



Rijkswaterstaat, Dienst Noord-Holland
Zeetoeegang IJmuiden T0-onderzoek

R-150 Analyserapport Waterbouw -
Noordersluis (25A-001-01)

iv-Infra b.v.

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat, Dienst Noord-Holland
Project: Zeetoeegang IJmuiden T0-onderzoek
Projectnummer: INPA100484 (Iv-Infra)
Betreft: Analyserapport Waterbouw - Noordersluis (25A-001-01)

Auteur(s): R. Nooij
Gecontroleerd: J. van Spengen Paraaf:



Goedgekeurd: W.D. van der Wiel
Deelprojectleider T0 Paraaf:



Datum: 09-12-2011
Revisie: 2D
Status: Definitief
Aantal pagina's: iii + 120

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Doel en samenhang	1
1.2	Aanpak	2
1.3	Leeswijzer	3
2	Nieuwe risico's	5
2.1	Introductie	5
2.2	Waterbouw gerelateerd	5
2.3	Toekomstige risico's	6
3	Uitgangspunten	7
3.1	Algemene uitgangspunten	7
3.2	Geometrie van de sluis	13
3.3	Hydraulische randvoorwaarden	15
3.4	Geotechnische uitgangspunten	25
3.5	Geohydrologische uitgangspunten	25
4	Schermen voor onder- en achterloopsheid (61.1-wat.alsch; 61.14- wat.olsch)	26
4.1	Beschrijving onderdeel	26
4.2	Foutenboom	27
4.3	Verwachtingswaarde sterkte (stap 1)	28
4.4	Toelaatbare belasting(en) (stap 2)	33
4.5	Maatgevende belastingsituaties (stap 3)	34
4.6	Overschrijdingsfrequentie van maatgevende belastingsituaties (stap 4)	34
4.7	Beheer en onderhoud	35
4.8	Conclusies	35
5	Bodembescherming Noordzeezijde (11.7-wat.bdmbeszee)	36
5.1	Beschrijving onderdeel	36
5.2	Foutenboom	40
5.3	Verwachtingswaarde sterkte (stap 1)	40
5.4	Toelaatbare belasting(en) (stap 2)	42
5.5	Maatgevende belastingsituaties (stap 3)	45
5.6	Overschrijdingsfrequentie van maatgevende belastingsituaties (stap 4)	50
5.7	Beheer en onderhoud	52
5.8	Conclusies	53
6	Bodembescherming Noordzeekanaalzijde (11.7-wat.bdmbesznk)	54
6.1	Beschrijving onderdeel	54
6.2	Foutenboom	57
6.3	Verwachtingswaarde sterkte (stap 1)	57
6.4	Toelaatbare belasting(en) (stap 2)	59
6.5	Maatgevende belastingsituaties (stap 3)	61
6.6	Overschrijdingsfrequentie van maatgevende belastingsituaties (stap 4)	63

6.7	Beheer en onderhoud	63
6.8	Conclusies	64
7	Bodembescherming sluiskolk (62.13-wat.bodbesklk)	65
7.1	Beschrijving onderdeel	65
7.2	Verdere analyse	69
7.3	Conclusies	73
8	Oeverbescherming Noordzeezijde (49.2-wat.oevbstr; 49.3-wat.oevststzee; 49.4-wat.oevtst)	74
8.1	Beschrijving onderdeel	74
8.2	Foutenboom	76
8.3	Verwachtingswaarde sterkte (stap 1)	76
8.4	Toelaatbare belasting(en) (stap 2)	80
8.5	Maatgevende belastingsituaties (stap 3)	81
8.6	Overschrijdingsfrequentie van maatgevende belastingsituaties (stap 4)	83
8.7	Beheer en onderhoud	84
8.8	Conclusies	84
9	Oeverbescherming Noordzeekanaalzijde (49.3-wat.oevststnzk)	85
9.1	Beschrijving onderdeel	85
9.2	Foutenboom	86
9.3	Verwachtingswaarde sterkte (stap 1)	87
9.4	Toelaatbare belasting(en) (stap 2)	89
9.5	Maatgevende belastingsituaties (stap 3)	89
9.6	Overschrijdingsfrequentie van maatgevende belastingsituaties (stap 4)	90
9.7	Beheer en onderhoud	90
9.8	Conclusies	91
10	Conclusies	92
10.1	Algemene conclusies	92
10.2	Conclusies per waterbouwonderdeel	93
10.3	Nieuwe risico's	96
10.4	Aanbevelingen	96
	Referenties	98
	Bijlage 1 Revisiebeheer	100
	Bijlage 2 Codering onderdelen	101
	Bijlage 3 Grondonderzoek	103
	Bijlage 4 Maatgevende waterstandvervallen	105
	Bijlage 5 Multibeammetingen	110
	Bijlage 6 Rekensheets	112

Bijlage 7 Specificaties werkzaamheden NOMO AOV

114

Bijlage 8 Resultaten Lockfill

116

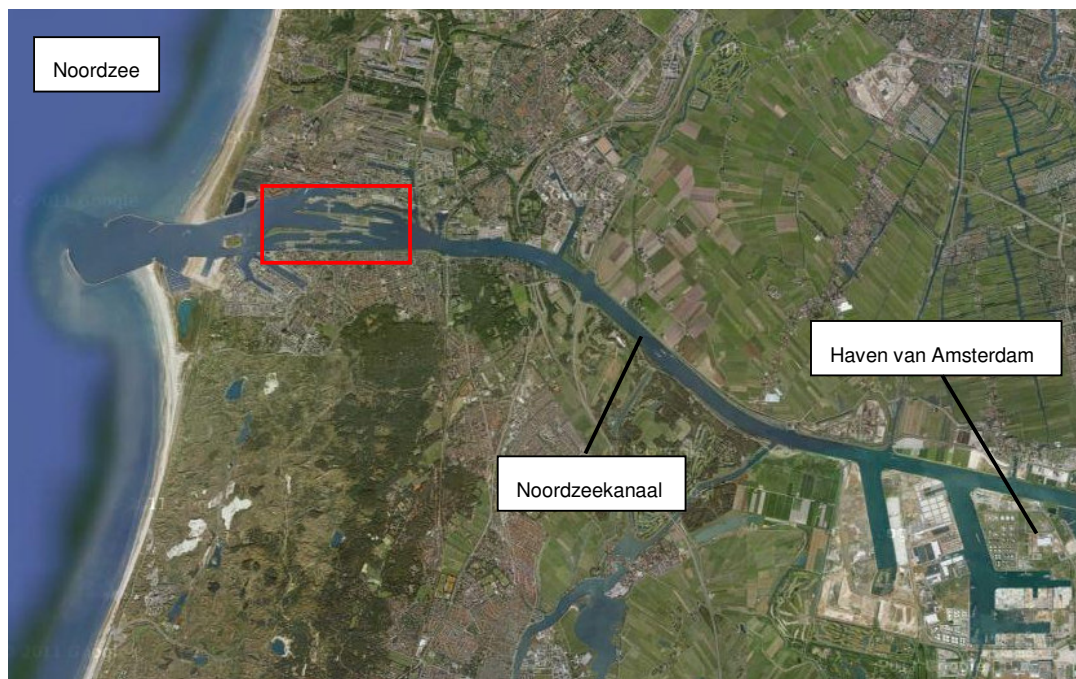
1 Inleiding

1.1 Doel en samenhang

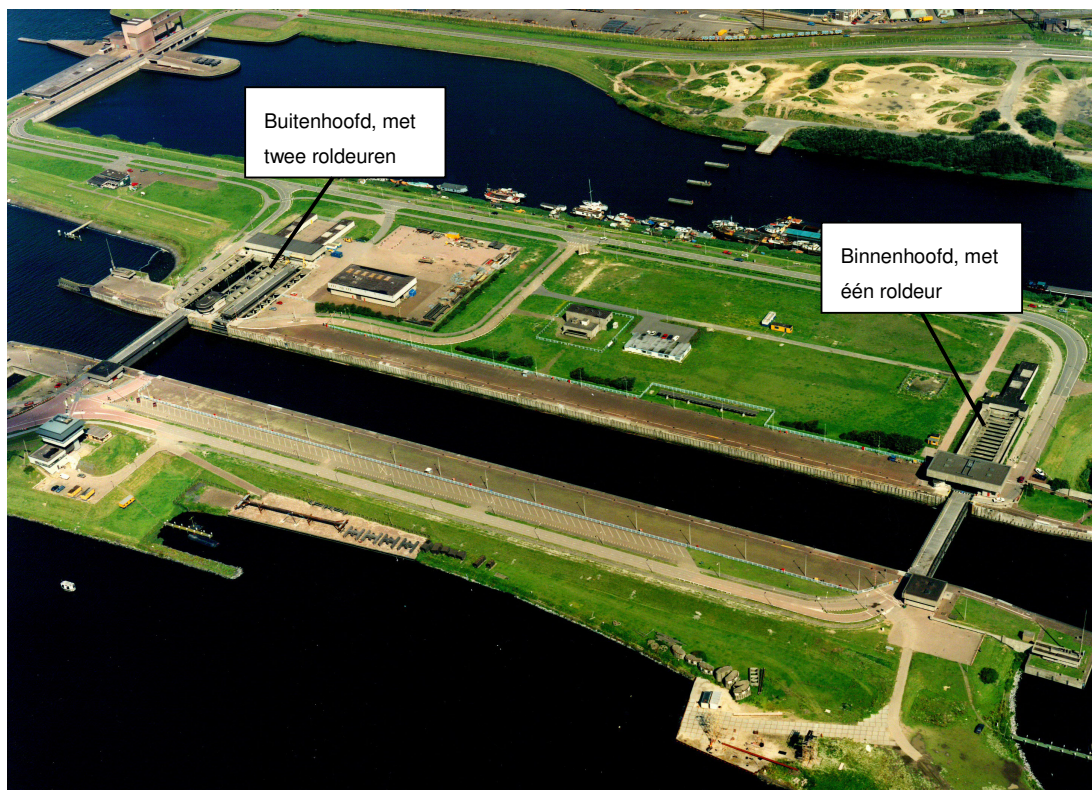
Voorliggend rapport betreft de disciplineanalyse Waterbouw van het object 25A-001-01, de Noordersluis te IJmuiden.

Deze rapportage is opgesteld in het kader van het T0-onderzoek behorend bij het project Zeetoeegang IJmond (BDX9235). Binnen dit T0-onderzoek wordt dezelfde aanpak gevolgd als bij het project RINK2011. Het acroniem RINK staat voor Risico Inventarisatie Natte Kunstwerken. In deze rapportage zijn analyses uitgevoerd van verschillende waterbouwkundige onderdelen van de Noordersluis. De beschouwde onderdelen zijn door de opdrachtgever voorgeschreven. Deze rapportage maakt deel uit van de Integrale RAMS-analyse van de Noordersluis (R-170) en dient in samenhang hiermee te worden beschouwd.

De Noordersluis te IJmuiden maakt onderdeel uit van Verbindende waterkering 7 (Sluizencomplex IJmuiden). De primaire waterkering verbindt de dijkkringgebieden 13 (Zuid-Holland) en 14 (Noord-Holland). Het sluizencomplex bestaat uit een zestal objecten, te weten: het Gemaal, de Spuisluis, de Noordersluis, de Middensluis, de Zuidersluis en de Kleine sluis. Het gehele complex en de ligging in het watersysteem is weergegeven in Figuur 1 (met rood aangegeven). In Figuur 2 is een luchtfoto van de Noordersluis opgenomen.



Figuur 1: Luchtfoto van het watersysteem, met in rood het sluizencomplex bij IJmuiden



Figuur 2: Luchtfoto Noordersluis te IJmuiden (kijkrichting noord), met de locaties van de roldeuren

1.2 Aanpak

In de analyse wordt vastgesteld onder welke omstandigheden de waterbouwkundige onderdelen falen en wat de faalkansen van deze onderdelen zijn. Falen hangt direct samen met de functie(s) van de waterbouwkundige onderdelen. Indien een waterbouwkundig onderdeel faalt, zoals een bodembescherming, is het functioneren van het object niet per definitie direct in gevaar. De invloed van het falen van een waterbouwkundig onderdeel op het functioneren van het object wordt geanalyseerd. Tezamen met de faalkansen vormt dit de input voor de RAMS-analyse.

