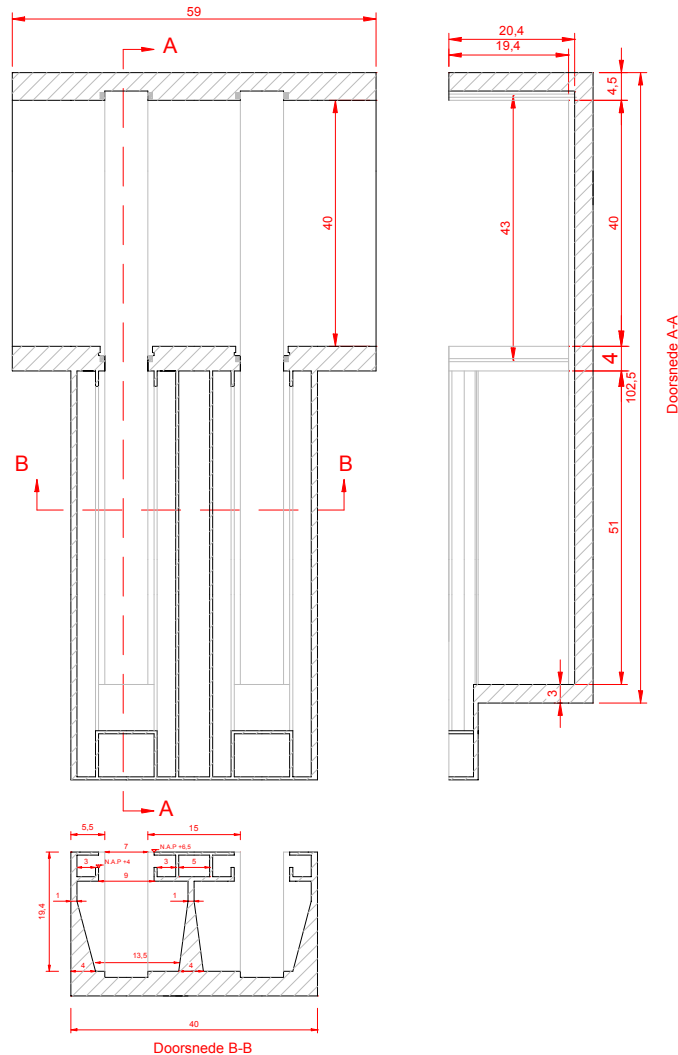
Door de aanwezigheid van de damwanden is onder het hoofd de opwaartse waterdruk gelijk aan het polderpeil. Hierdoor kan de benodigde vloerdikte beperkt blijven. Voor de stabiliteitsberekeningen zal eerst uit worden gegaan van een vloer dikte van 4 m.

Resultaten:

Er is gekeken naar de stabiliteit van het Panamaxsluis hoofd, gel.Cape-Size hoofd en flexibele sluishoofd. De aangenomen afmetingen van de hoofden zoals in figuren in bijlage L.9 is geschetst voldoen. De aangenomen vloerdikte van 4 m blijkt een goede schatting te zijn van de benodigde dikte, maar kan eventueel verkleind worden met maximaal een halve meter.

14.11 Schetsontwerp hoofden

Het hoofd van de flexibele sluis zoals hier is uitgewerkt is in feite een hoofd voor gelichterde Cape-Size met als verschil dat de deuren korter zijn en de doorvaartopening 40 m is in plaats van 60 m. In onderstaande figuren zijn de betonconstructies van de drie hoofden geschetst op basis van voorgaande berekeningen en bevindingen. In de tabellen 14.2, 14.3 en 14.4 zijn de benodigde hoeveelheden beton voor de drie hoofden bepaald. Aan de hand hiervan kunnen in hoofdstuk 17 de globale kosten van een flexibel hoofd worden geschat.

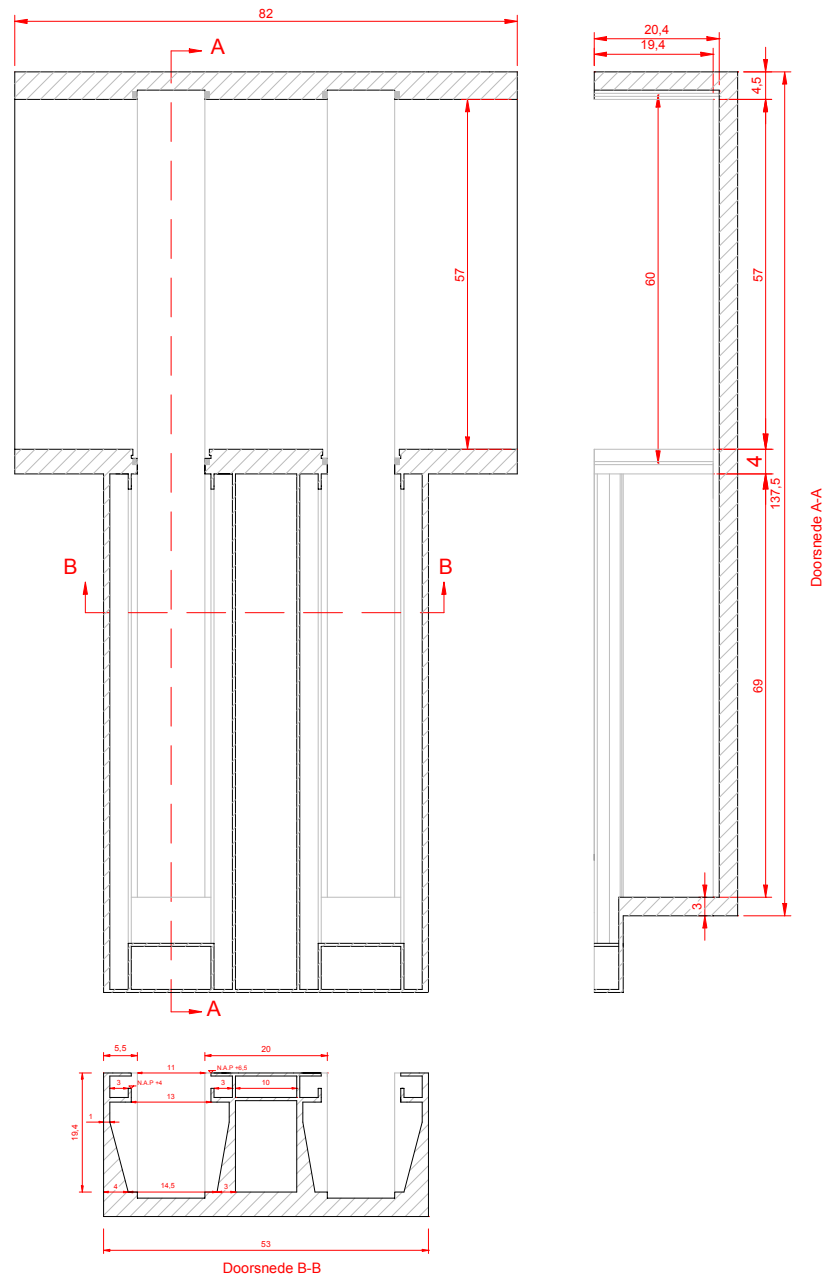


Figuur 14.18: Hoofd Panamaxsluis.

Hoeveelheden beton constructie hoofd Panamax sluis:

Element	Oppervlak doorsnede (m ²)	Lengte (m)	Volume (m ³)
Vloer:	-	-	19782
Onder deurniswand	-	-	$59 \times 4,5 \times 4 = 1062$
Doorvaartopening	-	-	$59 \times 40 \times 4 = 9440$
Deurkassen	-	-	$40 \times 58 \times 4 = 9280$
Wanden:			14897
Buitenwanden	$8 \times 1 + 11,4 \times ((4+1)/2) = 36,5$	$51 \times 2 = 102$	$36,5 \times 102 = 3723$
Tussenwand	$8 \times 1 + 11,4 \times ((4+1)/2) = 36,5$	51	$36,5 \times 51 = 1862$
Achterwand	$3 \times 19,4 = 58,2$	40	$58,2 \times 40 = 2328$
Voorwanden	$4 \times 19,4 = 77,6$	$3 \times 15 = 45$	$77,6 \times 45 = 3492$
Deurniswand	$4,5 \times 19,4 = 87,3$	40	$87,3 \times 40 = 3492$
Totaal volume			34679

Tabel 14.2: Hoeveelheden beton hoofd Panamax sluis.

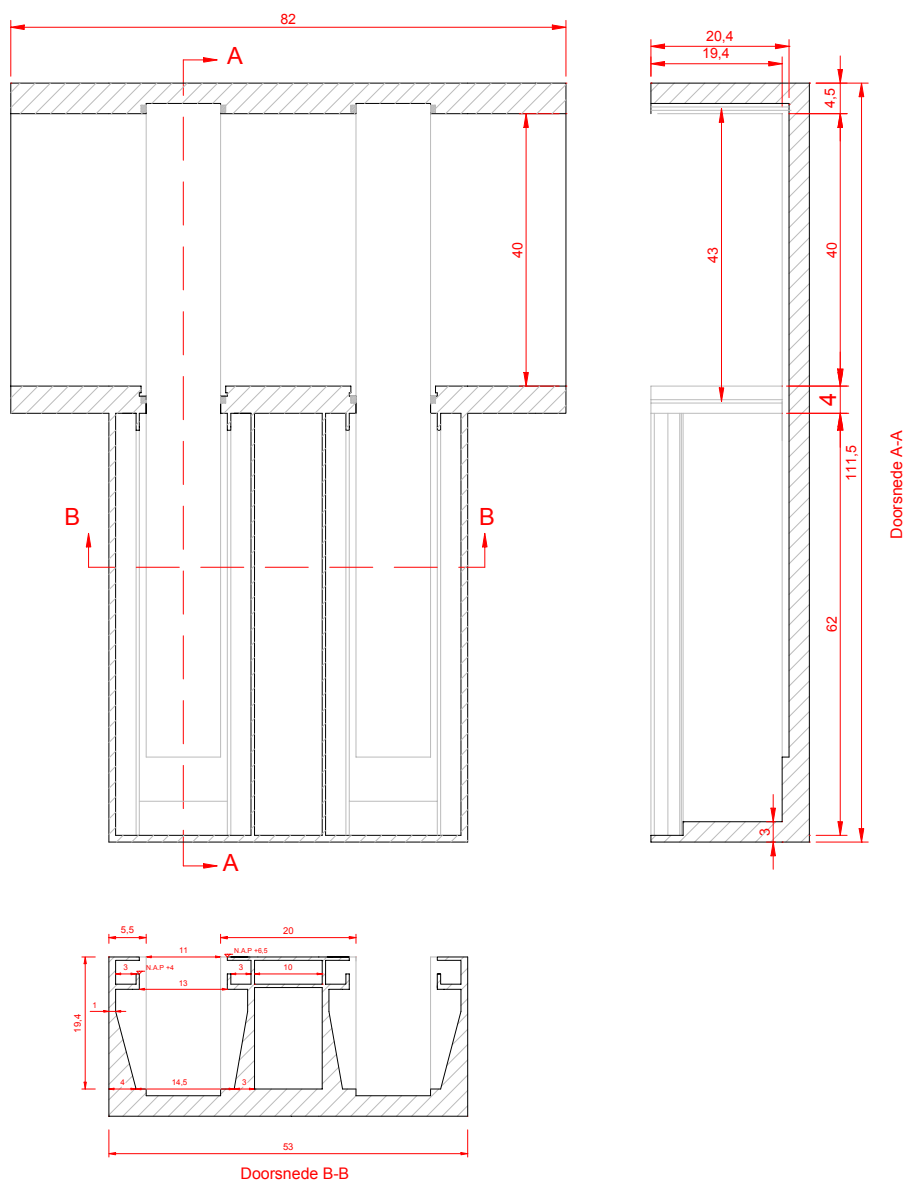


Figuur 14.19: Hoofd gelichterde Cape-Size sluis

Hoeveelheden beton constructie hoofd gelichterde Cape-Size sluis:

Element	Oppervlak doorsnede (m ²)	Lengte (m)	Volume (m ³)
Vloer:	-	-	37268
Onder deurniswand	-	-	82*4,5*4 = 1476
Doorvaartopening	-	-	82*60*4 = 19680
Deurkassen	-	-	53*76*4 = 16112
Wanden:			21655
Buitenwanden	$8*1+11,4((4+1)/2) = 36,5$	69*2 = 138	36,5*138 = 5037
Tussenwand	$8*1+11,4((3+1)/2) = 30,8$	69*2 = 138	30,8*138 = 4250
Achterwand	3*19,4 = 58,2	53	58,2*53 = 3085
Voorwanden	4*19,4 = 77,6	3*20 = 60	77,6*60 = 4656
Deurniswand	4,5*19,4 = 87,3	53	87,3*53 = 4627
Totaal volume			58923

Tabel 14.3: hoeveelheden beton hoofd gelichterde Cape-Size sluis.