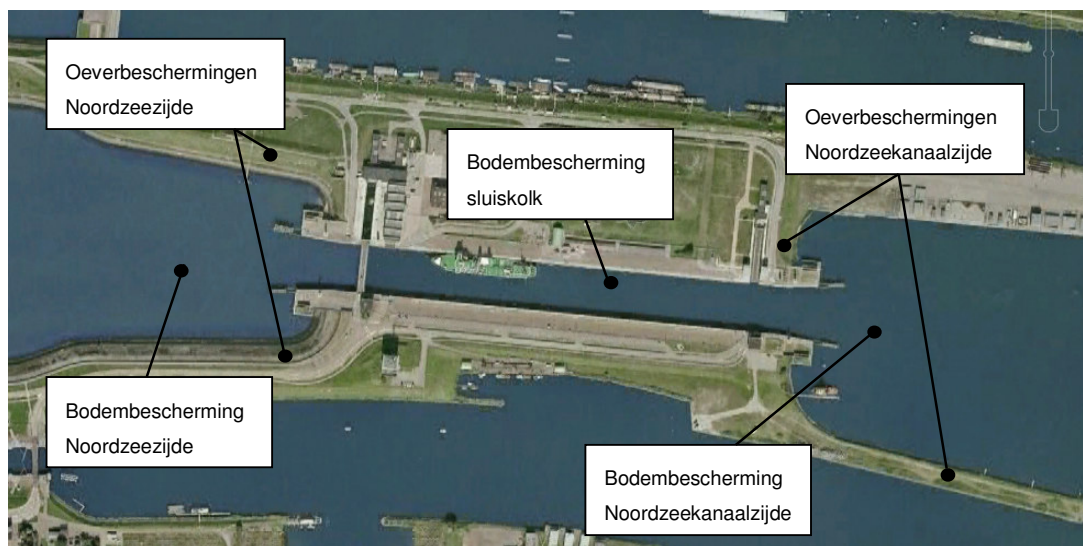
Samengevat bestaat de analyse van de waterbouwkundige onderdelen uit vier stappen.

1. Door middel van archiefonderzoek, multibeammetingen, interviews met o.a. de beheerder, droge inspectie en duikinspectie wordt de huidige sterkte van de waterbouwkundige onderdelen bepaald.
2. Vanuit deze verwachtingswaarde van de sterkte wordt berekend wat de toelaatbare belasting is waarbij dit onderdeel (nog niet) bezwijkt of faalt.

3. Er wordt bepaald welke belastingsituaties (kunnen) leiden tot falen, zoals vullen en ledigen, stroming t.g.v. (boeg)schroefstralen, (wind)golven, retourstroming etc. Voor elke belastingsituatie wordt bepaald welke belasting nog juist toelaatbaar is.
4. Voor elke belastingsituatie die kan leiden tot falen, wordt de overschrijdingsfrequentie van de maximaal toelaatbare belasting bepaald.

In de Generieke Aanpak Waterbouw (R-050 Generieke aanpak Waterbouw) wordt uitvoerig ingegaan op de invulling van bovenstaande stappen. Ook zijn daarin de algemene uitgangspunten en randvoorwaarden voor de analyse opgenomen.

Van de Noordersluis zijn de volgende waterbouwonderdelen geanalyseerd: kwelschermen, bodembeschermingen en oeverbeschermingen. De kolkvloer van de Noordersluis is ook beoordeeld door de discipline Waterbouw, deze bestaat uit stortsteen. De drijfrahmen in de sluis worden behandeld door de discipline Staal [Lit.10]. Er zijn aan zowel de Noordzeezijde als de Noordzeekanaalzijde van de Noordersluis geen schermen voor overgang naar bodembescherming aanwezig. In Figuur 3 zijn de locaties van de waterbouwonderdelen weergegeven, met uitzondering van de kwelschermen.



Figuur 3: Overzicht van de Noordersluis te IJmuiden, met locaties waterbouwonderdelen

1.3 Leeswijzer

Het analyserapport is opgedeeld in 9 hoofdstukken. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op nieuwe risico's. We spreken van een nieuw risico als de belasting op een onderdeel van de sluis sinds realisatie is toegenomen of juist de sterkte van het onderdeel door degradatie of schade is afgenomen. In hoofdstuk 3 zijn de objectspecifieke uitgangspunten gegeven. De analyseresultaten van de verschillende waterbouwkundige onderdelen zijn gerapporteerd in de hoofdstukken 4 tot en met 9. Het rapport wordt in hoofdstuk 10 afgesloten met een samenvatting, conclusies en aanbevelingen.



2 Nieuwe risico's

2.1 Introductie

Rijkswaterstaat heeft ongeveer vijfhonderd natte kunstwerken in beheer en is verantwoordelijk voor het functioneren hiervan. Op dit moment is er onvoldoende inzicht in zowel de onderhoudstoestand van deze kunstwerken, als in de mate waarin deze hun functies vervullen. Een recent uitgevoerde probleemverkenning geeft echter aanleiding te veronderstellen dat de natte kunstwerken gebreken vertonen en voedt het groeiende besef dat de onderhoudstaat en het functioneren van de natte kunstwerken onvoldoende is.

De oorzaak hiervoor dient niet slechts te worden gezocht in afnemende sterkte ten gevolge van veroudering, maar juist ook in toegenomen belastingen op en intensiever gebruik van de kunstwerken. Daarnaast zijn de huidige normen en richtlijnen voor de onderdelen van de kunstwerken sinds de realisatie (vaak meerdere decennia geleden) verschillende malen aangepast en verscherpt, wordt onderhoud aan de kunstwerken uitbesteed en is beleid de afgelopen decennia aan verandering onderhevig geweest. Deze veranderingen worden aangeduid met de term 'nieuwe risico's'.

2.2 Waterbouw gerelateerd

2.2.1 *Fysieke aanpassingen*

De realisatie van de sluis is in 1929 voltooid en de sluis is in 1930 in gebruik genomen. Sindsdien is de sluis meerdere malen aangepast, zowel ten gevolge van groot onderhoud als ten gevolge van gerichte explosies aan het eind van de Tweede Wereldoorlog [Lit. 33]. De explosies hebben vooral de bewegingswerken, de deurkassen, de roldeuren en de kolkwanden beschadigd en zijn in de verschillende disciplinerapporten beschreven. In de periode na de oorlog zijn deze schades vrijwel geheel hersteld. Voor zover bekend zijn geen schades aan de waterbouwonderdelen veroorzaakt. Voor de analyse van de waterbouwonderdelen is het van belang te weten dat de bodembeschermingen van de sluis aangepast zijn. In zowel de sluis kolk als aan de Noordzeekanaalzijde is de bodembescherming versterkt. Daarnaast is het oorspronkelijke luchtbellenscherm niet meer in gebruik. Het gevolg hiervan is dat de sluis geen functie zoet-zoutscheiding meer vervult. Grote dichtheidsverschillen in het water aan beide zijden van de sluis zijn hierdoor minder vaak aanwezig.

2.2.2 *Wijziging bedieningshandleiding*

Voor zover bekend hebben zich geen wijzigingen in de bedieningshandleiding voorgedaan.

2.2.3 *Schade en degradatie*

Door Nebest adviesgroep zijn in 2011 inspecties uitgevoerd [Lit. 8]. De belangrijkste constatering van de sterkteafname van de waterbouwonderdelen zijn de verschillende ontgrondingskuilen in de

sluiskolk. Langs de gehele as van de sluiskolk zijn ontgrondingen zichtbaar bij zowel de sluishoofden als in de sluiskolk. Daarnaast zijn er verdiepingen in de bodembescherming aan zowel de Noordzeezijde als de Noordzeekanaalzijde geconstateerd. Deze verdiepingen zijn al langere tijd aanwezig en in het verleden verdedigd met een (nieuwe) bodembescherming. Er zijn hier verder geen schades geconstateerd, de bodembescherming is intact.

2.2.4 *Hydraulische belasting*

De hydraulische belastingen op de waterbouwonderdelen zijn toegenomen door:

- Toename in scheepsbelastingen door het steeds vaker voorkomen van (grotere) schepen met grotere diepgang en motorvermogen, als gevolg van schaalvergroting van de scheepvaart¹;
- Toename in scheepsbelastingen door het uitrusten van cruiseschepen met draaibare schroeven, waardoor de schroefstraalbelasting op de bodembescherming in vooral de sluiskolk toeneemt;
- Toename in scheepsbelastingen door het uitrusten van grote schepen met boegschroeven, waardoor kosten op sleepbootassistentie bespaard kunnen worden.

2.2.5 *Maatgevende scheepsklasse*

De maatgevende scheepsklasse die door de Noordersluis kan worden gesluisd, wordt momenteel aangeduid als 100.000 DWT Post-Panamax containerschepen (met een lengte tot circa 325 m). De afgelopen decennia zijn de afmetingen en de motorvermogens van zeeschepen sterk toegenomen. De bodembeschermingen bij de Noordersluis zijn niet in staat om de optredende stroomsnelheden als gevolg van zowel schroefstralen als boegschroefstralen te weerstaan. Dit wordt bevestigd door de verschillende ontgrondingskuilen in de sluiskolk. Gezien de leeftijd van de Noordersluis, is de sluis niet ontworpen op de belastingen van de huidige beroepsvaart.

2.3 **Toekomstige risico's**

Geplande werkzaamheden rondom de sluis kunnen risico's met zich meebrengen, in die zin dat de belasting kan toenemen en/of de sterkte kan afnemen. Mogelijk risicovolle werkzaamheden aan zowel de sluis als het omliggende watersysteem zijn:

- De aanleg van een nieuwe grote zeesluis. Deze sluis (500 m x 65 m x 18 m) wordt mogelijk gesitueerd tussen de Middensluis en de Noordersluis, waardoor bijvoorbeeld belastingen ten gevolge van scheepvaart (translatiegolven en scheepsgolven) nabij de Noordersluis kunnen toenemen;
- De aanleg van nieuwe remmingswerken aan de Noordzeezijde van de sluis [Lit. 21]. Dit vormt mogelijk een risico voor de bodembescherming;
- Het eventueel wegvloeiën van objectkennis door het uitbesteden van beheer- en onderhoudswerkzaamheden. Hierdoor zou bijvoorbeeld in calamiteitsituaties niet adequaat gereageerd kunnen worden, omdat bepaalde objectkennis niet meer aanwezig is.

¹ De verruiming van de buitenhaven en verdieping van het Noordzeekanaal in de jaren '60 en '70 hebben hieraan bijgedragen.

3 Uitgangspunten

De algemene werkwijze, randvoorwaarden en uitgangspunten die voor alle objecten gelden, zijn opgenomen in de Generieke Aanpak Waterbouw [Lit. 7]. De uitgangspunten die specifiek voor de Noordersluis gelden, worden in dit hoofdstuk gegeven.

3.1 Algemene uitgangspunten

3.1.1 *Functies*

De Noordersluis heeft de volgende functies¹:

- Schutten
- (Hoog)waterkeren
- Spuien
- Verkeerspassage

3.1.2 *Toestanden*

De Noordersluis vervult bovenstaande functies tijdens verschillende toestanden, te weten:

1. Normaal sluisbedrijf
2. Onderhoud²
3. IJstoestanden
4. Calamiteiten

Ad 1

Tijdens normaal sluisbedrijf wordt de sluis ingezet om te schutten, water te keren, te spuien en wegverkeer (over de gesloten sluisdeuren) te laten passeren.

Ad 2

Periodiek onderhoud aan de werktuigbouwkundige en elektrotechnische installaties gebeurt tijdens normaal sluisbedrijf. De sluis blijft de functies schutten, waterkeren, spuien en verkeerspassage tijdens periodiek onderhoud vervullen.

Voor het uitvoeren van reparaties als gevolg van calamiteiten, evenals voor groot onderhoud, wordt de sluis gestremd voor scheepvaart. In deze toestand vervult de sluis uitsluitend de functie waterkeren. In de analyse wordt uitgegaan van een niet-beschikbaarheid van gemiddeld 27,7 uur per jaar [Lit. 11].

¹ Sinds het luchtbellenscherm van de sluis niet meer in gebruik is, vervult de sluis geen functie zoet-zoutscheiding meer.

Als gevolg hiervan is er tijdens uitwisseling van de sluiskolk sprake van zoutindringing in het Noordzeekanaal.

² Bij de toestand onderhoud is alleen de functie waterkeren van belang, met uitzondering van periodiek onderhoud aan de werktuigbouwkundige en elektrotechnische installaties.

Ad 3

Onder ijstoestanden wordt het sluisbedrijf bij lage temperaturen (watertemperatuur $<3^{\circ}\text{C}$ en luchttemperatuur $<0^{\circ}\text{C}$) verstaan. Door lage temperaturen kan een afwijkend beheer ingesteld worden, om te voorkomen dat sluisonderdelen vastvriezen.

Tijdens ijstoestanden wordt het ijsvrijhouden van de sluisen en de vaarwegen door een aannemer verzorgd [Lit. 17]. Op het kanaal betekent dit dat ijsbrekers ingezet worden. Hierdoor kunnen problemen met ijsplaten ontstaan nabij de Noordersluis. Dit heeft in het verleden echter niet geleid tot stremming van scheepvaart door de sluis. Aangezien de Noordersluis aan zee ligt en er nauwelijks meer beleid is met betrekking tot zoet-zoutscheiding, wordt ervan uitgegaan dat de sluis tijdens ijstoestanden alle functies blijft vervullen.

Ad 4

Onder calamiteiten worden toestanden verstaan waarbij (onderdelen van) de sluis één of meerdere functies niet vervullen. Bij de Noordersluis wordt voor de analyse van de waterbouwonderdelen onderscheid gemaakt in de volgende calamiteiten:

- Het falen van één van de schuiven in één van de omloopriolen.
- Het aanvaren en beschadigen van de sluisdeuren.
- Het aanvaren en beschadigen van de bodembeschermingen.
- Het aanvaren en beschadigen van de oeverbescherming.

Bovenstaande calamiteiten kunnen tot belastingsituaties leiden, die tijdens normaal sluisbeheer niet (in deze mate) optreden.

In Tabel 1 is van de verschillende functies en toestanden de kans (per dag) op voorkomen opgenomen. De kansen zijn aangeleverd door de discipline RAMS [Lit. 11].

Tabel 1: Kans op voorkomen van toestand *i*

Toestand <i>i</i>	Kans per dag op voorkomen van toestand <i>i</i> ($P(T_i)$)
Normaal sluisbedrijf	
Schutten	7,6071E-01
Waterkeren	2,3548E-01
<i>Hoogwater (waterstand \geq NAP+3,40 m)</i>	3,5000E-06
<i>Laagwater (waterstand \leq NAP-2,50 m)</i>	1,7000E-06
<i>Overige waterstanden (waarbij niet wordt geschut)</i>	2,3547E-01
Spuien	8,7812E-05
Onderhoud	
Waterkeren	3,1621E-03
Ijstoestanden	
Schutten, waterkeren, spuien	0,0000E+00
Calamiteiten	
Schutten, waterkeren, spuien	5,6792E-04
Som	1,0000E+00

3.1.3 Scheepsklasse

Het sluisencomplex bij IJmuiden is de zeetoegang tot de Haven van Amsterdam en de havens van Velsen, Beverwijk en Zaandam. De Noordersluis wordt gebruikt voor het schutten van zowel binnenvaartschepen als zeeschepen. Incidenteel worden recreatieschepen geschut. Jaarlijks passeren gemiddeld 9.300 schepen de Noordersluis. De verdeling tussen het aantal geschutte binnenvaartschepen en zeeschepen is grofweg 1/3 om 2/3 [Lit. 4].

3.1.3.1 Maximaal toegestane afmetingen

Gezien de afmetingen van de Noordersluis kunnen binnenvaartschepen van elke CEMT-klasse geschut worden. Voor zeeschepen gelden maximaal toegestane afmetingen, zie Tabel 2.

Tabel 2: Maximaal toegestane afmetingen in de Noordersluis (geldig voor alle schepen) [Lit. 17]

Parameter	Toegestaan	Toestemming onder voorwaarden van het hoofd Verkeersleiding	Dimensie
Lengte	≤ 325,00	> 325 en ≤ 350	[m]
Breedte	≤ 42,00	> 42,0 en ≤ 45,0	[m]
Diepgang	≤ 13,10	≤ 13,75	[m]
Kielspeling ¹	≥ 1,00	< 1,00	[m]

3.1.3.2 Sleepbootgebruik

Binnenvaartschepen zijn vrijgesteld van sleepbootgebruik. Voor zeeschepen geldt dat op basis van indeling van schepen naar draagvermogen (DWT), type schepen (soort lading) en scheepsontwerp (hek- en/of boegschroef, verstelbare schroeven) één of meer achtersleepboten met een minimaal gezamenlijke trekkracht worden voorgeschreven, zie Tabel 3. Afhankelijk van de breedte en diepgang hebben bulkcarriers en containerschepen ook een voorsleepboot nodig.

Tabel 3: Regels voor sleepbootgebruik [Lit. 17]

Draagvermogen (DWT) [ton]	Trekkracht [ton]
10.000 t/m 20.000	9
20.000 t/m 100.000	18
> 100.000	30

3.1.3.3 Maatgevend schip

Gezien de afmetingen en motorvermogens zijn zeeschepen maatgevend ten opzichte van binnenvaartschepen. Zeeschepen die de sluis passeren zijn onder te verdelen in coasters, tankers, carcarriers, bulkcarriers, containerschepen en cruiseschepen. Voorbeelden van deze typen schepen zijn in Tabel 4 weergegeven².

¹ Voor een meer volledige beschrijving van maximale diepgang en minimale kielspeling onder bepaalde voorwaarden wordt verwezen naar [Lit. 3].

² Ten tijde van het opstellen van de 2d-versie is door RWS Dienst Noord-Holland informatie verstrekt over schepen die de Noordersluis in het verleden gepasseerd hebben. Hieruit blijkt dat de eigenschappen van de schepen vermeld in Tabel 4 realistisch zijn.

Tabel 4: Voorbeelden van schepen die de Noordersluis passeren [Lit. 12]

Type zeeschip	Lengte [m]	Breedte [m]	Diepgang [m]	Draagvermogen [ton]	Motorvermogen hoofdschroef [kW]
Coaster	125	21	8,00	10.900	4.500
Tanker	185	29	10,50	39.000	8.165
CarcARRIER	225	32	9,00	19.000	13.500
Bulkcarrier (1)	229	32	12,30	73.248	6.424
Bulkcarrier (2)	242	40	13,75	110.000	8.500
Bulkcarrier (3)	300	45	10,00	168.000	13.600
Containerschip	320	43	12,50	100.000	68.640
Cruiseschip	292	32	8,20	12.000	40.000

Voor de analyse van de waterbouwonderdelen zijn containerschepen¹ vanwege het grote motorvermogen en de relatief grote diepgang maatgevend. De maatgevende scheepsklasse is gebaseerd op 100.000 DWT Post-Panamax containerschepen met een lengte van 325 m. Het representatieve schip waar in de analyse mee gerekend wordt, is het 99.518 DWT Post-Panamax containerschip OOCL Shenzhen. De eigenschappen van dit schip zijn weergegeven in Tabel 5. Als gevolg van het hierboven gepresenteerde sleepbootgebruik, moet dit maatgevende schip in zowel de sluis als het Noordzeekanaal gebruik maken van sleepboten. Daarnaast mag dit schip de sluis alleen passeren bij toestemming van het hoofd Verkeersleiding (met een maximale diepgang van 13,75 m, zie Tabel 2).

Tabel 5: Gegevens van het maatgevende schip (OOCL Shenzhen) voor de Noordersluis [Lit. 12]

Parameter	Waarde	Dimensie
lengte	322,97	[m]
breedte	42,80	[m]
diepgang geladen	14,53	[m]
diepgang ongeladen	-	[m]
maximaal motorvermogen hoofdschroef	69.467	[kW]
gebruikt motorvermogen hoofdschroef	(zie § 3.3.1.12)	[kW]
aantal schroeven	1	[-]
diameter hoofdschroef D_p	8,00	[m]
diameter hoofdschroef D_0	5,60	[m]
maximaal motorvermogen boegschroef	2.500	[kW]
gebruikt motorvermogen boegschroef	(zie § 3.3.1.13)	[kW]
diameter boegschroef D_p	2,90	[m]
diameter boegschroef D_0	2,90	[m]

¹ Naar aanleiding van contact met de Haven van Amsterdam wordt in hoofdstuk 7 tevens een korte analyse van cruiseschepen met draaibare schroeven (Azipods) uitgevoerd. Azipods zijn 360° draaibare schroeven die tevens als roer functioneren. De geproduceerde schroefstralen zijn zeer sterk en omdat cruiseschepen veel wind vangen, wordt als gevolg van koerscorrecties geregeld een hoog vermogen aangewend. Vanwege afbuiging van de schroefstraal via de wanden van de sluisolk zijn deze schepen mogelijk maatgevend voor de bodembescherming in de sluisolk.

3.1.4 *Normfrequentie hoogwaterveiligheid*

De Noordersluis maakt onderdeel uit van Verbindende waterkering 7 en is van categorie a, type 1 (constructie die volledig zelfstandig de waterkerende functie moet vervullen). Omdat dijkkring 14 aansluit op het sluisencomplex geldt een normfrequentie van 1/10.000 jaar voor Verbindende waterkering 7. De primaire waterkering loopt over het buitenhoofd (Noordzeezijde).

3.1.5 *Bediening bij normaal sluisbedrijf*

Tijdens normaal sluisbedrijf wordt de sluis ingezet om te schutten, water te keren, te spuien en wegverkeer te laten passeren. In deze paragraaf worden deze functies kort beschreven.

3.1.5.1 Schutten

De Noordersluis is in principe 24 uur per dag, 365 dagen per jaar in bedrijf om schepen te schutten. Het schutten wordt slechts beperkt door een maximaal schutpeil, een minimaal schutpeil en een maximale windsnelheid.

Bij waterstanden hoger dan NAP+3,40 m wordt het schutbedrijf gestopt en is het hoogwaterbeheer van kracht. Deze waterstand heeft een overschrijdingsfrequentie van ongeveer 1/65 per jaar (geïnterpoleerd uit Tabel 8).

Bij waterstanden lager dan NAP-2,50 m, wordt het schutten eveneens gestopt. Deze waterstand heeft een onderschrijdingsfrequentie van 1/100 per jaar (zie Tabel 8).

Naast beperkingen voor het schutbedrijf vanuit waterstanden op de Noordzee is er een beperking vanuit windsnelheid. Het schutten wordt gestopt bij windkracht gelijk aan of groter dan 10 Bft (zware storm) [Lit. 4]. Deze windkracht leidt tot gemiddelde windsnelheden (over 10 min. gemeten) van 24,5-28,4 m/s en heeft afhankelijk van de windrichting een overschrijdingsfrequentie van 1/100 per jaar tot 1/1.000 per jaar [Lit. 27].

3.1.5.2 Waterkeren

De sluis voert de functie waterkeren altijd uit, ook tijdens het uitvoeren van de overige functies. Aangezien het schutproces bij het maximale en minimale schutpeil op de Noordzee beëindigd wordt, is in deze analyse bij de functie waterkeren onderscheid gemaakt in hoogwater keren en laagwater keren. Dit zijn situaties waarbij de sluis uitsluitend de functie waterkeren vervult en de waterstand vervallen over de sluis groter zijn dan tijdens het schutproces. Dit geldt echter niet voor de waterstand vervallen over het buiten- en binnenhoofd, deze zijn groter tijdens het schutproces (zie § 3.3.1.6 en Bijlage 4).

Hoogwater keren

Vanaf een waterstand op de Noordzee hoger dan NAP+3,40 m wordt er niet meer geschut. Bij waterstanden hoger dan NAP+3,40 m vervult de sluis alleen de functie hoogwater keren.

Laagwater keren

Vanaf een waterstand op de Noordzee lager dan NAP-2,50 m wordt er niet meer geschut. Bij waterstanden lager dan NAP-2,50 m vervult de sluis alleen de functie laagwater keren.

De drie roldeuren¹ van de Noordersluis zijn waterkerend in twee richtingen (zie Figuur 2). De kerende hoogte van de meest westelijke roldeur is NAP+5,85 m (gerealiseerd door een borstwering). De kerende hoogte van de overige deuren is NAP+5,00 m. In extreme situaties (zie § 3.3.1.6) treedt overslag van water op. Dit water wordt opgevangen in de sluiskolk tot een waterstand van NAP+3,40 m bereikt wordt. Bij overschrijding van deze waterstand wordt het overtollige water in de sluiskolk afgevoerd via de openingen in de binnendeur. De onderzijde van deze opening ligt op NAP+3,40 m. Deze openingen zijn niet voorzien van afsluitmiddelen en kunnen daarom niet onverhoopt afgesloten worden.