Figuur 14.20: Hoofd flexibele sluis.

Hoeveelheden beton constructie hoofd flexibele sluis:

Element	Oppervlak doorsnede (m ²)	Lengte (m)	Volume (m ³)
Vloer:	-	-	28800
Onder deurniswand	-	-	$82 \cdot 4,5 \cdot 4 = 1476$
Doorvaartopening	-	-	$82 \cdot 40 \cdot 4 = 13120$
Deurkassen	-	-	$53 \cdot 67 \cdot 4 = 14204$
Wanden:			19126
Buitenwanden	$8 \cdot 1 + 11,4 \cdot ((4+1)/2) = 36,5$	$61 \cdot 2 = 122$	$36,5 \cdot 122 = 4453$
Tussenwand	$8 \cdot 1 + 11,4 \cdot ((3+1)/2) = 30,8$	$61 \cdot 2 = 122$	$30,8 \cdot 122 = 3758$
Achterwand	$8 \cdot 1 + 11,4 \cdot ((3+1)/2) = 30,8$	53	$30,8 \cdot 53 = 1632$
Voorwanden	$4 \cdot 19,4 = 77,6$	$3 \cdot 20 = 60$	$77,6 \cdot 60 = 4656$
Deurniswand	$4,5 \cdot 19,4 = 87,3$	53	$87,3 \cdot 53 = 4627$
Totaal volume			47926

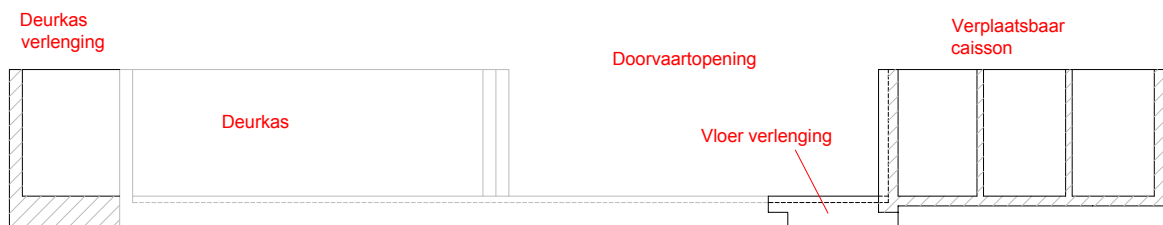
Tabel 14.3: Hoeveelheden beton hoofd flexibele sluis.

14.12 Verbreding van doorvaartopening hoofd

De constructie van de flexibele sluishoofd is in principe gelijk aan een hoofd dat normaal zou worden toegepast in een sluis waarbij verbreding achteraf niet noodzakelijk is, met uitzondering van het verloop van de omloopriolen. Het hoofd bestaat uit één samenhangend en constructief samenwerkend geheel waarbij verandering van de hoofdafmetingen zonder sloop niet mogelijk is. In dit opzicht voldoet het hoofd dus niet geheel aan de eerder gestelde eisen dat verbreding op een relatief eenvoudige wijze zonder grootschalige sloop uit te voeren is. Het verlengen van de deurkassen zal niet op veel problemen stuiten. De bouw zal in den droge worden uitgevoerd. Hiertoe dient een bouwkuip achter de deurkassen gerealiseerd te worden. Het grootste knelpunt voor de uitbreiding vormt de deurniswand. In de volgende paragraaf komt een mogelijke oplossing hiervoor aan de orde.

14.13 Deurniswand uitgevoerd als caisson

In deze paragraaf wordt een alternatief voor de deurniswand gegeven. Hierbij wordt de vaste wand vervangen door een verplaatsbare wand in de vorm van een caisson. Net als bij de kolk kan de verbreding plaatsvinden door de caisson te laten opdrijven en op de nieuwe locatie weer af te laten zinken en ballasten. De vloer wordt verlengd door middel van een prefab vloerdeel welke aan de vloerzijde op een aan de vaste vloer gestorte neus wordt opgelegd om ongelijke zettingen tussen de twee vloerdelen te voorkomen. In onderstaande figuur is het principe hiervan geschetst.



Figuur 14.21: principe van een caisson als verplaatsbare deurkaswand.

Het verschil tussen de caissons toegepast bij de kolk en dit caisson is de aanwezigheid van de deurnis met de deuraanslag waartegen de deur wordt aangedrukt. De caisson moet deze deurbelasting kunnen opnemen zonder af te schuiven. De vloerverlenging bestaat uit geprefabriceerde vloerplaat. Om hoogteverschil tussen de bestaande vloer en de nieuwe vloerplaat te voorkomen is de vloerplaat op een neus aan de vaste vloer opgelegd.

In de hierna volgende beschrijving zal slechts kort ingegaan worden op de constructie zoals bovenstaand is geschetst omdat de haalbaarheid er van beperkt zal zijn.

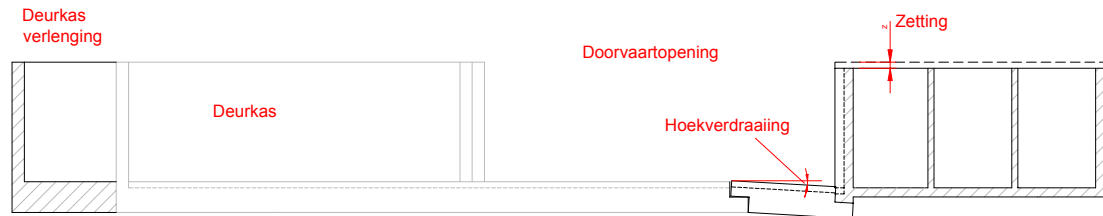
De volgende elementen voor het ontwerp van de verplaatsbare deurniswand worden onderscheiden:

- De verplaatsbare 'deurnis'caisson.
- De vloer verlenging.
- Deurrails en geleiding.
- Vaste vloer hoofd.
- Damwandscherm en afdichting.
- Fundatie.

Deze elementen zijn sterk aan elkaar gerelateerd. De caisson moet aansluiten op de vaste vloer en na verlenging op de vloerverlenging. De vloerverlenging sluiten aan op de caisson en op de vaste vloer. Tussen de vaste vloer en de vloerverlenging mag geen hoogteverschil ontstaan. De deurrails en geleiding moet doorgetrokken worden in de vloerverlenging. Het plaatsen van de vloerverlenging zal zeer nauwkeurig moeten zodat geen afwijkingen optreden en vastlopen en hoge weerstanden bij het bewegen van de deur worden voorkomen.

Ter voorkoming van onderloopsheid en achterloopsheid zijn damwandschermen aangebracht. Deze zal nadat de caisson is verplaatst moeten worden aangebracht. De vloer zal hier op moeten aansluiten wat een zeer nauwkeurige plaatsing van de damwanden en vloerdeel vereist.

Gevaar voor ontoelaatbare hoekverdraaiing van de vloerverlenging is aanwezig door zettingen. De deur kan hier gaan klemmen of vastlopen.



Figuur 14.22: Zetting van vloerverlenging

Het vloerdeel wordt elders geprefabriceerd. Door middel van kranen zal de vloer worden geplaatst. Het eigengewicht van de vloer zal echter groot zijn door de forse afmetingen en zal daarom niet uit één geheel kunnen bestaan. Het eigengewicht (boven water) is dan bij een vloerdikte van 3,5m en een verbreding van 17 m: $3 \cdot 17 \cdot 82 \cdot 24 = 100368 \text{ kN} = 10037 \text{ ton}$. De grote drijvende bokken hebben een maximale hijscapaciteit van ongeveer 3000 ton (bron: www.Smit-tak.com), waardoor de vloer uit meerdere delen kleine delen zal moeten bestaan. Dit komt de stabiliteit van de constructie echter niet ten goede en zal extra aandacht moeten worden besteed aan de fundering.

De haalbaarheid van een dergelijke constructie wordt klein geacht en zal veel onderzoek vergen.

14.14 Conclusies ontwerp hoofd flexibele sluis

In dit hoofdstuk is gekeken naar de constructie van het sluishoofd. Hierbij zijn de globale afmetingen en dimensies van een Panamax sluishoofd, een gelichterde Cape-Size sluishoofd en een flexibele sluishoofd bepaald. De constructieve afmetingen van de flexibele sluis komen overeen met die van een gelichterde Cape-Size met uitzondering van de breedte van de doorvaartopening en lengte van de deurkassen. Dit is ook logisch aangezien op het hoofd na verbreding dezelfde belastingen, met name de deurbelastingen, werken en er dezelfde eisen worden gesteld. Andere verschillen zijn de inpassing van het bewegingssysteem, de overbrugging en het vul- en ledigingssysteem, waardoor deze in geval van verlenging behouden kunnen blijven. Binnen dit afstudeerwerk is geen goede oplossing gevonden om met name de verbreding van de doorvaartopening eenvoudig te kunnen uitvoeren. Sloop van deurniswand en achterwand van deurkassen is hierdoor noodzakelijk.

15 Ontwerp flexibele sluis

15.1 Overzicht van de componenten en afmetingen

Aan de hand van de uitwerking van de diverse sluiscomponenten wordt hier een ontwerp gepresenteerd van de gehele sluis. Op basis hiervan zijn de kosten voor de flexibele sluis bepaald.

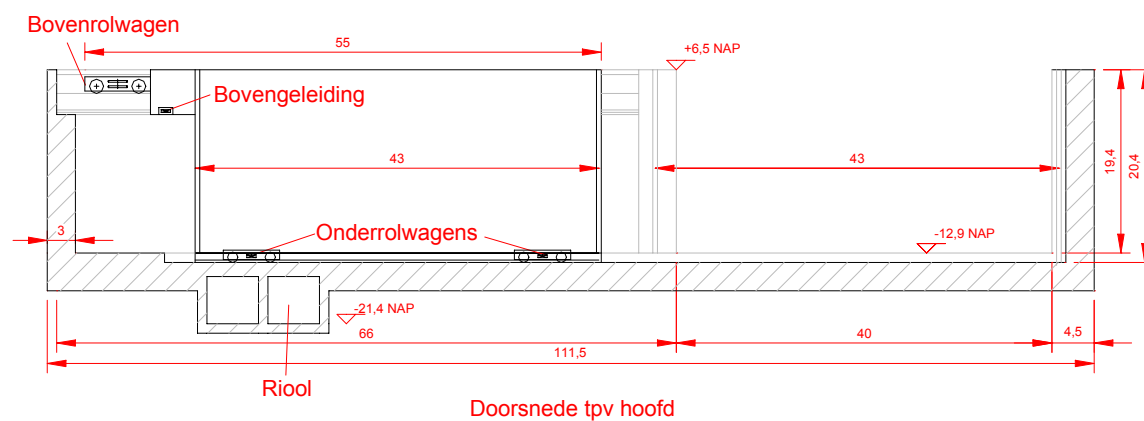
De voornaamste componenten en afmetingen zijn:

- Binnen- en buitenhoofd:
 - De doorvaartopening is 40 m breed en 82 m lang.
 - De deurniswand heeft een maximale dikte van 4,5 m en is 82 m lang.
 - De voorwanden aan weerszijde van deurkasopeningen zijn 20 m lang en 4 m dik.
 - De deurkassen zijn 67 m lang.
 - De vloerdikte is 4 m.
- De kolkconstructie heeft een lengte van 414 m en is opgebouwd uit:
 - Verplaatsbare wand: 10 Caissons: 40 m lang, 20 m breed en 22,5 m hoog.
 - Vaste wand: L-wand met een wandhoogte van 19,4 m, een vloerlengte 23 m.
 - Kolkvloer: bestaande uit stortsteen op een filterconstructie.
- 4 Deuren:
 - Deurlengte: 43 m.
 - Deurbreedte: 10 m.
 - Deurhoogte: 19,4 m.
 - Deur is voorzien van een rijdek met een breedte van 13 m.
- Deurgeleiding en bewegingssysteem:
 - Twee onderrolwagens.
 - Bovenrolwagen met omloopschijven welke tevens is voorzien van rijdek.
 - Eenzijdige aandrijving welke nabij de voorwand tussen beide deurkassen in is gesitueerd.
- Vul- en ledigingssysteem en zout/zoetscheiding:
 - Oppervlak riooldoorsnede 55 m².
 - Systeem bestaat uit langsriool en twee dwarsriolen met diep gelegen in-uitstroomopeningen in de wand in de kolk. Aan de kanaalzijde sluiten de openingen aan op de zoutput in de voorhaven.
 - Luchtbellenscherm nabij de vier deuren.
- 4 Overbruggingsconstructies:
 - Deurkassen zijn voorzien van hefbruggen welke aansluiten op het rijdek van de bovenrolwagen. De rijdekken/ hefbruggen hebben een breedte van 13 m.