3.1.5.3 Spuien

In sluizencomplex zijn de spuisluis (in geval van eb) en het gemaal (in geval van waterstanden op de Noordzee hoger dan het kanaalpeil) middelen die primair bedoeld zijn om te spuien. Incidenteel wordt er met de Noordersluis gespuid. Dit gebeurt in beginsel alleen wanneer er geen scheepvaartaanbod is, maar dit kan ook noodzakelijk zijn in het geval er een hoogwaterregime op het Noordzeekanaal van kracht is (waterstand hoger dan NAP-0,32 m) en de overige spuiemiddelen niet voldoende capaciteit kunnen bieden. In dit geval wordt vanaf een waterstand van NAP-0,25 m op het Noordzeekanaal met de Noordersluis gespuid.

Naast spuien ten gevolge van de beheersing van de waterkwantiteit wordt er tevens gespuid ten behoeve van de beheersing van de waterkwaliteit. Onder slechte waterkwaliteit wordt verstaan: chemische vervuiling, zuurstoftekort, thermische verontreiniging en verzilting van het achterland. Ook hier geldt dat onder bijzondere omstandigheden beheerst afvoeren van water uit het Noordzeekanaal via de Noordersluis een hogere prioriteit krijgt dan het schutten van de scheepvaart.

Tijdens de functie spuien worden de omloopriolen in het buitenhoofd gebruikt, terwijl de binnendeur geopend is. Als gevolg hiervan is het niet mogelijk om schepen te schutten, waardoor vertraging in het schutproces optreedt. De werkwijze en duur van het spuien wordt altijd overlegd tussen het Districtshoofd en het hoofd Verkeersleiding [Lit. 17]. Volgens de beheerder komt spuien met de Noordersluis slechts sporadisch voor (zie [Lit. 11]). Door de discipline RAMS is de kans per dag op de functie spuien vastgesteld op 8,7812E-05 per dag (dit is eigenlijk een percentage van de tijd [Lit. 11]).

3.1.5.4 Verkeerspassage²

De meest westelijke en de meest oostelijke roldeur van de Noordersluis zijn (sinds 1967) geschikt om wegverkeer te laten plaatsvinden. Er wordt tijdens het schutten zoveel mogelijk tegemoet gekomen aan een veilige en vlotte afwikkeling van het wegverkeer [Lit. 17]. Afhankelijk van welke deur gesloten is, kan wegverkeer plaatsvinden over het buiten- of binnenhoofd³.

¹ De oostelijke roldeur in het buitenhoofd is vanwege onderhoud altijd in de deurkas aanwezig. De deurkas is afgesloten met een droogzetvoorziening. In geval van calamiteiten kan deze deur gesloten worden.

² Deze functie wordt in het kader van de waterbouwanalyse niet verder beschouwd.

³ Er zijn situaties waarbij de deuren in het buiten- en het binnenhoofd gesloten zijn. In dit geval vindt wegverkeer maar over één van de deuren plaats.

3.1.6 *Bediening bij onderhoud*

Tijdens onderhoud aan de rails, de rolwagens en de roldeuren kunnen de deuren in de kas drooggezet worden. Daarnaast worden de roldeuren van de sluis, vanwege het zoute milieu en de uitstoot van de Hoogovens, elke 8 jaar geconserveerd. Bij normale inzet hebben de deuren een natte standtijd van 4 jaar. Elke vier jaar worden dan zowel de deuren als de rolwagens verwisseld [Lit. 32]. Hoe het verwisselen van de deuren en rolwagens plaatsvindt is beschreven in [Lit. 11]. Tijdens onderhoud aan de sluis kan niet worden gesluisd en vervult de sluis alleen de functie waterkeren.

3.1.7 *Bediening bij ijstoestanden*

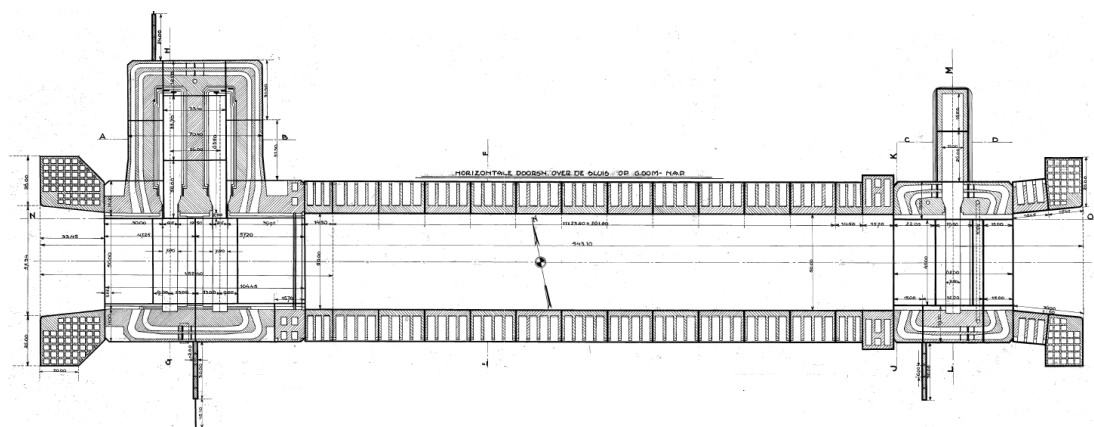
In opdracht van het Districtshoofd verzorgt een aannemer het ijsvrijmaken van de sluisen en vaarwegen. De Noordersluis wordt tijdens ijstoestanden volgens normale procedure bediend.

3.1.8 *Bediening bij calamiteiten*

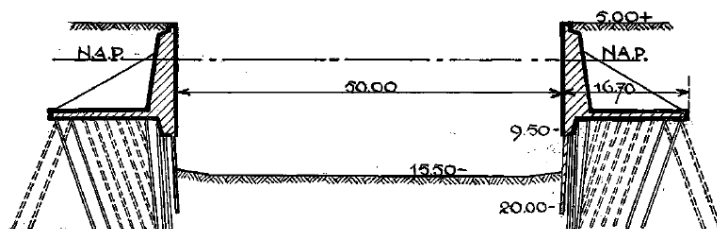
Er kan tijdens calamiteiten overgeschakeld worden op nood-/handbediening van de deuren. De deuren kunnen in geval van calamiteiten dus altijd gesloten worden. Daarnaast is er een noodstop aanwezig.

3.2 **Geometrie van de sluis**

De Noordersluis kan opgedeeld worden in drie delen, namelijk het buitenhoofd, de sluiskolk en het binnenhoofd. In zowel het buiten- als het binnenhoofd zijn roldeuren en omloopriolen aanwezig. De sluiskolk bestaat uit betonnen wanden en een bodem van stortsteen. De lengte tussen de roldeuren en tussen de stopstrepen is respectievelijk 400 m en 375 m. In Figuur 4 en Figuur 5 is respectievelijk een horizontale doorsnede van de sluis en een dwarsdoorsnede over de sluiskolk weergegeven. In Tabel 6 zijn de hoofdafmetingen van de sluis gegeven.



Figuur 4: Horizontale doorsnede van de Noordersluis, met hoofdafmetingen [Tek. 2]



Figuur 5: Dwarsdoorsnede over sluisenkolk, met hoofdafmetingen [Tek. 2]

Het nivelleren van de Noordersluis gebeurt door de omloopriolen. Aan de noord- en zuidzijde van zowel het buiten- als het binnenhoofd zijn twee riolen aanwezig, zie Figuur 4. De riolen worden met stalen schuiven afgesloten. De riolschuiven worden met hydraulische cilinders bewogen. Aangezien de roldeuren zich aan de noordzijde van de sluis bevinden, zijn de riolschuiven aan de noordzijde van het buitenhoofd geplaatst in het schuivengebouw achter de deurkassen. De riolen aan de noordzijde van het binnenhoofd doorkruisen de deurkas. Daarom zijn aan de west- en oostzijde van de binnendeurkas riolschuiven aangebracht. Het doorsnedeoppervlak van één omloopriool bedraagt $5,70 \times 2,50 = 14,15 \text{ m}^2$.

Tabel 6: Hoofdafmetingen van de Noordersluis (volgens ontwerp)

Onderdeel	Waarde	Eenheid
Buitenhoofd		
-Lengte	104,45	[m]
-Breedte	50,00	[m]
-Bodemhoogte (vloer sluishoofd)	-15,00	[m+NAP]
-Bovenkant westelijke deur	+5,85	[m+NAP]
-Bovenkant oostelijke deur	+5,00	[m+NAP]
-Laagste niveau onderkant vloer	-19,50	[m+NAP]
-Bovenkant bodembescherming	-15,50	[m+NAP]
Kolk		
-Lengte	306,15	[m]
-Breedte	50,00	[m]
-Bovenkant bodembescherming	-15,50	[m+NAP]
Binnenhoofd		
-Lengte	62,00	[m]
-Breedte	50,00	[m]
-Bodemhoogte (vloer sluishoofd)	-15,00	[m+NAP]
-Bovenkant binnendeur	+5,00	[m+NAP]
-Laagste niveau onderkant vloer	-18,20	[m+NAP]
-Bovenkant bodembescherming	-15,50	[m+NAP]

3.3 Hydraulische randvoorwaarden

Voor de waterbouwonderdelen zijn de hydraulische randvoorwaarden bepalend voor de belastingsituaties die op kunnen treden. In onderstaande paragrafen is per toestand aangegeven welke hydraulische randvoorwaarden van toepassing zijn.

3.3.1 Toestand 1: normaal (sluis)bedrijf

3.3.1.1 Maatgevend hoogwater

De extreme hoogwaterstanden in de buitenhaven van IJmuiden door getijde en opwaaiing op zee zijn weergegeven in Tabel 8. Bij een normfrequentie van 1/10.000 per jaar wordt een waterstand van NAP+5,15 m in rekening gebracht. Het (afgeronde) toetspeil van de waterkering waar de Noordersluis deel van uitmaakt is volgens de HR2006 NAP+5,2 m [Lit. 13].

3.3.1.2 Waterstanden aan de Noordzezijde

Bij de waterstanden die in de buitenhaven van IJmuiden optreden, wordt onderscheid gemaakt in dagelijkse waterstanden, extreme hoogwaterstanden en extreme laagwaterstanden.

Dagelijkse waterstanden

De dagelijkse waterstanden zijn onder invloed van het getijde op de Noordzee. De hoog- en laagwaterstanden zijn weergegeven in Tabel 7. De gemiddelde waterstand is ongeveer gelijk aan NAP.

Tabel 7: *Dagelijkse waterstanden [Lit. 27]*

Type getij	Hoogwaterstand [m+NAP]	Laagwaterstand [m+NAP]
Gemiddeld springtij	1,15	-0,75
Gemiddeld getij	0,97	-0,73
Gemiddeld doottij	0,75	-0,64
Extreem astronomisch getij	1,45	-1,07

De maximale stijgsnelheid van de waterstand door de getijdegolf is 0,017 m/min.

De maximale daalsnelheid van de waterstand door de getijdegolf is 0,010 m/min.

Extreme hoogwaterstanden

De extreme hoogwaterstanden die optreden in de buitenhaven van IJmuiden door getijde en opwaaiing op zee zijn weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8: Extreme hoogwaterstanden, 2010 [Lit. 27]

Frequentie [1/xx per jaar]	Hoogwaterstand [m+NAP]
Hoogwaterstanden tijdens W-stormen	
1	1,90
10	2,30
Hoogwaterstanden tijdens NW-stormen	
1	2,35
2	2,50
10	2,95
100	3,70
1.000	4,40
10.000	5,15
100.000	5,90
1.000.000	6,65

De maximale stijgsnelheid van de waterstand in extreme omstandigheden is 0,04 m/min.
De hoogst bekende waterstand in de buitenhaven van IJmuiden is NAP+3,85 m, opgetreden op 1 februari 1953. Deze waterstand heeft een overschrijdingsfrequentie van ongeveer 1/300 per jaar.

Extreme laagwaterstanden

De extreme laagwaterstanden in de buitenhaven van IJmuiden door getijde en afwaaiing op zee zijn weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9: Extreme laagwaterstanden, 2010 [Lit. 27]

Frequentie [1/xx per jaar]	Laagwaterstand [m+NAP]
1	-1,75
10	-2,20
100	-2,50
1.000	-2,75
10.000	-3,00
100.000	-3,25
1.000.000	-3,50

De laagste waterstand die tijdens de levensduur van de sluis is opgetreden (15 maart 1964), is NAP-2,40 m. De laagst bekende waterstand in de buitenhaven van IJmuiden is NAP-2,50 m, opgetreden in 1913. Deze laagst bekende waterstand heeft een onderschrijdingsfrequentie van 1/100 per jaar.

3.3.1.3 Waterstanden aan de Noordzeekanaalzijde

Bij de waterstanden op het Noordzeekanaal wordt onderscheid gemaakt in gemiddeld kanaalpeil, waterstanden tijdens extreme situaties en toeslagen voor op- en afwaaiing.

Gemiddeld kanaalpeil

Het streefpeil voor het Noordzeekanaal, dat in open verbinding staat met het Amsterdam-Rijnkanaal, is NAP-0,40 m. Dit kanaalpeil varieert met een marge van +/- 0,20 m (behoudens extreme piekwaarden). De extreme waterstanden¹ op het kanaal ter hoogte van het sluisencomplex zijn gegeven in Tabel 10.

Tabel 10: Gemiddelde waterstanden op het kanaal in extreme situaties [Lit. 27]

Frequentie [1/xx per jaar]	Hoogwaterstand [m+NAP]	Laagwaterstand [m+NAP]
10	-0,29	-0,54
100	-0,26	-0,60
1.000	-0,24	-0,65
10.000	-0,22	-0,68
100.000	-0,20	-0,72
1.000.000	-0,19	-0,75

Op- en afwaaiing

Ter plaatse van het sluisencomplex gelden de waarden voor op- en afwaaiing uit Tabel 11.

Tabel 11: Op- en afwaaiing kanaalzijde

Frequentie [1/xx per jaar]	Op-/afwaaiing [m]
1	+/-0,20
10.000	+/-0,30

3.3.1.4 Translatiegolven

Translatiegolven leiden tot een (tijdelijke) waterstandverhoging, waarbij sprake is van een hydrostatische drukverdeling over de waterdiepte. Indien translatiegolven kunnen optreden, wordt bepaald welke waterstandverhoging van toepassing is. Voor translatiegolven in de sluiscolk is conform de Generieke aanpak +/- 0,30 m aangehouden [Lit. 7].

In de analyse van de Noordersluis wordt naast translatiegolven in de sluiscolk onderscheid gemaakt in translatiegolven aan de Noordzeezijde en translatiegolven aan de

¹ Het is niet bekend of deze waterstanden op het kanaal gecorreleerd zijn met afwaaiing of opwaaiing. Daarom wordt bij het bepalen van de waterstandvervalen de waterstand conservatief aangehouden en uitgegaan van een lage of hoge waterstand op het kanaal in combinatie met op- of afwaaiing.

Noordzeekanaalzijde. Op basis van een analyse van de (mogelijke) oorzaken van translatiegolven is de hoogte ingeschat. Mogelijke oorzaken van translatiegolven nabij de Noordersluis zijn:

- (Abrupte) bediening van de spuisluizen;
- (Abrupte) bediening van het gemaal;
- Nivelleren door omliggende schutsluizen;
- In- en uitvaren van schepen, of het langsvaren van schepen.

Op basis van bovenstaande oorzaken wordt voor de Noordzeezijde uitgegaan van een translatiegolf van +/- 0,10 m en voor het Noordzeekanaal van een translatiegolf van +/- 0,20 m. De golfsteilheid van deze translatiegolven is 0,10 m/min.

Gezien de hierboven gepresenteerde oorzaken worden translatiegolven voornamelijk opgewekt tijdens schutbedrijf. Tijdens extreme hoog- en laagwaterstanden op de Noordzee worden translatiegolven daarom verwaarloosbaar verondersteld.

3.3.1.5 Seiches

Voor seiches als gevolg van meteorologische invloeden (bijvoorbeeld bui-oscillaties) op zee en daaruit volgende resonantie in de buitenhaven, worden door verschillende bronnen verschillende waarden gegeven [Lit. 27]. Wanneer uitgegaan wordt van de meest recente studie naar seiches in de buitenhaven van IJmuiden (uitgevoerd door RWS NH en Alkyon) blijkt dat vooral seiches met een grote periode ($T > 20$ min.) zorgen voor een aanzienlijke verhoging van de maximum waterstand. Deze seiches moeten daarom opgeteld worden bij de dagelijkse waterstanden en extreme hoogwaterstanden.

In de disciplineanalyses wordt een seiche met een golfhoogte van 1,20 m (1/10.000 per jaar) in rekening gebracht in combinatie met de extreme waterstanden. Dit betekent een waterstandverhoging (met hydrostatische drukverdeling) van 0,60 m ($=H/2$). Voor de situatie van het maximale schutpeil wordt een seiche met een golfhoogte van 0,60 m in rekening gebracht. Dit leidt tot een waterstandverhoging van 0,30 m ($=H/2$).

3.3.1.6 Waterstandvervallen

In Tabel 12 zijn voor de functies tijdens normaal sluisbedrijf de waterstandvervallen over de gehele sluis gegeven waarmee in de verschillende disciplineanalyses rekening is gehouden.

Let op: in Tabel 12 zijn de waterstanden inclusief hydrostatische toeslagen (seiches, op-/afwaaing en translatiegolven) weergegeven. Voor inzicht in de achtergrond van de verschillende waterstanden en de tot stand koming van de vervallen over de afzonderlijke sluishoofden wordt verwezen naar Bijlage 4.

Tabel 12: Waterstandvervallen voor de beschouwde functies tijdens normaal sluisbedrijf

Normaal sluisbedrijf	ws Noordzee [m+NAP]	toeslag Noordzeezijde [m]	ws NZK-zijde [m+NAP]	toeslag NZK-zijde [m]	Verval [m]
schutten max. peil	3,70	windgolf 10^{-1}	-0,94	-	4,64
schutten min. peil	-2,80	-	0,11	windgolf 10^{-1}	-2,91
laagwater keren	-3,60	-	0,01	windgolf 10^{-1}	-3,61
hoogwater keren	5,80	deining 10^{-4} windgolf 10^{-4}	-0,84	-	6,64

Opmerkingen bij tabel:

1. Tijdens hoogwater keren bij een waterstand op de Noordzee wordt getrapt gekeerd, het maximale verval per sluishoofd is daarom kleiner dan het maximale verval over de sluis.
2. Bij de berekening van het verval worden deining en windgolven niet in rekening gebracht. De invloed van de inkomende windgolven op de sluis wordt apart in rekening gebracht met de methode van Goda.
3. Translatiegolven in situaties van hoog- en laagwater keren worden voor het verval niet in rekening gebracht. Aangenomen wordt dat deze tijdens het schutproces ontstaan.

Ten opzichte van de toestand normaal sluisbedrijf leiden de toestanden onderhoud¹, calamiteiten en ijstoestanden niet tot grotere vervallen. De waterstanden en vervallen bij deze toestanden zijn daarom niet separaat beschouwd.

3.3.1.7 Windgolven

Aan de Noordzeezijde wordt onderscheid gemaakt in zowel deining² als lokaal opgewekte windgolven. Aan de Noordzeekanaalzijde treden alleen lokaal opgewekte windgolven op.

Noordzeezijde – deining

De transmissie van windgolven vanuit zee tijdens NW-stormen ter plaatse van de Noordersluis zijn weergegeven in Tabel 13.

Tabel 13: Gegevens over deining [Lit. 27]

Frequentie [1/xx per jaar]	Significante golfhoogte H_s [m]	Significante golfperiode T_s [s]
1.000	0,50	12,5
10.000	0,55	12,5

¹ Volgens de beheerder wordt bij het plannen van onderhoud rekening gehouden met de verwachte omstandigheden. Bij het naderen van de datum van het onderhoud wordt ingespeeld op de (weers)voorspellingen. Op basis hiervan wordt onderhoud eventueel op een ander tijdstip gepland.

² Windgolven die door stormen opgewekt worden op de Noordzee bereiken voor de ingang van de Haven van IJmuiden een significante golfhoogte (H_s) van 5,70 m met een golfperiode ($T_{m-1,0}$) van 10,7 s [Lit. 13]. Deze windgolven planten zich binnen de Havendammen van IJmuiden (golfbrekers) als deining voort richting de Noordersluis. Door de werking van de havendammen wordt de golfhoogte aanzienlijk gereduceerd.

Gezien de relatief korte periode (12,5 s) wordt deining als een golf in rekening gebracht. Deining kan tegelijkertijd optreden met extreme hoogwaterstanden en een seiche. In de disciplineanalyses wordt deining met een golfhoogte van 0,55 m in rekening gebracht (1/10.000 per jaar).

Noordzeezijde – lokale windgolven

Voor lokale windgolven door opwekking in de buitenhaven van IJmuiden is de strijklengte bij noordwestenwind circa 1,6 km en bij westenwind circa 2,0 km. Deze windrichtingen zorgen tijdens dagelijkse situaties voor de grootste windgolven nabij de Noordersluis, zie Tabel 14. Tijdens extreme situaties wordt uitgegaan van noordwestenwind, zie Tabel 15.

Tabel 14: Windgolven in buitenhaven IJmuiden – dagelijkse situaties [Lit. 27]

Frequentie [1/xx per jaar]	Windrichting [-]	Significante golfhoogte H _s [m]	Significante golfperiode T _s [s]
1	NW	0,30	1,70
10	NW	0,40	1,90
1	W	0,60	2,30
10	W	0,80	2,60

Tabel 15: Windgolven in buitenhaven IJmuiden – extreme situaties [Lit. 27]

Frequentie [1/xx per jaar]	Windrichting [-]	Significante golfhoogte H _s [m]	Significante golfperiode T _s [s]
1.000	NW	0,80	2,50
10.000	NW	0,90	2,70

In extreme situaties kunnen windgolven tegelijkertijd optreden met toetspeil, seiches en deining. In de disciplineanalyses worden windgolven met een golfhoogte van 0,90 m en een golfperiode van 2,70 s in rekening gebracht (1/10.000 per jaar).

Noordzeekanaalzijde – lokale windgolven

Voor lokale windgolven door opwekking op het kanaal geldt bij oostenwind een strijklengte van circa 1,5 km.

Tabel 16: Windgolven in binnenhaven IJmuiden [Lit. 27]

Frequentie [1/xx per jaar]	Windrichting [-]	Significante golfhoogte H _s [m]	Significante golfperiode T _s [s]
Dagelijkse situatie met O-wind			
1	O	0,30	1,90
10	O	0,40	2,00
Extreme situatie met O-storm			
1.000	O	0,60	2,20
10.000	O	0,70	2,30

3.3.1.8 Scheepsgolven

Grote zeeschepen (DWT>10.000) varen onder begeleiding van sleepboten en zullen als gevolg hiervan niet snel varen. Voor deze schepen geldt dat de snelheid bij het passeren van de sluisdrempel niet meer dan 1,5 km/u (=0,42 m/s) mag bedragen [Lit. 17]. Gezien de relatief beperkte doorvaartopening in geval van grote zeeschepen wordt deze vaarsnelheid vanwege de grote scheepsweerstand in de praktijk niet overschreden (zie [Lit. 28]). De golfopwekking van zeeschepen is daarom verwaarloosbaar klein.

Coasters (DWT<10.000) mogen de Noordersluis wel zonder ondersteuning van sleepboten passeren en varen als gevolg hiervan met een hogere snelheid. De golfopwekking van deze schepen kan daarom niet verwaarloosd worden.

Omdat coasters qua afmetingen (afgezien van de diepgang) vergelijkbaar zijn met grote binnenvaartschepen (bijvoorbeeld CEMT-VIa), worden coasters representatief geacht voor het opwekken van maatgevende scheepsgolven. Naast coasters wordt tevens de golfopwekking door sleepboten bekeken. Gezien de afmetingen, het vermogen tot manoeuvreren en de relatief hoge vaarsnelheid kunnen de golven opgewekt door sleepboten maatgevend zijn ten opzichte van coasters. De maximaal toegestane vaarsnelheid op het Noordzeekanaal is 18 km/u (=5 m/s). Aan de Noordzeezijde wordt uitgegaan van dezelfde maximale vaarsnelheid. De geometrie van het buitentoeleidingskanaal is vrijwel gelijk aan de geometrie van het binnentoeleidingskanaal en is in de berekeningen niet gewijzigd. Aangezien de optredende waterstanden aan beide zijden van de sluis echter verschillen, worden de scheepsgolven voor beide zijden van de sluis bepaald. Daarnaast is de vaarsnelheid voor sleepboten niet gelijk gesteld aan de maximaal toegestane vaarsnelheid, maar aan de maximale vaarsnelheid gebaseerd op de grenssnelheid. Golven die optreden bij deze vaarsnelheid worden representatief beschouwd. Sleepboten wekken tijdens het manoeuvreren voor de sluis namelijk aanzienlijke golven op. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 17. De invoergegevens zijn terug te vinden in de rekensheet Scheepsgolven.