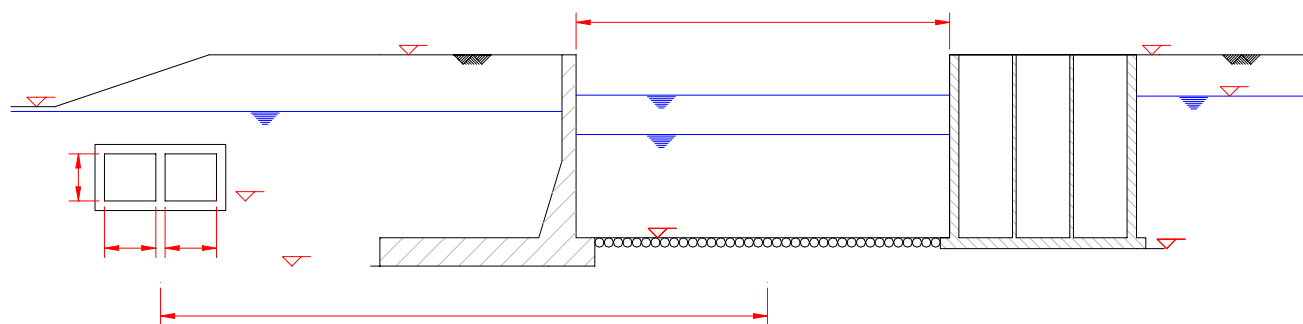
15.2 Overzichtstekening flexibele sluis

Figuur flexibele sluis (A3 formaat)

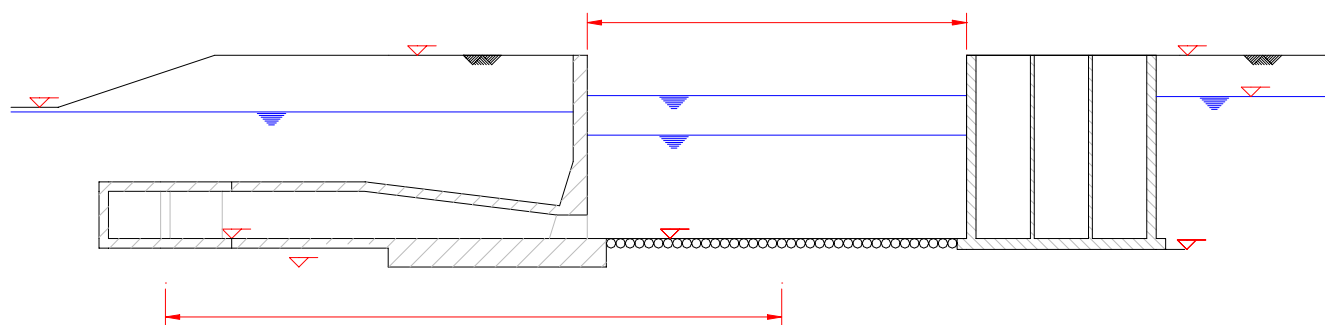
Doorsneden flexibele sluis



Figuur 15.2: doorsnede ter plaatse van het hoofd



Figuur 15.3: Doorsnede kolk



Figuur 15.4: Doorsnede ter plaatse van dwarsriool.

16 Uitvoering en inpassing van de sluis

In dit hoofdstuk worden de uitvoeringsmogelijkheden van de nieuw te bouwen sluis bekeken. De bedoeling van dit hoofdstuk is aan te geven dat er meer uitvoeringsmethoden zijn dan alleen de bouw in één grote bouwput waarvan uit is gegaan. In dit hoofdstuk zal ingegaan worden op de bouwmethoden en de constructiewijzen die mogelijk zijn. Hierbij worden alternatieven gegeven welke toepasbaar zijn voor de belangrijkste componenten voor de uitvoering van de kolk en de hoofden. Er zijn vele oplossingen mogelijk voor de bouw van de sluis. De keuze voor een methode wordt bepaald door diverse aspecten zoals de randvoorwaarden, het programma van eisen, bouwtijd, kosten, enz. De constructie van de sluis en de uitvoering zijn nauw met elkaar verbonden, de uitvoering is in grote mate bepalend voor de constructie. Er wordt in dit kader geen definitieve keuze gemaakt voor een van de uitvoeringsmethoden. Om redenen dat het uitgangspunt is uitvoering in een droge bouwput. Op deze methode wordt hier uitgebreider ingegaan en zal gekeken worden naar de inpassing in de omgeving.

16.1 Uitvoeringsmethoden

De constructie van de hoofden zullen in hoofdzaak in beton worden uitgevoerd. De bouw hiervan kan vrijwel alleen in een droge situatie plaatsvinden. De kolk hoeft niet noodzakelijkerwijs in beton uitgevoerd te worden, een combinatie met staal is ook denkbaar. Voorbeelden zijn de hooggefundeerde L-wand en de combiwand. Er worden 6 verschillende methoden bekeken, welke in meer of mindere mate geschikt zijn als bouwmethode:

- In droge bouwput.
- In bouwkuip.
- Beperkte ontgraving.
- In den natte.
- Pneumatisch afzinken.
- Prefab.

Bij de eerste vier vindt de bouw op locatie plaats. Bij uitvoering in een bouwkuip en bouwput wordt de constructie op zijn definitieve plek gerealiseerd. Bij pneumatisch afzinken wordt de constructie in verticale richting verplaatst. Bij prefab worden delen van de constructie niet op locatie gebouwd en is dus transport naar de definitieve locatie noodzakelijk.

Niet elke bouwmethode kan voor de bouw van het hoofd of de kolk worden toegepast. Hierna volgend zullen per bouwmethode de toepasbaarheid worden weergegeven en de bijbehorende constructie.

16.2 Uitvoering in droge bouwput

De methode is geschikt voor zowel de kolk als de hoofden. De gehele sluis wordt in één grote bouwput gebouwd. De bouwput bestaat uit een ontgraving begrensd door taluds. De ontgraving kan plaatsvinden door middel van baggeren of door droog grondverzet. De bouw van de constructie vindt plaats in een geheel droge bouwput. Hiertoe wordt de grondwaterstand met behulp van bemaling verlaagd. Bij uitvoering in een bouwput zullen zowel de hoofden als de kolk uit betonconstructies bestaan.

Constructievormen binnen bouwput:

a. Bakconstructie.

De bakconstructie van de hoofden worden uitgevoerd in beton bestaande uit een op staal of palen gefundeerde betonconstructie voorzien deuren waarbij de afmetingen van de betonmolen beperkt worden door de mogelijkheden om schade door krimpverschijnselen te voorkomen. Door middel van tandconstructies kunnen de molen aan elkaar verbonden worden. Een bakconstructie voor de kolk wordt in het algemeen wel toegepast maar is met het oog op de uitbreiding niet mogelijk.

Er zijn twee vormen mogelijk, hierbij is de constructie van het hoofd zwaarder uitgevoerd dan de kolk:

- Een gewapend betonnen monolieten bak (figuur 9.1). Wanden en bodem vormen één geheel, waardoor een vormvaste constructie ontstaat. Dit is met name van belang voor de afsluitmiddelen en bewegingswerken. De wanden van de kolk worden vaak verjongd naar

boven toe. Voor de vloer is dit ook mogelijk, maar in de praktijk wordt de vloer alleen in een constante dikte uitgevoerd.

- Een gewapend betonconstructie met één of twee scharnieren (figuur 9.2). De scharnieren worden toegepast om de grootte van de storten te beperken en het voorkomen van spanningen bij ongelijke zettingen. Daarnaast worden de gevolgen van hydratatiewarmte en krimp beperkt. Zowel kolk als hoofden kunnen op deze wijze uitgevoerd worden. De Westsluis is op deze wijze uitgevoerd waarbij één scharnier is toegepast, bij zowel kolk als de hoofden. Zowel wand- als vloerdikte worden aangepast aan de optredende momenten en dwarskrachten

b. Open constructie, alleen geschikt voor de kolk.

De kolk heeft in plaats van een dichte vloer een open vloer bestaande uit een steenbestorting op een filterconstructie. De wanden kunnen bestaan uit:

- Gewapend betonnen L-wanden (figuur 9.7).
- Caissons (figuur 9.11)
- Taluds (figuur 9.9)
- Terra armée wanden.

Het is bij uitvoering in een bouwput niet logisch te kiezen voor een damwand als kolkwand en wordt daarom ook niet als optie genoemd.

Het hoofd is niet uit te voeren met een open bodem in verband met de aanwezigheid van de deur en bewegingswerken. Hiervoor is een stijve constructie gewenst en de deur moet goed aansluiten op de vloer en wanden om lekken langs deur te voorkomen.

16.2.1 Afmetingen bouwput

De bouwput bestaat uit een ontgraving begrensd door taluds. Hierdoor is een groot oppervlak aan ruimte noodzakelijk. Op de locatie ten zuidwesten van de Westsluis is hiervoor de benodigde ruimte aanwezig. De bouwput wordt ten zuidwesten van de Westsluis gesitueerd, figuur 16.3. Het wegverkeer over de doorgaande wegen moet tijdens de uitvoering doorgang blijven vinden. Wel zullen een aantal wegen hiertoe moeten worden omgelegd.

Afmetingen bouwput:

De lengte en breedte van de bouwput wordt bepaald door de afmetingen van de te bouwen constructie en de benodigde ruimte naast de constructie om het bouwen mogelijk te maken.

De lengte van bouwput bodem:

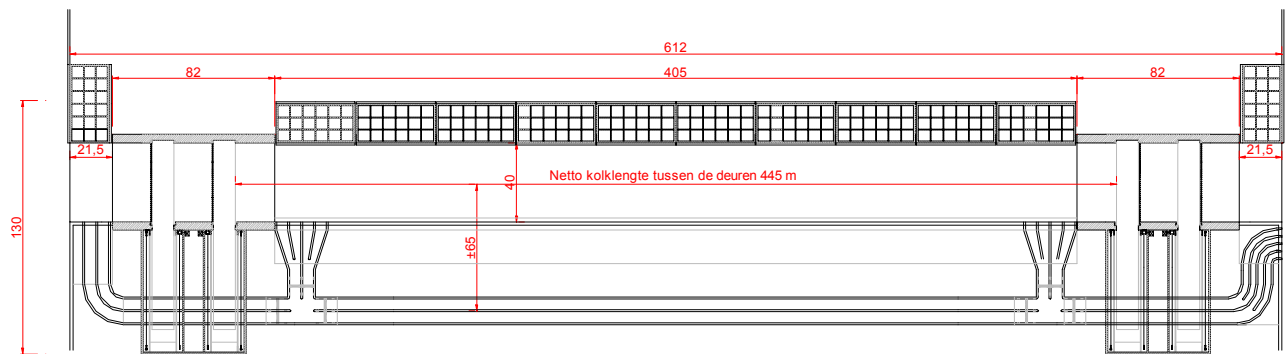
- Lengte sluisconstructie:
 - Kolk lengte: 405 m.
 - Hoofdlengte: $2 \times 82 = 164$ m.
 - In- en uitstroomopeningen voorhavens en aansluiting op voorhavens: $2 \times 22 = 44$ m.

De lengte van de bouwput op de bodem wordt dan 613 m. De totale lengte van de put komt op $613 + 2 \times 3 \times 20 = 733$ m, inclusief taluds met een helling van 1:3 bij een ontgravingsdiepte van 19 m beneden N.A.P.

De breedte van de bouwput:

- Constructie breedte:
 - Tpv hoofd: 130 m.
 - Tpv kolk inclusief riool 115 m.

Inclusief taluds komt de breedte op $130 + 3 \times 20 + 3 \times 14 = 250$ m.



Figuur 16.1: Afmetingen sluis

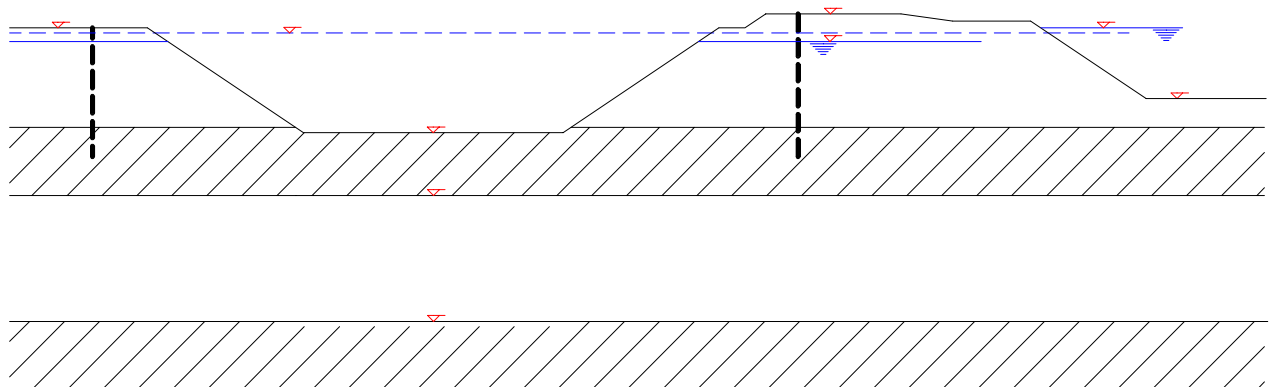
Voor de bouwput is ter vereenvoudiging uitgegaan van een rechthoekige bouwput, met afmetingen van 613 m en 130 m op de bodem. Inclusief taluds, 733 m lang en 250 m breed. In werkelijkheid zal de put ter plaatse van de hoofden iets breder zijn en langs de kolk smaller.

16.2.2 Bemaling

Voor het verkrijgen van een droge bouwput zijn de volgende oplossingen mogelijk:

- Bemaling in combinatie met retourbemaling (verplicht).
- Aanbrengen bentonietschermen of damwanden rond bouwput tot in ondoorlatende laag en leeg pompen (figuur 16.2). Hierdoor kan permanente bemaling achterwege worden gelaten. Wel is bemaling nodig zijn om te voorkomen dat de afsluitende laag gaat opbarsten. Ook hier moet retourbemaling toegepast worden.

Het te bemalen grondwater zal aanzienlijk zijn indien geen afscherming van de omgeving wordt toegepast. De onderkant van de constructie van het hoofd komt op ongeveer 17 à 18 m beneden N.A.P. te liggen. Het grondwater zal dan met meer dan 18 meter verlaagd moeten worden om een droge bouwput te creëren. Aan de hand van het bodemprofiel kan een schatting van de te onttrekken hoeveelheden grondwater worden gemaakt. Onderstaand is de opbouw ter plaatse geschematiseerd.



Figuur 16.2: Grondprofiel ter plaatse van bouwlocatie.

De ondoorlatende leem/kleilaag bevindt zich op een diepte van ongeveer 18 m beneden N.A.P. De laagdikte is gemiddeld 13 m. Op 55 m beneden N.A.P. bevindt zich een tweede dikke afsluitende laag. Tussen deze 2 lagen in bevindt zich een zandlaag met een dikte van 24 m. Om de put toegankelijk te maken voor materieel en ten behoeve van de fundering wordt een zandlaag aangebracht met een dikte van zeker 1 m. De put wordt dan tot een diepte van 19 m afgegraven tot in de ondoorlatende laag. Het kanaal staat niet in verbinding met de tussenliggende zandlaag.

Het grondwaterpeil zal verlaagd moeten worden tot op de ondoorlatende laag, in de zandlaag onder deze ondoorlatende laag zal een spanningsverlaging moeten worden gerealiseerd om opbarsten van de putbodem te voorkomen.

De stijghoogte van het grondwater in de tussenliggende zandlaag is $-0,5$ m beneden N.A.P. De opwaartse waterdruk onder de ondoorlatende laag is dan 300 kN/m^2 . De dikte van de ondoorlatende laag in de bouwput is 12 m. De neerwaartse belasting ($\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$) is 228 kN/m^2 . De maximale stijghoogte mag dan $19,4$ m ($\gamma = 1,2$) oftewel de stijghoogte moet met $30,5 - 19,4 = 14,4$ m verlaagd worden.

Aangenomen wordt dat het volkomen spanningswater betreft zodat het onttrekkingsdebiet met de volgende formule berekend kan worden:

$$H - h = -\frac{Q}{2\pi kD} \left(\ln \frac{r}{R} \right)$$

Hierin is: $H-h = 14,4$;
 k = doorlatendheid van de grond. Deze varieert voor de zandlaag van 4 tot 6 m/d , als k -waarde wordt 10^{-4} aangehouden;
 D = dikte van de watervoerende laag, deze is 24 m;
 r = straal bouwput bodem, deze is 313 m;
 R = de invloedsafstand van de bemaling, hiervoor wordt 1000 m aangehouden.

Ingevuld:

$$14,4 = -\frac{Q}{2\pi * 10^{-4} * 24} \left(\ln \frac{313}{1000} \right)$$

$$Q = 0,187 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Per uur is het debiet $Q = 673 \text{ m}^3/\text{h}$, dit is met een aantal rond de put te plaatsen onderwaterpompen een te bemalen hoeveelheid.

Indien niet gekozen wordt voor een afscherming van de omgeving zal het te bemalen debiet sterk stijgen aangezien de bovenste zandlaag in verbinding staat met een voedende grens (kanaal). Bij toepassing van een afscherming is het te bemalen debiet gelijk aan het bovenstaande vermeerderd met het éénmalig leeg pompen van de put. In de put kan met behulp van een vacuumbemaling lekwater en neerslag worden weggepompt.

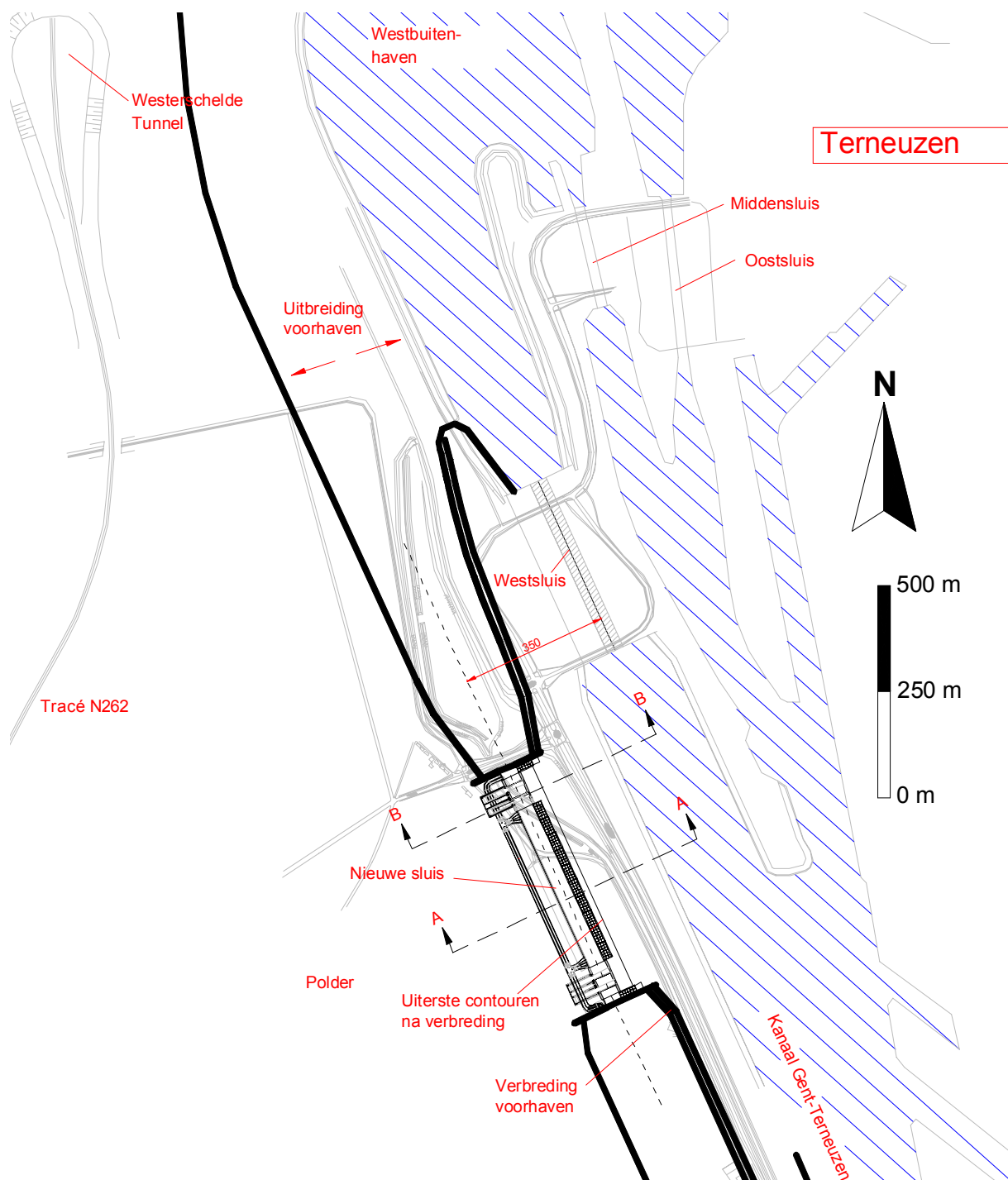
16.2.3 Inpassing

De as van de nieuwe sluis is evenwijdig aan die van de Westsluis gesitueerd. Bij de bepaling van de afstand tussen as Westsluis en as Nieuwe sluis moet meegenomen worden:

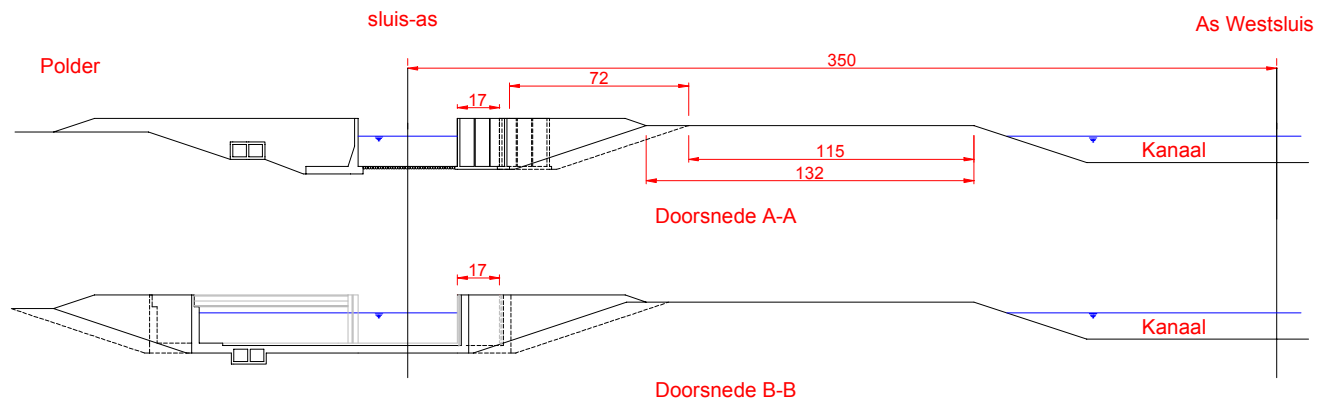
- De bouwput/sluisbreedte.
- De weginfrastructuur.
- De verbreding van de sluis en
- De breedte van de toegangskanaal/voorhaven van de nieuwe sluis en de verbreding ervan.
- Indien afscherming van de bouwput wordt toegepast zullen deze schermen op enige afstand van de bouwput worden aangebracht. Tussen het kanaal en de bouwput moet hier voor voldoende ruimte aanwezig zijn.