Tabel 17: Scheepsgolven

Locatie	Coasters		Sleepboten	
	Golfhoogte [m]	Golfperiode [s]	Golfhoogte [m]	Golfperiode [s]
Noordzeezijde, maximaal schutpeil	0,23	2,60	0,80	3,58
Noordzeekanaalzijde, kanaalpeil	0,26	2,60	0,93	3,58

3.3.1.9 Afvoer

Nabij het sluisencomplex treedt nauwelijks belasting (stroomsnelheid) als gevolg van afvoer op. Optredende stroomsnelheden nabij de Noordersluis als gevolg van spuien of malen met de spuisluis ($Q_{\max}=700 \text{ m}^3/\text{s}$) of het gemaal ($Q_{\max}=250 \text{ m}^3/\text{s}$) ten noorden van de Noordersluis zijn te verwaarlozen. Spuien met de Noordersluis wordt in § 0 behandeld.

3.3.1.10 Getijdestroming

Stroomsnelheden nabij het sluisencomplex als gevolg van getijdestroming zijn verwaarloosbaar, omdat het complex ver (ongeveer 4 km) binnen de golfbrekers van IJmuiden ligt.

3.3.1.11 Retourstroom

Voor retourstroming zijn schepen met grote diepgang en grote breedte maatgevend. Naast het maatgevende containerschip dat vermeld is in § 3.1.3.3 kunnen ook grote bulkcarriers (vanwege de minder slanke vorm) voor grote retourstroming zorgen. Gezien de afmetingen van het maatgevende schip ten opzichte van de maximaal toegestane afmetingen in de sluis en het feit dat de slankheid van het schip niet meegenomen wordt in de berekening, wordt het maatgevende containerschip representatief geacht voor de optredende belasting ten gevolge van retourstroming. Bij het bepalen van de stromingsbelasting als gevolg van retourstroming is uitgegaan van de gegevens in Tabel 5.

3.3.1.12 Schroefstralen

Voor de bepaling van stroomsnelheid ten gevolge van schroefstralen van zeeschepen wordt uitgegaan van aangewende toerentallen die gebaseerd zijn op telegraafstanden (machineorders). Aangenomen wordt dat de percentages van het aangewende toerentallen overeenkomen met de percentages van de aangewende motorvermogens. In werkelijkheid is dit echter niet het geval. Enerzijds is er sprake van een verminderd rendement (en dus een lager vermogen) door verliezen die optreden in de overbrenging van de motor(en) naar de schroefas(sen). Anderzijds is er (mogelijk) sprake van een relatie tussen het percentage van het aangewende toerental en het percentage van het aangewende vermogen, waaruit blijkt dat het percentage van het aangewende vermogen kleiner is dan het percentage van het aangewende toerental. Literatuuronderzoek heeft echter geen informatie over de relatie tussen toerental en vermogen opgeleverd.

In de analyse is er daarom van uitgegaan dat zeer laag vermogen (ZLV), laag vermogen (LV), hoog vermogen (HV) en vol vermogen (VV) overeenkomen met respectievelijk 25%, 35%, 50% en 90% van het maximale motorvermogen. Aangezien gebruik van het vol motorvermogen (VV) alleen wordt toegepast op volle zee bij langdurige en constante belasting, wordt hier niet mee gerekend tijdens het manoeuvreren rondom de sluis. Er is onderscheid gemaakt in normale omstandigheden en extreme omstandigheden. Onder extreme omstandigheden wordt bijvoorbeeld manoeuvreren tijdens harde (noorden)wind verstaan, waarbij veel koerscorrecties moeten worden uitgevoerd. De aan te houden motorvermogens voor de hoofdschroef zijn vermeld in Tabel 18.

Tabel 18: Uitgangspunten voor aangewend motorvermogen hoofdschroef¹

Locatie	Normale omstandigheden	Extreme omstandigheden
In het buitentoeleidingskanaal	ZLV (25%)	HV (50%)
In de sluis; stilliggend schip	ZLV (25%)	HV (50%)
In de sluis; (in-/uit)varend schip	LV (35%)	HV (50%)
In het binnentoeleidingskanaal	ZLV (25%)	HV (50%)

¹ In [Lit. 28] zijn de telegraafstanden van enkele schepen in de Noordersluis weergegeven. Hieruit blijkt dat het aangewende toerental tijdens manoeuvreren of afstoppen maximaal 50% bedraagt (HV). Deze uitgangspunten zijn mogelijk conservatief, omdat de onderzochte schepen kleiner zijn dan het maatgevende schip uit § 3.1.3.3.

3.3.1.13 Boegschroefstralen

Aangezien boegschroeven van zeeschepen meestal in 3 standen kunnen worden gebruikt, wordt bij de bepaling van de stroomsnelheid ten gevolge van boegschroefstralen uitgegaan van 30%, 60% en 100% van het maximale motorvermogen. De aan te houden motorvermogens voor de boegschroef zijn vermeld in Tabel 19.

Tabel 19: Uitgangspunten voor aangewend motorvermogen boegschroef

Locatie	Normale omstandigheden	Extreme omstandigheden
In het buitentoeleidingskanaal	30-60%	100%
In de sluis; stilliggend schip	30-60%	100%
In de sluis; varend schip	30-60%	100%
In het binnentoeleidingskanaal	30-60%	100%

Korte beschouwing boegschroefstralen (e.d.) versus functioneren van de drijfrahmen

Als gevolg van het gebruik van boegschroeven tijdens het afmeren (maar ook als gevolg van de afmeerkrachten vanuit de scheepvaart zelf) is het mogelijk dat de drijfrahmen, die langs de sluiswand aanwezig zijn, zowel in horizontale als in verticale richting gaan bewegen. Volgens de bediening van de Noordersluis komt het wel eens voor dat de drijfrahmen losschieten, kantelen (in dwarsrichting) of over elkaar heen gaan (in lengterichting).

Het losschieten van de drijfrahmen leidt tot de grootste problemen. Hierbij raken de kettingen en gewichten namelijk los van de drijfrahmen, waardoor de drijfrahmen vrij in de sluiskolk kunnen bewegen en uiteindelijk in de deurkassen terecht kunnen komen. Deze gevallen zijn ook terug te vinden in de storingsgegevens van de Noordersluis [Lit.11]. Het kantelen en over elkaar gaan van de drijfrahmen is minder problematisch en lost zich meestal vanzelf op bij de volgende schutting (door variatie in de waterstanden), of kan snel opgelost worden door het bedienend personeel. Kantelen treedt voornamelijk op doordat de drijfrahmen, vanwege het gladde hout, tijdens het afmeren omklappen.

De reserve drijfrahmen van de Noordersluis bevinden zich aan de Noordzeekanaalzijde van de Middensluis (aan de damwand van de noordoever). Voor een nadere technische beschouwing van de drijfrahmen wordt verwezen naar de analyse van de discipline Staalbouw [Lit.10]. Voor de invloed van de drijfrahmen op het functioneren van de sluis zelf wordt verwezen naar de RAMS-analyse [Lit.11].

3.3.1.14 Stroomsnelheden bij vullen, ledigen en spuien

Tijdens het vullen en ledigen van de sluiskolk bij schutten of tijdens spuien kunnen hoge stroomsnelheden optreden. Dichtheidstromingen zijn hierbij ook van belang. Zowel het vullen en ledigen van de sluiskolk als het spuien vindt plaats via omloopriolen.

De nivelleertijd is afhankelijk van het waterstandverschil over de sluis. In de praktijk worden de roldeuren van de Noordersluis bij een restverval geopend. Dit restverval wordt gemeten door een borrelbuisinstallatie ter hoogte van de nivelleeropeningen en wordt uitgedrukt in een 'rest'

drukverval. Het toelaatbare 'rest' drukverval is niet precies bekend, maar is circa $0,10 \text{ m}^1$. Indien het 'rest' drukverval over de sluis zo klein is dat de deuren direct geopend mogen worden, is de nivelleertijd 0 s. De bedientijd wordt dan bepaald door de tijd die nodig is voor het sluiten van de ene deur en het openen van de andere deur.

De bedientijd (alle handelingen exclusief het in- en uitvaren van de schepen) is enkele malen gemeten en heeft geleid tot de waarden weergegeven in Tabel 20. Omdat er een significant verschil is tussen de opgaande beweging en de neergaande beweging van de schuiven in het buitenhoofd (en het binnenhoofd), ontstaat er een verschil in bedieningstijd. Wordt er geschut van buiten naar binnen, dan is er een neergaande beweging; andersom is er een opgaande beweging. Tevens is er een verschil in bedientijd tussen het buiten- en het binnenhoofd. De schuiven van het buitenhoofd blijven, in verband met het risico voor seiches, openstaan tot het moment dat de roldeur van het buitenhoofd gesloten is. Voor het binnenhoofd geldt dit niet en kunnen de schuiven en deuren gelijktijdig gesloten worden.

Tabel 20: Bedientijden Noordersluis op basis van regressielijnen van enkele metingen [Lit. 4]

Waterstandverschil [m]	Bedientijd voor schutten van buiten naar binnen [s]	Bedientijd voor schutten van binnen naar buiten [s]
0	1.250	900
0,80	1.550	1.550
1,60	1.850	2.250

Voor de schuiven in de riolen van zowel het binnen- als het buitenhoofd is de duur van het heffen gelijk aan 525 s, met een hefsnelheid van 11 mm/s^2 . Voor de duur van het dalen van de schuiven geldt 165 s, met een daalsnelheid van 35 mm/s [Tek. 2]. De schuiven worden altijd helemaal geheven.

3.3.1.15 Dichtheidsverschillen

De dichtheid van het water aan de Noordzezijde varieert tussen 1.010 en 1.022 kg/m^3 [Lit. 27]. Als conservatieve waarde wordt 1.022 kg/m^3 aangehouden. De dichtheid van het water aan de Noordzeekanaalzijde varieert tussen 1.000 en 1.010 kg/m^3 [Lit. 27].

Bij berekeningen van de belastingen op de sluisonderdelen kan uitgegaan worden van de grenzen, dus conservatieve waarden. Of deze waarden conservatief zijn, is afhankelijk van de situatie die bekeken wordt. Voor de kanaalzijde kan bijvoorbeeld of 1.000 kg/m^3 of 1.010 kg/m^3 aangehouden worden.

¹ Bij het openen met een 'rest' drukverval van $\pm 0,10 \text{ m}$ dient rekening gehouden te worden met het dichtheidsverschil. Dit dichtheidsverschil leidt mogelijk tot een ander waterstandverval over de sluisdeuren. Hoe dit in Lockfill gemodelleerd is, is in Bijlage 8 beschreven.

² Oorspronkelijk werden de schuiven geheven (en neergelaten) met een snelheid van 10 mm/s .

3.3.2 *Toestand 2: onderhoud*

Tijdens onderhoud vervult de Noordersluis alleen de functie waterkeren. Vanuit dit oogpunt leidt de toestand onderhoud ten opzichte van de toestand normaal sluisbedrijf niet tot afwijkende belastingen op de waterbouwonderdelen. Als gevolg hiervan is deze toestand niet separaat geanalyseerd.

3.3.3 *Toestand 3: ijstoestanden*

Het uitgangspunt is dat de sluis tijdens ijstoestanden nog steeds alle functies vervult. Vanuit dit oogpunt leiden ijstoestanden ten opzichte van de toestand normaal sluisbedrijf niet tot afwijkende belastingen op de waterbouwonderdelen. Als gevolg hiervan is deze toestand niet separaat geanalyseerd.

3.3.4 *Toestand 4: calamiteiten*

Het uitgangspunt is dat de sluis tijdens calamiteiten nog steeds alle functies vervult. Het eventueel falen van de buitendeur kan worden opgevangen, omdat er een reserve deur aanwezig is in het buitenhoofd. Voor deze toestand gelden geen afwijkende hydraulische randvoorwaarden.