Uit eerdere ontwerpen voor een sluis van gelichterde Cape-Size formaat volgt een onderlinge as afstand van 350 m. Ook voor de flexibele sluis wordt deze waarde aangehouden. In onderstaande figuren is de positie van de nieuwe sluis ten opzichte van de Westsluis getekend en zijn twee dwarsprofielen over de sluis geschetst. Daarnaast is de ruimte benodigd voor de verbreding gestippeld

weergegeven. Er is voldoende ruimte aanwezig tussen de het kanaal en de nieuwe sluis om de uitbreiding mogelijk te maken.



Figuur 16.3: Inpassing van de flexibele sluis en voorhaven in de omgeving.



Figuur 16.4: Dwarsdoorsneden over sluis.

16.2.4 Uitvoering in bouwkuip.

De bouwkuip wordt gevormd door damwanden. De verticale wand vormt de horizontale begrenzing en wordt met name toegepast als de beschikbare ruimte beperkt is. De damwanden zorgen voor een grond- en waterdichte verticale afscherming. De volgende kuipoplossingen zijn mogelijk:

- Dikke onderwaterbetonvloer. Het gewicht van de vloer moet groter zijn dan de opwaartse druk van het grondwater. In dit geval zal een zeer dikke vloer van minstens 15 m noodzakelijk zijn. Dit betekent ook dat er zeer hoge wanden noodzakelijk zijn van meer dan 30 meter, die de grond over een hoogte van 30 meter moeten keren. Dit zal leiden tot zeer zware profielen en het toepassen van een (dure) combiwand zal noodzakelijk zijn.
- Dunne onderwaterbetonvloer met trekpalen. Deze trekpalen zullen door de ondoorlatende laag heen geslagen moeten worden om het grondgewicht er onder te kunnen activeren ter voorkoming van het opdrijven. De te keren grondhoogte na ontgraven van de kuip zal ongeveer 20 meter (17 m + ongeveer 3 m onderwaterbeton) zijn.
- Damwanden laten doorlopen tot in ondoorlatende laag. De ondoorlatende laag is echter onvoldoende dik om opbarsten te voorkomen. Daarom moet bemaling worden toegepast om de druk onder deze laag te verminderen. Er is een waterstandsverlaging noodzakelijk van 10 meter. Ook hier is de te keren hoogte al snel 18 meter.

Constructie hoofd en kolk:

Binnen de bouwkuip kunnen de diverse gewapend betonnen constructies worden gerealiseerd. In geval van een bouwkuip zal de constructie van het hoofd bestaan uit een gewapend betonnen monoliet. Eventueel is het mogelijk de onderwaterbetonvloer als onderdeel van de (vloer)constructie te laten fungeren.

Voor de kolk zijn de L-wand en de caissonwand de constructievormen die binnen de droge bouwkuip gerealiseerd kunnen worden.

Een alternatief voor damwanden is het toepassen van diepwanden van beton. Deze kunnen mogelijk een constructief onderdeel vormen van de constructie.

16.2.5 Gedeeltelijke ontgraving en beperkte onttrekking

De grondwaterstandsverlaging en de grootte van de ontgraving kan beperkt worden door een deel van de constructie in den natte uit te voeren en de kolkwand op te bouwen met damwanden (combiwand) of betonnen diepwanden. Deze methode is alleen toepasbaar voor de bouw van de kolkwanden. De volgende alternatieven zijn mogelijk:

- Dam- of diepwand (verankerd) met dikke onderwaterbetonvloer (figuren 9.4 en 9.5).
- Dam- of diepwand (verankerd) met dunne onderwaterbetonvloer met trekpalen (figuren 9.4 en 9.5).
- Dam- of diepwand (verankerd) met open bodem, dus een bodem bestaande uit een steenbestorting op een granulairfilter (figuren 9.4 en 9.5).

- Hooggefundeerde L-muur op palen en dam- of diepwand. Ook hier kan de vloer open dan wel gesloten zijn door middel van respectievelijk steenbestorting, dikke onderwaterbetonvloer of een dunne onderwaterbetonvloer met trekpalen (figuur 9.6).

In dit geval is het alleen mogelijk een open vloer toe te passen in verband met de mogelijkheid van een toekomstige verbreding.

16.2.6 Uitvoering in den natte

Uitvoering in den natte komt alleen voor de kolk in aanmerking. De kolk bestaat uit taluds (figuur 9.8). De kolk wordt in zijn geheel in den natte ontgraven. De oever- en bodembescherming en de geleidewerken kunnen eveneens in den natte worden aangebracht en geheid. Het grote nadeel van een groene kolk is het reeds genoemde grote kolkvolume, waardoor o.a de schuttijd toe neemt en/of een vul- en ledigingssysteem met een grotere capaciteit noodzakelijk is. Daarnaast nemen de taluds veel ruimte in. Deze nadelen zijn te beperken door taluds te combineren met een verticale wand, welke lichter uitgevoerd kan worden dan de eerder genoemde damwanden (figuur 9.10)

16.2.7 Prefabricage

De bouw van een sluis vindt tot op heden vrijwel geheel plaats op de locatie zelf. Prefabricage komt weinig voor, met uitzondering van de onderdelen als de deuren en de bewegingswerken. Zowel kolk als hoofd kunnen elders worden geprefabriceerd en door middel van drijvend transport naar de locatie vervoerd worden en afgezonken. Door middel van prefabricage kunnen mogelijk de tijdsduur van de werkzaamheden op de locatie verkleind worden en hiermee de overlast. Ten aanzien van deze methode kan in dit geval het volgende opgemerkt worden.

- Er moet een geschikte locatie zijn voor het prefabriceren van de sluisdelen. Dit kan bijvoorbeeld in bestaande tunneldokken gebeuren. Voor de locatie bij Terneuzen is de afstand tussen de afzinklocatie en een geschikt dok echter groot.
- De elementen zullen van grote omvang zijn, al snel 50 meter breed en 25 meter hoog, Deze worden beperkt door diepgang restricties en de afmetingen van de Westsluis indien deze gepasseerd moet worden.
- Het aan te brengen hoeveelheid ballast voor het afzinken zal erg groot moeten zijn als gevolg van de grote vrijboord tijdens het drijvend transport, mogelijk zelfs te groot.

Gezien deze bezwaren wordt prefabricage van het sluishoofd dan ook niet haalbaar geacht als uitvoeringsmethode voor deze situatie.

Het prefabriceren van de caissonwanden behoort wel tot de mogelijkheden. Veel ervaring met drijvend transport van tunnelelementen en ook caissons is al opgedaan.

16.2.8 Pneumatisch afzinken

Deze methode is reeds enige keren toegepast voor de bouw van sluishoofden. Bij deze uitvoeringsmethode wordt de constructie op maaiveld niveau gebouwd. Na gereed komen van de constructie wordt de grond onder de constructie weggehaald door middel van spuiten en afzuigen. Hiertoe dient de constructie te zijn aangepast om dit mogelijk te maken. Het pneumatisch afzinken stelt enerzijds eisen aan de vormgeving van het hoofd anderzijds bepalen de functionaliteit van het hoofd eisen aan het afzinken. Zo dient onder de vloer ruimte aanwezig te zijn om een werkkamer te vormen. Deze wordt gecreëerd door rondom snijranden aan te brengen. De ruimte wordt droog gehouden door middel van een luchtoverdruk. De werkkamer is alleen te bereiken via een luchtsluis. Nadat de constructie op diepte is, wordt de werkkamer met beton gevuld. Hierdoor is het de vraag of pneumatisch afzinken voor de caissonwanden toepasbaar is. De kamer kan immers niet gevuld worden met beton omdat het weer laten opdrijven van het caisson mogelijk moet blijven.

Voordelen van pneumatisch afzinken zijn:

- Geen grondwateronttrekking,
- Geen damwanden nodig voor het vormen van een bouwkuip,
- Overlast voor de omgeving is kleiner.

Als nadeel kunnen de werkomstandigheden zoals het onder “druk” werken worden genoemd.

Uit de praktijk blijkt dat pneumatisch afzinken aantrekkelijker wordt bij een toenemende aanlegdiepte van het funderingsniveau ten opzicht van een bouwkuip. Immers hoe dieper, des te zwaarder de kuipconstructie zal moeten zijn.

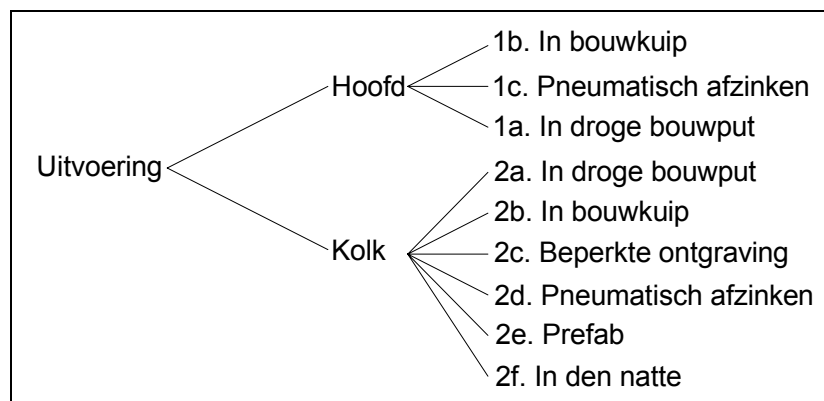
16.3 Overzicht uitvoeringsmethoden

Voor het overzicht zijn per wandconstructie de diverse uitvoeringsmethoden in tabel 16.1 samengevat.

Constructie kolk	Uitvoeringsmethoden:		
L-wand	In den droge in bouwput	In den droge in bouwkuip	
Caissonwand	In den droge in bouwput: 1. Op locatie. 2. Elders.	In den droge in bouwkuip: 1. Op locatie. 2. Elders.	Als pneumatisch caisson
Combiwand, Betonnen diepwand	In brengen vanaf maaiveld, beperkte ontgraving en onttrekking noodzakelijk		
Hooggefundeerde L-wand	Gedeeltelijke ontgraving en grondwaterstandsverlaging		
Terra armée wand	In den droge in bouwput		
Talud met oeverbescherming	In den natte	In den droge/bouwput	

Tabel 16.1

In onderstaand schema zijn de verschillende uitvoeringsmogelijkheden weergegeven.



Figuur 16.5: Schema uitvoeringsmogelijkheden.

In totaal zijn er 18 verschillende combinaties mogelijk. Echter niet alle combinaties zijn even voor de hand liggend. In onderstaande tabel zijn de 18 combinaties genoemd en is eveneens aangegeven welke kolkoplossingen mogelijk zijn bij de verschillende uitvoeringsmethoden.