3.4 **Geotechnische uitgangspunten**

Volgens [Lit. 14] bestaat de bodem ter plaatse van de sluis vanaf maaiveld tot circa NAP-17 m uit fijn zand, met hier en daar schelpen. Het fijne zand is doorsneden door verschillende klei- en veenlagen. Van circa NAP-17 m tot circa NAP-19 m is er een kleilaag aanwezig. Beneden dit niveau tot circa NAP-38 m bestaat de bodem uit fijn zand. Van circa NAP-38 m tot circa NAP-42 m is een tweede kleilaag aanwezig. Beneden NAP-42 m ligt tot minstens NAP-95 m zand. Van circa NAP-97 m tot NAP-102 m is een derde kleilaag aanwezig.

In Bijlage 3 zijn enkele grondboringen nabij de sluis van het DINO-loket¹ te vinden. De resultaten van deze boringen komen overeen met de hierboven beschreven grondopbouw. Verder is het van belang te weten dat tijdens de realisatie van de sluis afgravingen in de bouwput (tot NAP-7,5 m) hebben plaatsgevonden. Er wordt van uitgegaan dat deze bouwput is aangevuld met zand uit de omgeving, waardoor de bodem rondom de sluis uit fijn zand bestaat.

3.5 **Geohydrologische uitgangspunten**

De stijghoogte van het grondwater rondom de Noordersluis varieert (onder normale omstandigheden) afhankelijk van het jaargetijde en de locatie van circa NAP-0,50 m tot circa NAP+0,50 m [Lit. 32].

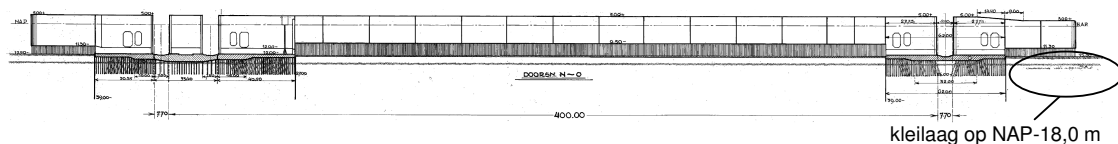
¹ Bron: www.dinoloket.nl

4 Schermen voor onder- en achterloopsheid (61.1-wat.alsch; 61.14-wat.olsch)

4.1 Beschrijving onderdeel

4.1.1 Fysieke omschrijving

De Noordersluis bestaat uit een betonnen buiten- en binnenhoofd en een sluiscolk met betonnen wanden. Zowel het buiten- als binnenhoofd is onderheid met betonpalen en rondom de hoofden zijn kwelschermen aangebracht, die tot een diepte van NAP-39,0 m reiken. Ook de sluiswanden zijn onderheid met betonpalen (zie Figuur 5). De sluiswanden bestaan uit gewichtsconstructie met daaronder een betonnen damwandscherm dat reikt tot NAP-20,0 m. Tussen de sluiswanden is een bodembescherming aanwezig. In Figuur 6 is een lengtedoorsnede van de Noordersluis weergegeven.



Figuur 6: Lengtedoorsnede Noordersluis [Tek. 1]

4.1.2 Bronnen

De informatiebronnen archief, inspectie en ervaring beheerder zijn gebruikt om een analyse van de kwelschermen uit te voeren. Hieronder is per informatiebron de informatie nader gespecificeerd.

4.1.2.1 Archief

De volgende documenten zijn gebruikt in de analyse:

- Arcadis, Toetsing op veiligheid derde toetsronde (VTV2006), Verbindende waterkering 7, september 2010.
- Overzichtstekening en doorsneden van de Noordersluis te IJmuiden, revisietekening, 1931.
- RWS, Bouw eener schutsluis te IJmuiden, binnensluishoofd - situatie, tek.nr. NHKA-1924-38025, 1924.
- RWS, Bouw eener schutsluis te IJmuiden, binnensluishoofd noordzijde, tek.nr. NHKA-1924-38021, 1924.
- RWS, Bouw eener schutsluis te IJmuiden, buitensluishoofd – doorsneden en detail, tek.nr. NHKA-1925-38039, 1925.
- RWS, Bouw eener schutsluis te IJmuiden, buitensluishoofd – doorsneden: pompkoker en schuifspinningen, tek.nr. NHKA-1925-38040, 1925.

4.1.2.2 Inspectie

De duikinspectie van de Noordersluis is uitgevoerd door Nebest adviesgroep op 11, 12 en 13 mei 2011. De resultaten van de duikinspectie staan in het inspectierapport [Lit. 8].

Enkele gegevens uit de inspectie zijn hieronder overgenomen:

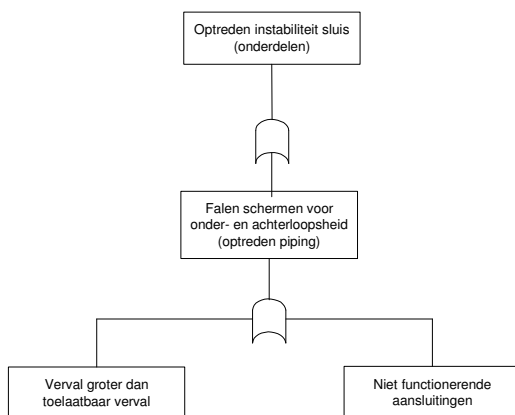
- De aansluitingen van de stalen damwanden bij zowel het binnenhoofd als het buitenhoofd zijn geïnspecteerd. Deze zijn allemaal in goede staat, met uitzondering van de aansluiting van de damwand op de betonvloer van het binnenhoofd. De aansluiting van de damwand aan de westzijde van het binnenhoofd vertoont schade. De damwand wijkt over de zuidelijke helft van de sluiskolk over een afstand van 15-40 cm van de betonvloer van het binnenhoofd. De oorzaak van deze schade is niet bekend, maar mogelijk is deze ontstaan door explosies in de oorlog of door een anker. De ontstane kier is gevuld met een laag sediment en is (ongeveer 1,5 m) indringbaar met een prikstok¹. Er zijn geen uitspoelingen geconstateerd.
- De diepe ontgrondingskuilen in de as van de sluis hebben de (eerste) kleilaag onder de bodembescherming waarschijnlijk lokaal doorsneden. Bij de aansluiting van de bodembescherming op de betonvloer van het binnenhoofd is het hoogteverschil tussen bovenkant bodembescherming en bovenkant betonvloer (in de as van het sluishoofd) ongeveer 2,5 m. Er is hier lokaal geen stortsteen aanwezig en er is uitspoeling van bodemmateriaal geconstateerd. De kleilaag is in een gebied van circa 3 x 4 m geheel doorspoeld (dikte kleilaag in het ontstane talud is ongeveer 1,5 m).

4.1.2.3 Ervaring beheerder

De beheerder heeft geen aanwijzingen dat de damwanden in de onderbouw van de sluis niet naar behoren functioneren met betrekking tot onder- en achterloopsheid. Er is bij de beheerder naast de in § 4.1.2.3 genoemde schade van de damwand bij het binnenhoofd weinig over de (kwel)schermen bekend. De schade aan de damwand is al langere tijd bekend en is ingeschat als niet risicovol.

4.2 Foutenboom

De foutenboom van de schermen voor onder- en achterloopsheid (kwelschermen) is weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7: Foutenboom schermen voor onder- en achterloopsheid

¹ Op basis hiervan wordt ervan uitgegaan dat de kleilaag onder de vloer van het sluishoofd (NAP-18,0 m) nog intact is.

4.3 Verwachtingswaarde sterkte (stap 1)

De sterkte van de schermen voor onder- en achterloopsheid (weerstand tegen het faalmechanisme piping) wordt bepaald door de lengte van de schermen onder de sluishoofden in combinatie met de eigenschappen van de grond. De schermen voor onder- en achterloopsheid vergroten de kwelweglengte (combinatie van horizontale en verticale kwelweg). De eigenschappen van de grond worden vertaald in de Creep-factor.

4.3.1 *Kwelweglengte*

De maatgevende kwelweglengte van de beide sluishoofden volgt uit een driedimensionale analyse van mogelijke kwelwegen. Op basis van de informatiebronnen zijn de volgende uitgangspunten voor de analyse van kwelwegen aangehouden:

- De onder- en achterloopsheidschermen die niet zichtbaar waren tijdens de duikinspectie, zitten onder de deurkassen en onder de omloopriolen. Hiervan wordt aangenomen dat deze schermen in werkelijkheid aanwezig zijn zoals aangegeven is op de beschikbare tekeningen.
- De onder- en achterloopsheidschermen die niet zichtbaar waren tijdens de duikinspectie, worden verondersteld intact te zijn en hun functie met betrekking tot het tegengaan van onder- en achterloopsheid te vervullen. Dit gaat op, tenzij uitspoeling wordt geconstateerd.
- Als gevolg van de paalfundatie van de sluishoofden moet rekening worden gehouden met spleetvorming onder zowel het buitenhoofd als het binnenhoofd. Als gevolg hiervan dragen de horizontale kwelwegen onder de constructie niet bij aan de totale kwelweglengte.
- Onderloopsheid van de sluishoofden wordt uitgesloten. Dit heeft hoofdzakelijk te maken met het feit dat de kwelschermen rondom de sluishoofden reiken tot een diepte van NAP-39,0 m. Hierdoor doorsnijden de kwelschermen de eerste kleilaag op NAP-18,0 m (circa 2 m dik) en reiken de kwelschermen tot in de kleilaag die begint op NAP-38,0 m (circa 4 m dik).
- Onderloopsheid van de achterloopsheidschermen van de sluishoofden wordt tevens uitgesloten, omdat deze schermen tot in de eerste kleilaag op NAP-18,0 m reiken (zie Figuur 8 Figuur 9).
- De lokaal geërodeerde kleilaag ten westen van het binnenhoofd en de wijkende damwand (zie § 4.1.2.2) hebben geen invloed op de maatgevende kwelweglengte. Aangezien het sluishoofd geheel omheind is met damwanden is onderloopsheid ondanks deze schades uitgesloten.
- Aangezien de kwelweglengte voor achterloopsheid ten noorden van het zowel buiten- als het binnenhoofd groter is vanwege de omloopriolen, is de kwelweglengte voor achterloopsheid ten zuiden van zowel het buiten- als het binnenhoofd maatgevend.
- Tijdens het schutproces kan de waterstand in de kolk aanzienlijk hoger of lager zijn dan de waterstand op het Noordzeekanaal en is het mogelijk dat grondwaterstroming/kwel onder de kolkwanden van de sluis en door omliggende grondlichamen richting het Noordzeekanaal plaatsvindt.

In de volgende subparagrafen wordt per sluishoofd de maatgevende kwelweglengte bepaald. Daarnaast worden de kolkwanden van de sluis (en omliggende grondlichamen) beoordeeld op onderloopsheid.

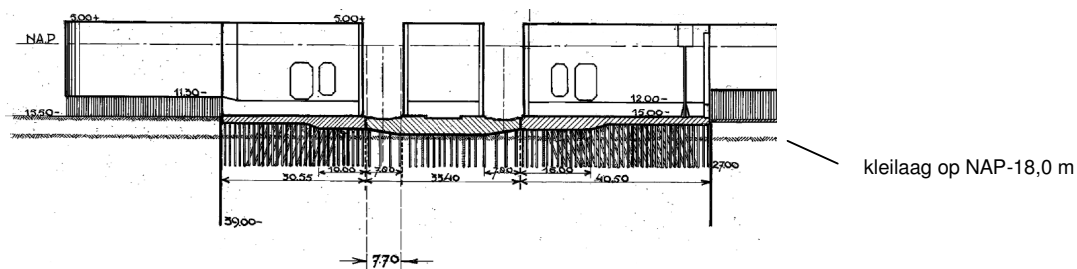
4.3.1.1 Kwelweglengte buitenhoofd (Noordzeezijde)

De maatgevende kwelweglengte van het buitenhoofd wordt bepaald door achterloopsheid. In Figuur 8 en Figuur 9 is respectievelijk een lengtedoorsnede en een dwarsdoorsnede van het buitenhoofd weergegeven. In Figuur 10 is in een horizontale doorsnede van het buitenhoofd de maatgevende kwelweg weergegeven.