	Combinatie:	Omschrijving:	
1	1a. + 2a.	Bouw van zowel hoofden als kolk in bouwput.	L-wand, caissonwand, taluds, terra armée wand
2	1a. + 2b.	Hoofden in twee aparte bouwputten, kolk in bouwkuip.	L-wand, caissonwand
3	1a. + 2c.	Hoofden in twee bouwputten, kolkwand mbv beperkte ontgraving en onttrekking.	Hooggefundeerde L-wand, combiwand, betonnen diepwand
4	1a. + 2d.	Hoofden in twee bouwputten, kolkwand pneumatisch afzinken	Caissonwand
5	1a. + 2e.	Hoofden in twee bouwputten, kolkwand prefabriceren.	Caissonwand
6	1b. + 2f.	Hoofden in twee bouwputten, kolk in den	Taluds

		natte ontgraven.	
7	1b. + 2a.	Hoofden in twee bouwkuip, kolk in bouwput.	L-wand, caissons, taluds, terra armée wand
8	1b. + 2b.	Hoofden en kolk in bouwkuip.	L-wand, caissons
9	1b. + 2c.	Hoofden in twee in bouwkuipen, kolk mbv beperkte ontgraving en onttrekking.	Hooggefundeerde L-wand, combiwand, betonnen diepwand
10	1b. + 2d.	Hoofden in twee bouwkuipen, kolkwand pneumatisch afzinken.	Caissonwand
11	1b. + 2e.	Hoofden in twee bouwkuipen, kolkwanden prefabriceren.	Caissonwand
12	1b. + 2f.	Hoofden in twee bouwkuipen, kolk in den natte ontgraven	Taluds
13	1c. + 2a.	Hoofden op maaiveld bouwen en pneumatisch afzinken, kolk in bouwput.	L-wand, caissonwand, taluds, terra armée wand
14	1c. + 2b.	Hoofden op maaiveld bouwen en pneumatisch afzinken, kolk in bouwkuip.	L-wand, caissonwand
15	1c. + 2c.	Hoofden op maaiveld bouwen en pneumatisch afzinken, kolk dmv beperkte ontgraving en onttrekking.	Hooggefundeerde L-wand, combiwand, betonnen diepwand
16	1c. + 2d.	Hoofden op maaiveld bouwen en pneumatisch afzinken, kolkwanden pneumatisch afzinken.	Caissonwand
17	1c. + 2e.	Hoofden op maaiveld bouwen en pneumatisch afzinken, kolkwanden prefabriceren.	Caissonwand
18	1c. + 2f.	Hoofden op maaiveld bouwen en pneumatisch afzinken, kolk in den natte ontgraven.	Taluds

Tabel 16.2

Opmerkingen:

De volgende mogelijkheden vallen af (in donker grijs aangegeven):

- Nrs 4 en 10: voor het pneumatisch afzinken is de caisson voorzien van een hoge snijrand en is er ruimte onder de vloer aanwezig om de grond er onder weg te kunnen graven. Later wordt deze ruimte meestal opgevuld met beton om als fundering te fungeren. Het later weer oplaten drijven is hierdoor dan niet meer mogelijk.
- Nrs 6, 12 en 18; de kolk bestaat uit taluds, de redenen voor het niet toepassen van een groene kolk zijn hoofdstuk 9 gegeven.
- Nr 13: het is niet logisch om de hoofden pneumatisch af te laten zinken en de kolk vervolgens in een droge bouwkuip te bouwen. De winst van het niet hoeven te verlagen van de grondwaterstand en de ruimte besparing gaan hierdoor verloren.

Bedenkingen bij uitvoerbaarheid (in licht grijs aangegeven):

- Nrs 2, 8 en 14; er is een lange en dure tijdelijke wandconstructie noodzakelijk voor de bouwkuip die grotendeels in de grond achter moeten blijven indien onderwaterbeton als onder afdichting wordt toegepast. Bovendien is het geen efficiënte bouwmethode omdat in feite twee maal een wand wordt gerealiseerd, eerst de bouwkuip en vervolgens de sluiswand zelf.
- 15 t/m 17: het hoofd heeft forse afmeting en is bovendien niet symmetrisch van vorm, waardoor het gelijkmatig laten zakken van de constructie moeilijk uit te voeren is. Bovendien is het afzinken moeilijk te combineren met het onder het hoofd lopende omloopriolen.

16.3.1 Combinaties van kolkconstructies en uitvoeringsmethode

Er zijn 6 realistische uitvoeringsmethoden voor de sluis. In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van welke kolkwand combinaties er mogelijk zijn en op welke manier deze uitgevoerd kunnen worden voor deze 6 methoden.

	Combinaties:	Uitvoering kolk	Uitvoering hoofden
1	Caissonwand + L-wand	In droge bouwput	In droge bouwput
2	Caissonwand + hooggefundeerde L-wand	Bouw van hooggefundeerde L-wand, daarna: 1. Kolk ontgraven in den natte en prefab caissons invaren en afzinken. 2. Kolk ontgraven en droogzetten en bouw caissonwand in den droge. 3. Caissons pneumatische afzinken en grond tussen de wanden verwijderen	In bouwkuip
3	Caissonwand + combiwand	Bouw van hooggefundeerde L-wand, daarna: 1. Kolk ontgraven in den natte en prefab caissons invaren en afzinken. 2. Kolk ontgraven en droogzetten en bouw caissonwand in den droge. 3. Caissons pneumatische afzinken en grond tussen de wanden verwijderen	In bouwkuip
4	Tweezijdige caissonwand	Bouw van caissons: 1. In droge bouwput. 2. Op maaiveld en pneumatisch afzinken. 3. Kolk in den natte ontgraven en prefab caissons afzinken.	Bij 1: In bouwput Bij 2 en 3: In bouwkuip

Tabel 16.3: Combinaties van kolkwandconstructies en uitvoering

16.4 Terugkoppeling uitvoering naar flexibele sluisontwerp

Zoals uit voorgaande beschouwing blijkt zijn er naast de in het hoofdstuk 9 bepaalde kolkconstructies, waarbij uitgegaan is van uitvoering in een droge bouwput, nog vele alternatieven mogelijk. Deze alternatieven kunnen mogelijk leiden tot een goedkopere constructies of een goedkopere uitvoering van de constructie. Echter wegens beperkte inzichten en beschikbare bronnen in de uitvoeringskosten is uitgegaan van een uitvoeringswijze die gelijk is aan eerdere ontwerpen van een nieuwe sluis te Terneuzen, waarbij de constructie uitgevoerd worden in een bouwput met bronbemaling. Hierdoor zullen de verschillen in kosten van de uitvoering beperkt zijn en kan deze buiten beschouwing blijven bij de vergelijking tussen een gelichterde Cape-Size en flexibele sluis.

17 Kosten raming

17.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden globaal de kosten van de flexibele sluis bepaald en vergeleken met die van een Panamax sluis en een Gelichterde Cape-Size sluis. Uit deze vergelijking zal moet blijken of een flexibele sluis een interessant alternatief vormt voor deze twee sluizen.

Hiertoe worden voor de drie sluishoofden eerst de constructiekosten bepaald. De kosten voor de Panamaxsluis en gelichterde Cape-Size sluis zijn afgeleid van kosten ramingen uitgevoerd door Rijkswaterstaat en Administratie Waterwegen en Zeewezen (AWZ). De kosten bestaan uit de directe constructie kosten van de belangrijkste sluis onderdelen zonder toeslagen als onvoorzien, uitvoeringskosten en BTW.

De vergelijking tussen de sluisoplossingen worden gedaan tussen de gelichterde Cape-Size en de flexibele sluis. Op tijdstip x begin je met de bouw van een gelichterde Cape-Size of de bouw van een flexibele sluis. Naar verwachting zal de bouw van een flexibele sluis goedkoper zijn. Het verschil tussen deze twee investeringen mag gebruikt worden voor de uitbreiding van de flexibele sluis over circa 25 tot 30 jaar. Voor de bepaling van hoeveel de verbreding van de sluis mag kosten moet het volgende worden opgemerkt. Een toekomstige investering is lager dan een investering vandaag, ook als daar dezelfde werkzaamheden tegenoverstaan. Geld dat in de toekomst wordt uitgegeven, kan op de spaarbank worden gezet of voor andere investeringen worden gebruikt die geld opleveren. Kapitaliseren is het verlagen van de toekomstige investering met de rente van dat bedrag vanaf nu totdat de investering is gedaan. Dit houdt in dat door de bouw van een flexibele sluis de besparingen ten opzichte van een gelichterde Cape-Size in de toekomst gebruikt kunnen worden voor de uitvoering van de verbreding.

17.2 Constructiekosten Panamax en Gelichterde Cape-Size

De constructie kosten van de Panamax- en Cape-Size sluis bestaan uit:

Betonconstructie:

- Hoofden.
- Kolk.
- Vul- en ledigingssysteem (riolen, in- en uitstroomopeningen).
- Vleugelwanden.

Staalconstructies en werktuigbouwkunde:

- Deuren, (inclusief rijdek).
- Overbrugging deurkassen of twee rolbruggen.
- Rioolschuiven.
- Bewegingswerken.

Overig:

- Elektrische installaties.
- Afwerking en diversen, zoals bolders en haalkommen.

Gelichterde Cape-Size:

De sluis is van gelichterde Cape-Size formaat met zout/zoetscheidingssysteem zoals Westsluis en hefbruggen over de deurkassen. De geraamde kosten bedragen totaal €302 miljoen waarbij de sluis gebouwd wordt in een open bouwput met bemaling.

Onderdeel	Per stuk (*€1.000.000)	Totaal (*€1.000.000)
Hoofd voor 2 deuren	19,5	39
Schutkolk		27
Systeem van omloopriolen		54
Keermuren voorhaven hoofd		18
Roldeur	14	56

Hefbruggen deurkassen	6,75	27
Schuiven, bewegingsinrichting deuren.		36
Electrische installatie		30
Afwerking		15
Totaal		302

Tabel 17.1: Kosten gelichterde Cape-Size sluis

Panamax:

Een Panamax sluis met zout-zoetsluis systeem zoals de Westsluis wordt geraamd op totaal €211 miljoen, gebouwd in open bouwput met bemaling en bruggen ter plaatse van de hoofden.

Onderdeel	Per stuk (*€1.000.000)	Totaal (*€1.000.000)
Hoofd voor 2 deuren	12,5	26
Schutkolk		18
Systeem van omloopriolen		36
Keermuren voorhaven hoofd		12
Roldeur	8	32
Rolbrug	17,5	35
Rioolschuiven, bewegingsinrichting deuren.		23
Electrische installatie		19
Afwerking		10
Totaal		211

Tabel 17.2: Kosten Panamaxsluis

17.3 Kosten raming flexibele sluis**17.3.1 Kostenraming hoofd**

In hoofdstuk 14 is de constructie van het hoofd uitgewerkt zijn en de hoeveelheden bepaald. Bij deling van de kostenraming voor het hoofd door de betonhoeveelheden volgt een prijs per m³ beton.

	Ramming (€)		Prijs per m ³ (€)
Hoofd panamax	12.500.000	34679	360,-
Hoofd gel. Cape-Size	19.500.000	58923	330,-

De richtprijzen voor het storten van beton zijn: richtprijs goedkoop te storten beton is €225 en de richtprijs duur te storten beton is €450. Het verschil in kosten wordt mede bepaald door de mate van complexiteit van de bekisting en de hoeveelheid bekistingsoppervlak.

Schatting van de kosten van het hoofd van de flexibele sluis worden dan: 47.926*340,- = €16,3miljoen.

17.3.2 Kostenraming kolk

De goedkoopste kolk oplossing betreft een kolk opgebouwd uit een caisson van 15 meter breedte zonder aanvulling en een L-wand, deze kost €61.069 per m. Voor een gelijkwaardig alternatief als de Panamax-sluis kolk, dus met aanvulling achter de caissons zijn de kosten €67.084 per m. Zie ook hoofdstuk 9. Voor een sluis kolk met een lengte van 405 m worden de kosten respectievelijk €24,73 miljoen en €27,17 miljoen en een kolk met een lengte van 445 m worden de kosten respectievelijk €27,18 miljoen en €29,85 miljoen.

17.3.3 Kostenraming systeem van omloopriolen/vul- en ledigingssysteem

Omdat hiervan de kosten moeilijk te bepalen zijn worden de kosten van het systeem welke toegepast wordt voor de flexibele sluis gelijk gesteld aan die van de ramingen van RWS ten behoeve van de aanleg van de gelichterde Cape-Size. Het verschil tussen beide systemen is de diepere aanleg van de riolen onder het hoofd door tegenover de langere (dwars)riolen voor de Panamax en gelichterde Cape-Size sluis, omdat deze om het hoofd heen moeten. In hoofdstuk 13 is voor de flexibele sluis is vastgesteld dat een systeem afgestemd op de situatie na de verbreding de meest geschikte oplossing is. De kosten voor de flexibele sluis voor het vul- en ledigingssysteem worden dan €54 miljoen.

17.3.4 Kostenraming vleugelwanden

Voor de flexibele sluis wordt uitgegaan dat de vleugelwanden gelijkwaardig zijn aan de L-wand van de kolk. De vleugelwanden zijn aan de deurkaszijde van de sluis gesitueerd met een totale lengte van ongeveer 100 m. Omdat de andere zijde flexibel moet zijn, zal deze bestaan uit een verplaatsbaar caisson. De kosten van de vleugelwanden worden geschat op $100 \times 23.476 = €2,35$ miljoen. De bouwkosten van de caisson worden geschat op 1,75 miljoen Euro, totaal $2 \times 1,75 = €3,5$ miljoen.

17.3.5 Kostenraming deuren

Vier verlengbare deuren met rijdek kosten €40 miljoen, zoals in hoofdstuk 11 is bepaald.

17.3.6 Kostenraming overbrugging deurkassen

De hefbruggen voor de overbrugging van de deurkassen worden geraamd op €27 miljoen voor een sluis van gelichterde Cape-Size formaat. De deurkassen hiervan zijn langer omdat naast de deurkas ook de machineruimte achter de deurkassen overbrugd wordt. De kosten van de overbrugging worden daarom geschat op 20 miljoen Euro voor de flexibele sluis.

17.3.7 Kostenraming rioolschuiven en bewegingsinrichting deuren

Het vul- en ledigingssysteem is gelijkwaardig aan die van de gelichterde Cape-Size sluis. De deuren zijn na verbreding gelijk aan die van de gelichterde Cape-Size. De kosten voor de rioolschuiven en bewegingsinrichting voor de flexibele sluis zullen gelijk zijn en worden geraamd op €36 miljoen.

17.3.8 Kostenraming elektrische installaties en noodstroomvoorzieningen

De elektrische installaties en noodstroomvoorzieningen worden voor de flexibele sluis geschat op €25 miljoen.

17.3.9 Kostenraming afwerking

Onder de afwerking worden voorzieningen verstaan zoals bolders, ladders, hekwerken e.d. Deze worden voor de flexibele sluis geschat op €15 miljoen bij een kolk lengte van 445 m en €10 miljoen bij een kolk lengte van 405 m

17.3.10 Totale kosten flexibele sluis

Totale kosten flexibele sluis zijn:

Onderdeel	Per stuk (*€1.000.000)	Totaal met kolk lengte van 445 m	Totaal met kolk lengte van 405 m (*€1.000.000)
Hoofd voor 2 deuren	16,3	32,6	32,6
Schutkolk		29,85	27,17
Systeem van omloopriolen		54	54
Keermuren voorhaven hoofd		5,85	5,85
Verlengbare roldeur met rijdek	10	40	40
Hefbruggen deurkassen	5	20	20
Schuiven, bewegingsinrichting deuren.		36	36
Electrische installatie		25	25
Afwerking		15	10

Totaal		258,3	250,7
--------	--	-------	-------

Tabel 17.3: Totale kosten flexibele sluis.

Het verschil in bouwkosten tussen een sluislengte van 405 m en 445 meter is 7,6 miljoen Euro, een toename van slechts 3%. Dit is echter zonder uitvoeringskosten. Deze zullen voor een langere kolk hoger zijn omdat een langere bouwput en dus een zwaardere bemaling noodzakelijk zal zijn. De geringe toename van de kosten bij een langere sluis past in het beeld zoals ook bij eerdere kostenanalyses door Heacon is naar voren gekomen. Het direct kiezen van een langere kolk lijkt dan ook logisch zoals in hoofdstuk 8 reeds is gemeld. In de verdere vergelijking tussen de sluizen zal dan ook verder uitgegaan worden van een flexibele sluis met een kolk lengte van 445 m.

In onderstaande tabel is voor het overzicht de uitkomsten van de kostenramingen op een rij gezet.

Sluistype	Raming (€)
Panamax-sluis	211.000.000
Gelichterde Cape-Size	302.000.000
Flexibel	258.000.000

Tabel 17.4: Overzicht kosten van de drie sluisstypen.

Het blijkt dat de geraamde kosten van een flexibele sluis uitkomen op € 258 miljoen. Dit is € 47 miljoen hoger dan de raming van een Panamaxsluis en € 44 miljoen lager dan de raming voor een gelichterde Cape-Size.

17.4 Kosten van uitbreiding

De kosten van de uitbreiding van de flexibele sluis mogen, om een alternatief te vormen voor een gelichterde Cape-Size te vormen niet hoger zijn dan €44 miljoen. Omdat deze investering in de toekomst gemaakt worden, wordt dit bedrag vermeerderd met de rente over de periode tot aan de uitbreiding. Bij een disconto (rente –inflatie) van 4% betekent dit dat de uitvoeringskosten te zijner tijd maximaal de onderstaande bedragen mogen zijn:

Uitbreidingskosten < $44 \cdot (1+0,04)^n$.

Uitbreiding na n jaar	Maximale uitvoeringskosten (€)
20	96 miljoen
25	117 miljoen
30	143 miljoen

Tabel 17.5: Maximaal te besteden uitvoeringskosten.

Onder de uitbreidingskosten worden de bouwkosten en de daarmee samengaannde uitvoeringskosten verstaan, maar ook de kosten van de stremming van de sluis.

17.4.1 Bouwkosten uitbreiding

Bouwkosten bestaan uit:

- ⇒ Verlengen deuren
- ⇒ Verplaatsen kolkwand
- ⇒ Afbreken deurniswand
- ⇒ Bouw van deurkasverlenging
- ⇒ Bouw van nieuwe deurniswand en bodem doorvaartopening
- ⇒ Bodembescherming
- ⇒ Overbrugging

Kosten die direct aan stremming sluis toe te schrijven zijn::

- ⇒ inkomsten verliezen door stremming van sluis
- ⇒ wachtkosten

Het lijkt voor de hand liggend de uitbreiding op een zo ver als mogelijk in de toekomst liggend moment uit te voeren. Echter er mag verwacht worden dat in de loop van de tijd het aantal schepen

door de sluizen toenemen. Bij stremming van een van de sluizen worden de gevolgen, het verlies van inkomsten en de wachtkosten in de loop van de jaren steeds groter.

17.4.2 Stremmingskosten

Bij de berekening van de wachtkosten van schepen en de goederen en de inkomsten verliezen wordt van het volgende uitgegaan:

- Lineaire toename van het aantal schepen per jaar van 9.028 na gereed komen van de sluis tot een maximum van 17.912 in twee richtingen na 30 jaar.
- Lineaire toename van het tonnage aan goederen door de sluizen van 30,8 miljoen ton/jaar naar 57,8 miljoen ton/jaar over 30 jaar.
- Maximale capaciteit van het huidige sluisencomplex is 45 miljoen ton/jaar. Door de bouw van de flexibele sluis neemt de capaciteit toe, zodat de verwachte groei kan worden opgevangen. Bij stremming van de flexibele sluis als gevolg van de aanpassingswerkzaamheden is de capaciteit dan tijdelijk weer 45 miljoen ton/jaar.

De wachtkosten zijn op T = 30 jaar:

Klasse	Aantal schepen per jaar	Aantal schepen per dag	per uur	T/C* per dag (€)	T/C per uur (€)	Wachttijd 1 sluis (uren)	Wachttijd 2 sluizen (uren)	Verschil wachttijd (uren)	wachttijd per dag	Kosten per dag (€)
50	10822	29,6	1,24	5260	219	3,50	1,25	2,25	67	14621
51	2456	6,7	0,28	14550	606	4,33	1,33	3,00	20	12238
52	1796	4,9	0,21	10310	430	4,67	1,40	3,27	16	6912
53	1904	5,2	0,22	8630	360	3,90	1,33	2,57	13	4821
54	934	2,6	0,11	8860	369	3,75	1,25	2,50	6	2362
Totaal	17912									40953

*T/C = Time Charters Rates per dag zie bijlage N

Tabel 17.6: Wachtkosten schepen op T = 30 jaar.

Wachtkosten goederen:

Goederen	Waarde per ton	Promillage*	Tonnage	Waarde 1 uur tijdswinst	Kosten door wachten per jaar (€)	Kosten per dag (€)
dry bulk	110	0,0057	35773900	22430	63702	175
Liquid bulk	450	0,0057	6200000	15903	40314	110
stukgoederen	4250	0,0848	15800000	5694320	16171869	44306
totaal:			57773900			44591

*Zie bijlage N

Tabel 17.7: Wachtkosten goederen op T = 30 jaar.

De totale wachtkosten bij stremming van 1 sluis zijn:

Per dag	€ 85.544
Per maand	€ 2.601.982
Per jaar	€ 31.223.788

Het verlies aan inkomsten als gevolg van de stremming wordt bepaald aan de hand van het verschil tussen de 'normale' goederen stroom door de sluizen en de maximale goederenstroom door de sluizen bij stremming. De drie groepen goederen vertegenwoordigen een toegevoegde waarde van:

	Toegevoegde waarde per ton (€)
Dry bulk	3,58
Liquid bulk	2,33
Stukgoederen	18,32

Bron: KPMG

Waarde aan goederen dat havens niet kan bereiken:

Goederen	Tonnage		Bij stremming sluis	Verschil	Ton/dag dat haven niet kan bereiken	Uitgedrukt in toegevoegde waarde (€)
Dry bulk	35773900	62	27864235	7909665	21670	77580
Liquid bulk	6200000	11	4829170	1370830	3756	8751
Stukgoederen	15800000	27	12306595	3493405	9571	175340

Totaal:	57773900	100	45000000	12773900		261671
---------	----------	-----	----------	----------	--	--------

Tabel 17.8: Waarde van de goederen die haven niet kan bereiken op T = 30 jaar.

De totale stremmingskosten bij stremming van 1 sluis waarbij de uitbreiding plaats vindt na 30 jaar zijn:

	Wachtkosten		Totale kosten
Per dag	€ 85.544	€ 261.671	€ 347.215
Per maand	€ 2.601.982	€ 7.959.159	€ 10.561.141
Per jaar	€ 31.223.788	€ 95.509.915	€ 126.733.703

Tabel 17.9: Stremmingskosten op T = 30 jaar.

Voor de uitbreidingen na 20 en 25 jaar zijn de kosten op gelijke wijze bepaald met verandering van de volgende gegevens:

Op T = 25				Op T = 20			
Klasse	Aantal schepen per jaar	Goederen	Tonnage	Klasse	Aantal schepen per jaar	Goederen	Tonnage
50	9898	Dry bulk	33175136	50	8974	Dry bulk	30576372
51	2229	Liquid bulk	5763397	51	2001	Liquid bulk	5326793
52	1666	Stukgoederen	14335848	52	1536	Stukgoederen	12871696
53	1770			53	1637		
54	868			54	802		
Totaal	16431	Totaal:	53274380	Totaal	14950	Totaal:	48774861

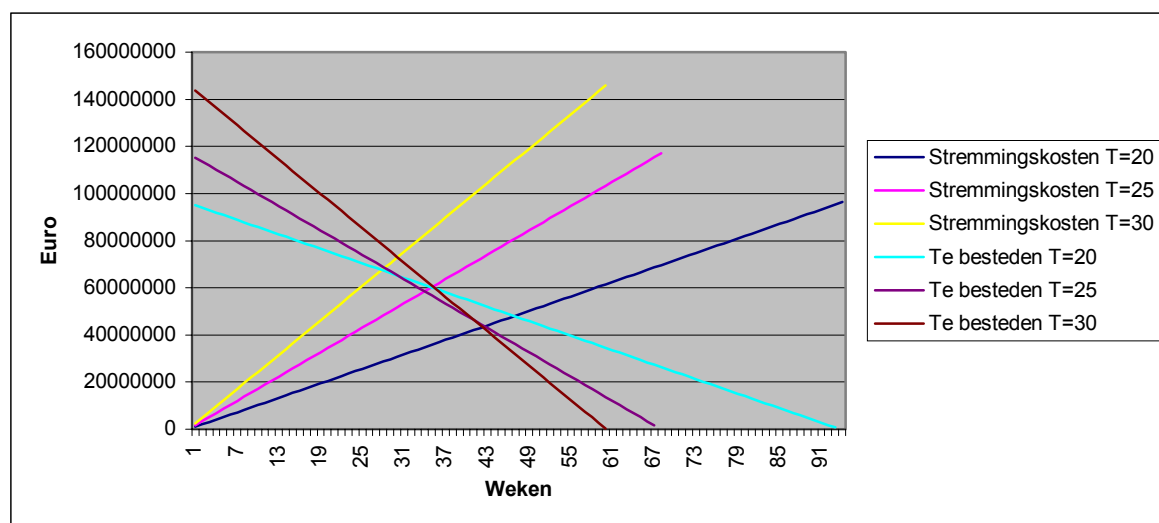
Tabel 17.10: Aantal schepen en hoeveelheid goederen op T= 20 en T = 25 jaar.

De totale stremmingskosten bij stremming van 1 sluis waarbij de uitbreiding plaats vindt na respectievelijk 20, 25 en 30 jaar zijn:

	T = 20 jaar	T = 25 jaar	
Per dag	€ 146.360	€ 246.041	€ 347.215
Per maand	€ 4.451.789	€ 7.483.762	€ 10.561.141
Per jaar	€ 53.421.474	€ 89.805.141	€ 126.733.703

Tabel 17.11: Totale stremmingskosten op T = 20, 25 en 30 jaar.

Hoe meer tijd voor de uitvoering van de verbredingswerkzaamheden benodigd is hoe minder beschikbaar blijft voor de financiering van de verbreding. De gelden gaan dan op aan kosten van de stremming. In onderstaande grafiek is weergegeven: de toename van de stremmingskosten en de afname van het aan de uitbreiding te besteden bedrag om op dezelfde totale investering uit te komen als een gelichterde Cape-Size sluis.



Grafiek 17.1: Stremmingskosten en aan verbreding te besteden

Uit de grafiek kan worden afgeleid dat na 30 jaar de verbreding meer mag kosten maar dat deze in een korter tijdsbestek gerealiseerd moet worden.

Bij een verbreding van de flexibele sluis over 20 jaar is voor de verbreding een lager bedrag beschikbaar is, maar de uitvoering mag een langere periode beslaan. Het verschil wordt veroorzaakt door de lagere stremmingskosten.

17.5 Conclusies kosten

Uit de globale kosten raming blijkt dat de bouw van een flexibele sluis qua constructiekosten tussen een Panamaxsluis en een gelichterde Cape-Size in ligt. Een flexibele sluis is 47 miljoen duurder dan een Panamax. Maar biedt het voordeel dat de sluis in de toekomst, indien gewenst kunt uitbreiden tot een gelichterde Cape-Size. Wordt gelijk een gelichterde Cape-Size sluis gebouwd dan is de investering 44 miljoen hoger.

Om de kosten van de toekomstige verbreding van de sluis niet te hoog te laten oplopen moeten deze binnen een afzienbare tijdsperiode uitgevoerd worden, omdat anders de stremmingskosten sterk gaan oplopen.

Optimalisatie van de diverse constructies en oplossingen zal tot een lagere ramingen kunnen leiden. In dit kader moeten de hier gepresenteerde kostenramingen worden beschouwd als de som van zo goed mogelijke schattingen van een aantal grootschalige elementen. Waarbij de schattingen zijn gebaseerd op eerdere ramingen en vergelijkbare bestaande sluisconstructies.

18 Conclusies en aanbevelingen

In hoofdstuk 3 van dit rapport zijn de doelstelling en de hiermee samenhangende onderzoeksvragen geformuleerd. In deze conclusies en aanbevelingen wordt op deze vragen antwoord gegeven.

18.1 Conclusies

De onderzoeksvragen zullen hier worden herhaald en worden beantwoord en voorzien van een korte toelichting:

Welke aanpassingen zijn er noodzakelijk om uitbreiding mogelijk te maken:

- De kolkconstructie moet bestaan uit een op zichzelf staande wandconstructies en geen constructieve verbinding hebben, onderling en/of met de vloer. De meest voor de hand liggende vloerconstructie is dan een open bodem.
- Één zijde van de kolk zal bestaan uit een verplaatsbare wand om sloop van de nog goede dure wand te voorkomen en een hiermee gepaard gaande lange stremmingen uit te sluiten.
- Om het hoofd eenvoudig te houden en verbreding van de sluis mogelijk te maken is een verlengbare deur het meest geschikt. De deur moet dan worden ontworpen op de toekomstige breedte. In geval van verbreding van Panamax naar gelichterde Cape-Size is de deurbreedte 10 m terwijl voor Panamax een deurbreedte van 6 meter voldoende is.
- Inpassing van het vul- en ledigingssysteem moet zodanig zijn dat deze de verbreding niet in de weg zit, de oplossing is dan om dit systeem onder de deurkassen te laten doorlopen.
- Alleen toepassing van relatief eenvoudige zoet/zoutscheidingssystemen zijn mogelijk zoals een luchtbellenscherm. Daarnaast is ook het systeem "Terneuzen" met zoutvang in de kanaalvoorhaven in te passen.
- De capaciteit van het vul- en ledigingssysteem moet worden afgestemd op de toekomstige breedte, dus na verbreding.
- Het hoofd wordt ontworpen op de grotere deurbreedte van 10 m en hogere belasting. De hogere deurbelasting heeft als gevolg dat de voorwanden met de aanslagen langer moeten worden uitgevoerd dan in eerste instantie voor de aanpassing nodig is. Het hoofd wordt dus en dus breder/groter dan een Panamaxhoofd.
- De inpassing van het bewegingssysteem is zodanig dat deze de verlenging van de deurkassen zo min mogelijk in de weg zit. Hiertoe zal de aandrijving aan weerszijde van de deurkassen worden gesitueerd in plaats van in het verlengde van de deurkassen zoals gebruikelijk is.
- Wat betreft de wegverbinding over de sluis verdient een afwikkeling over de sluisdeuren de voorkeur. Hierbij zal op de deuren een rijdek moeten worden gerealiseerd en een overbrugging over de deurkassen. Het verkeer wordt door deze oplossing in staat gesteld de sluis loodrecht te passeren. Dit om wille van de capaciteit en belang van de verkeersroute over de sluis.

Uitvoerbaarheid:

- Het flexibel maken van de kolk lijkt op een redelijk eenvoudige wijze uitvoerbaar te zijn door het toepassen van caissons als kolkwand. De benodigde caissonafmeting zijn niet van dusdanige afmetingen dat deze onhandelbaar worden. Het betreft geen nieuwe techniek en er is reeds veel ervaring met caissons is in bijvoorbeeld de havenbouw.
- Van het verlengen van sluisdeuren zijn bij de auteur geen voorbeelden bekend, wel zijn er ervaringen met het verlengen van schepen in de scheepsbouw. Enige overeenkomsten met de scheepsbouw zijn er wel aangezien dergelijke grote sluisdeuren in de meeste gevallen bij scheepswerven worden geconstrueerd. Verwacht wordt dat een dergelijke oplossing niet tot onoverkomelijke problemen zal leiden.
- De uitbreiding van het hoofd stuit op de meeste problemen. Met name verbreding van de doorvaartopening. Hiervoor is in dit kader geen oplossing gevonden die verbreding zonder sloop mogelijk maakt.

Kosten:

De kosten van een flexibele sluis ligt tussen die van een Panamax en gelichterde Cape-Size sluis in.

Sluistype	Raming (€)
Panamax-sluis	211.000.000
Gelichterde Cape-Size	302.000.000
Flexibele sluis	258.000.000

Tabel 18.1: Kostenraming sluisalternatieven

Een flexibele sluis is 47 miljoen duurder dan een Panamax. Maar biedt het voordeel dat de sluis in de toekomst, indien gewenst kunt uitbreiden tot een gelichterde Cape-Size. Wordt gelijk een gelichterde Cape-Size sluis gebouwd dan is de investering 44 miljoen hoger.

Bij het verbreden van de flexibele sluis is alleen de Westsluis beschikbaar voor de Zeevaart. De hierdoor ontstane stremmingskosten zijn:

Uitbreiding na n jaar	Maximale uitvoeringskosten (€)
20	96 miljoen
25	117 miljoen
30	143 miljoen

Tabel 18.2: Maximale uitvoeringskosten van de verbreding.

Is een Flexibele sluis een interessant alternatief voor een gelichterde Cape-Size?

Een flexibele sluis kan een goed alternatief vormen voor een gelichterde Cape-Size. De bouwkosten van de flexibele sluis zijn lager. Maar de kosten van verbreding, bestaande uit de uitvoeringskosten en de stremmingskosten, mogen niet te hoog oplopen. Om de kosten van de toekomstige verbreding van de sluis niet te hoog te laten oplopen, moeten deze binnen een afzienbare tijdsperiode uitgevoerd worden. Dit kan waarschijnlijk alleen gerealiseerd worden als er een passende oplossing gevonden wordt voor het verbreden van de doorvaartopening. Anders zal, gezien de schaal van het uitbreidingsproject, de uitvoeringstijd snel te lang worden.

18.2 Aanbevelingen

- Nadere uitwerking van de uitvoering zodat een beeld wordt verkregen van de kosten en duur van de uitbreidingswerkzaamheden en hiermee ook de te verwachten stremmingsduur.
- Het nader onderzoeken en uitwerken van alternatieve uitvoeringsmethoden.
- Een passende oplossing vinden voor het uitbreiden van het hoofd.
- In de opzet wordt uitgegaan dat een open kolkvloer toegepast kan worden. Onderzocht moeten worden of dit voor deze locatie inderdaad mogelijk is. Dit in verband met het zoutbezwaar.
- Nadere uitwerking en detaillering van de caissonwand zoals bijvoorbeeld de onderlinge aansluiting.
- Nadere uitwerking van het vul- en ledigingssysteem. Met name de aansluiting van de in- en uitstroomopeningen ter plaatse van de zoutput.

Daarnaast kan nog worden opgemerkt dat de diverse onderdelen als de deur, overbrugging, het vul- en ledigingssysteem globaal zijn ontworpen en voor definitieve uitspraken over de haalbaarheid nader zullen moeten worden uitgewerkt.

19 Literatuurlijst

1. Beleidsanalyse voor modernisering van de maritieme toegang tot de havens van Gent en Terneuzen, eind rapport mei 1998, uitgevoerd door Tijdelijke vereniging S.W.K. en Grabowsky & Poort in opdracht van Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen afdeling Bovenschelde.
2. Bestemmingsplan buitengebied Terneuzen/Sas van Gent, Advies bureau RBOI, 30-06-2003.
3. Cement en beton, constructief ontwerpen in beton, Ir. W.C. Vis, Ing. R. Sagel, Stichting BetonPrisma, 's Hertogenbosch, 1995.
4. Collegedictaat Constructieve Waterbouw Algemeen CT3330, Dr.ir. S. Van Baars, ir. H.K.T. Kuijter e.a., TUDelft januari 2002.
5. Collegedictaat Constructieve Waterbouw Deel B Schutsluizen, K.G. Bezuyen e.a., TUDelft februari 2000.
6. Collegedictaat Het bouwproces van betonconstructies CT4170, Prof. Ir. Ch.J. Vos, Ing. H.C. Jager, TUDelft januari 2002.
7. Collegedictaat Vloeistofmechanica, Prof.dr.ir. J.A. Battjes, TUDelft, maart 2000.
8. Duikers en Sluizen, ing B. van Leusen, 1994.
9. Economische analyse van de modernisering van de maritieme toegang tot de havens van Gent en Terneuzen, KPMG, 11 oktober 2002.
10. Economische analyse van de modernisering van de maritieme toegang tot de havens van Gent en Terneuzen, Marktsituering en trends, KPMG, 2000.
11. Economisch belang van de zeehavens, de haven van Gent, Nationale Bank van België, Agentschap Gent, 2001.
12. Forces on Ships in a Navigation Lock Induced by stratified Flows, A. Vrijburcht, Delft Hydraulics Publication no. 448, Delft 1991.
13. Grondmechanica, A. Verruijt, Delft University Press, Delft 1999.
14. Grondmechanica, Ir C. Van der Veen, Ir. E. Horvat, Ing. C.H. Van Kooperen, Waltman, 1992
15. Jaarverslag 2002, Zeeland Seaports.
16. Leidraad waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies, TAW juni 1997.
17. Ontwerp schutsluizen deel 1, Bouwdienst Rijkswaterstaat 2000.
18. Ontwerp schutsluizen deel 2, Bouwdienst Rijkswaterstaat 2000.
19. Oriënterende studie nieuwe zeesluis Terneuzen, Waterhuishouding, Eindrapport werkgroep TGWH, Middelburg 1986
20. Overspannend staal, deel A en B, Stichting kennisoverdracht SG, Rotterdam, 1997

21. Sluizen en andere Waterbouwkundige Kunstwerken in en langs Kanalen, Ir. J.P. Josephus Jitta, De erven F. Bohn N.V., Haarlem 1947.
22. Verziltingsstudie Kanaal Gent-Terneuzen, Royal Haskoning, september 2002.
23. Zeesluis Zeebrugge – Metalen gedeelten, Ministerie van openbare werken, studiedienst voor waterbouwerken, april 1984.
24. Zout- zoetscheiding bij schutsluizen, deel A Algemeen overzicht, J. Kerstma, P.A. Kolkman, H.J. Regeling, W.A. Venis, Rijkswaterstaat 1991.
25. Zout- zoetscheiding bij schutsluizen, deel B Beschrijving bestaande systemen, J. Kerstma, P.A. Kolkman, H.J. Regeling, W.A. Venis, Rijkswaterstaat 1991.