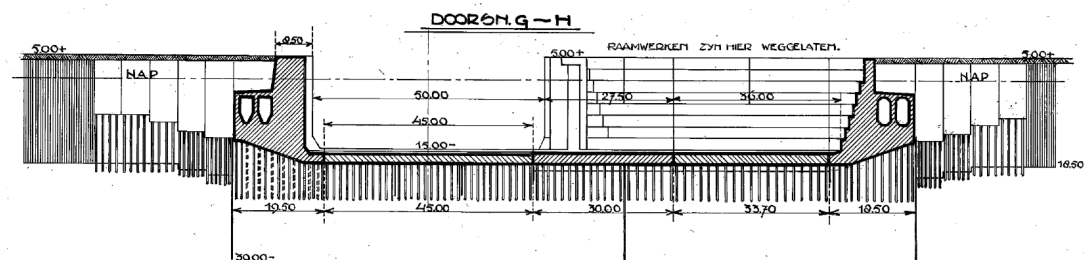
Het intredepunt ligt op de locatie waar de oever aansluit op de vleugelmuur van het buitenhoofd (zie de luchfoto's in Figuur 2 en Figuur 3). Het uitredepunt ligt nabij de aansluiting van het buitenhoofd met de betonnen damwand van de sluiscolk (conservatief uitgangspunt).

Tabel 21: Kwelweglengte buitenhoofd - achterloopsheid

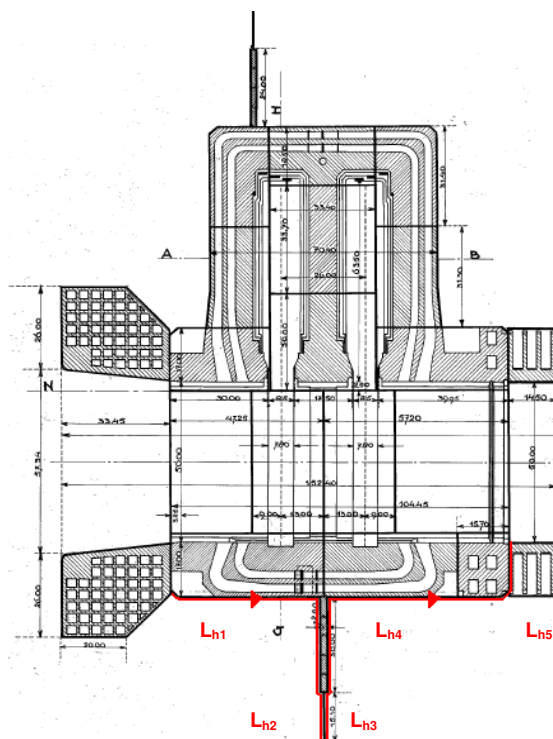
Sectie (zie Figuur 10)	Horizontale lengte [m]
L _{h1}	47,3
L _{h2}	45,1
L _{h3}	45,1
L _{h4}	57,2
L _{h5}	17,0
Som	211,7



Figuur 8: Lengtedoorsnede over het buitenhoofd [Tek. 1]



Figuur 9: Dwarsdoorsnede over het buitenhoofd [Tek. 1]

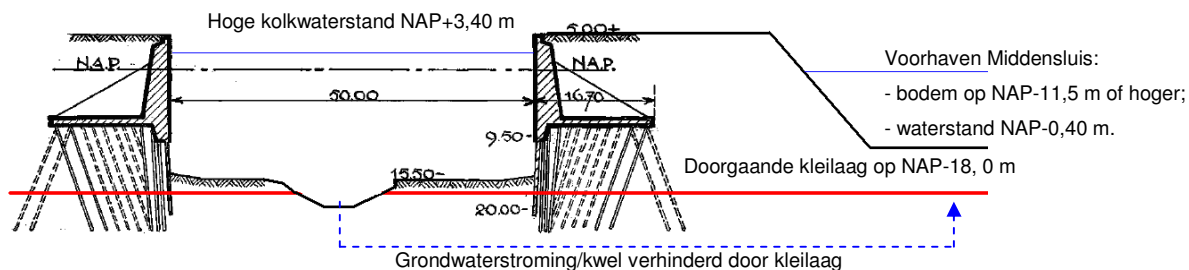


Figuur 10: Horizontale doorsnede over het buitenhoofd met kwelweg voor achterloopsheid [Tek. 1]

4.3.1.2 Kwelweglengte kolkwanden

Tijdens het schutproces kan de waterstand in de kolk aanzienlijk hoger of lager zijn dan de waterstand op het Noordzeekanaal en is het mogelijk dat er grondwaterstroming/kwel onder de kolkwanden en door de aansluitende grondlichamen optreedt. In Figuur 2 zijn de grondlichamen achter de kolkwanden van de sluis te zien. Aan de noord- en zuidzijde van de sluis kolk zijn grondlichamen van respectievelijk ongeveer 170 m en ongeveer 60 m tot 100 m aanwezig. Vooral bij de zuidelijke kolkwand lijkt het mogelijk dat er ter plaatse van het relatief kleine grondlichaam bij de insteekhaven (en dus kleine kwelweglengte) grondwaterstroming/kwel kan optreden.

Aangezien er tot een diepte van NAP-20,0 m betonnen damwandschermen onder de gewichtsconstructie van kolkwanden aanwezig zijn en er een doorgaande kleilaag op ongeveer NAP-18,0 m aanwezig is, wordt de kans op problemen met onderloopsheid verwaarloosbaar klein geacht (zie Figuur 11). Ook wanneer de kleilaag in de sluis kolk (bodem) door erosie volledig verdwenen is (zoals in de huidige situatie op enkele locaties al het geval), wordt onderloopsheid nog verhinderd door de kleilaag die zich in de grondlichamen rondom de Noordersluis en in de bodem van de voorhaven van de Middensluis bevindt. Het niveau van de bodem in de voorhaven van de Middensluis is namelijk NAP-11,5 m of hoger en hierdoor is voldoende weerstand tegen opdrukken van deze kleilaag aanwezig. Op basis hiervan wordt de kwelweglengte van de kolkwanden (en omliggende grondlichamen) voldoende groot geacht en zijn problemen in de huidige situatie uitgesloten.



Figuur 11: Schematische weergave van de situatie van onderloopsheid van de kolkwanden

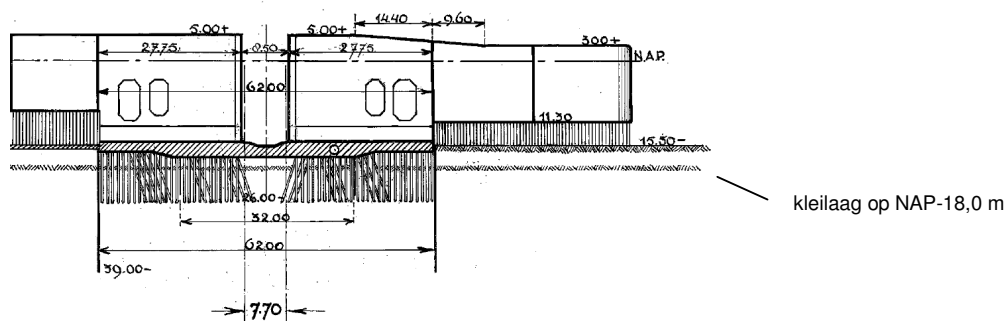
4.3.1.3 Kwelweglengte binnenhoofd (Noordzeekanaalzijde)

De maatgevende kwelweglengte van het binnenhoofd wordt net als bij het buitenhoofd bepaald door achterloopsheid. In Figuur 12 en Figuur 13 is respectievelijk een lengtedoorsnede en een dwarsdoorsnede van het binnenhoofd weergegeven. In Figuur 14 is in een horizontale doorsnede van het binnenhoofd de maatgevende kwelweg weergegeven.

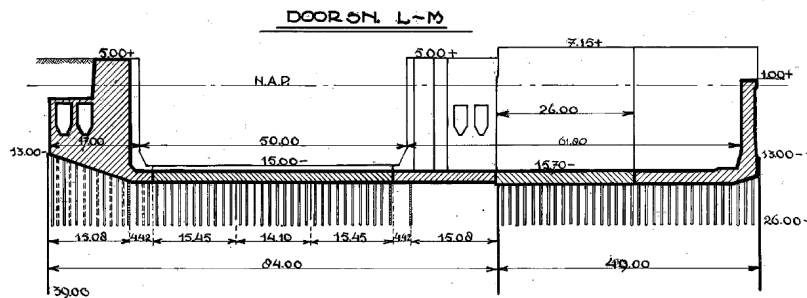
Het intredepunt ligt nabij de aansluiting van het binnenhoofd met de betonnen damwand van de sluiskolk (conservatief uitgangspunt). Het uitredepunt ligt bij de aansluiting van het binnenhoofd op de vleugelmuur.

Tabel 22: Kwelweglengte binnenhoofd - achterloopsheid

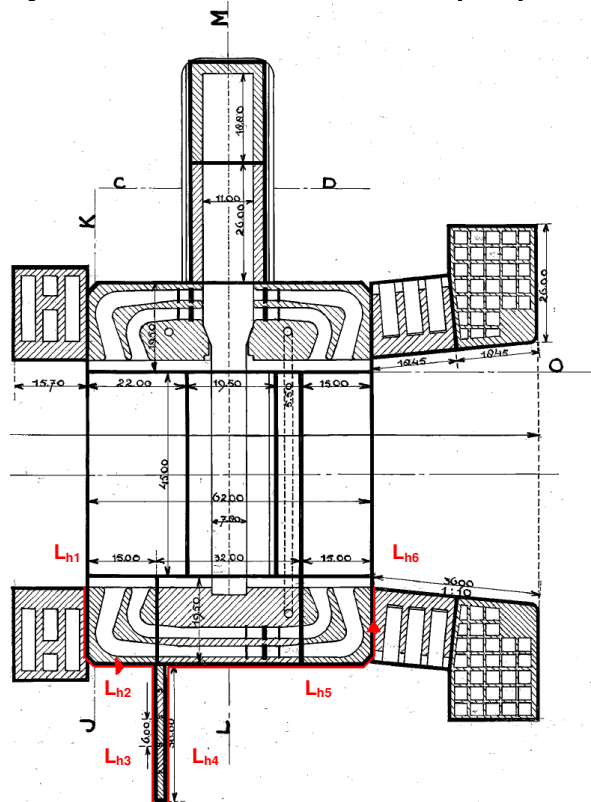
Sectie (zie Figuur 14)	Horizontale lengte [m]
L _{h1}	17,0
L _{h2}	15,0
L _{h3}	30,0
L _{h4}	30,0
L _{h5}	65,0
L _{h6}	17,0
Som	174,0



Figuur 12: Lengtedoorsnede over het binnenhoofd [Tek. 1]



Figuur 13: Dwarsdoorsnede over het binnenhoofd [Tek. 1]



Figuur 14: Horizontale doorsnede over het binnenhoofd met kwelweg voor achterloopsheid [Tek. 1]

4.3.2 Eigenschappen van de grond

Tijdens de bouw van de sluis hebben afgravingen in de bouwput plaatgevonden tot op een diepte van NAP-7,50 m. Hierbij is het gedeelte van de bouwput achter de sluiswanden naderhand opgevuld met zand.

Voor de berekening wordt uitgegaan van de bodemopbouw zoals beschreven in § 3.4. Voor de doorlatende lagen tussen de verschillende kleilagen wordt uitgegaan van fijn zand. Voor de Creep-factor van Bligh wordt 18 aangehouden [Lit. 22].

4.3.3 Staat van de aansluitingen

Er wordt op basis van de 'in het verleden bewezen sterkte' geconcludeerd dat de aansluitingen hun functie goed vervullen. Deze bewezen sterkte is gebaseerd op de volgende feiten:

- Sinds de realisatie van de sluis is geen onderhoud gepleegd aan deze onderdelen.
- Er zijn geen schades geconstateerd tijdens inspectie die invloed hebben op de maatgevende kwelweglengte.
- Er treden jaarlijks grote vervallen over de sluis op (tot circa 2,8 m).
- Volgens de beheerder zijn er (afgezien van de schade vermeld in § 4.1.2.3) met deze onderdelen nooit problemen geweest tijdens de levensduur van de sluis.

Op basis van het bovenstaande worden voor de aansluitingen van de schermen voor onder- en achterloopsheid geen nadere analyses uitgevoerd. De schade met de aansluiting van de damwand op het binnenhoofd (zie § 4.1.2.3) heeft geen invloed op de maatgevende kwelweglengte, omdat de damwandschermen rondom het sluishoofd tot in de tweede kleilaag (op NAP-38 m) reiken en hierdoor onderloopsheid uitsluiten. De kans op falen van de overige aansluitingen van de onder- en achterloopsheidschermen wordt verwaarloosbaar klein geacht.

4.4 Toelaatbare belasting(en) (stap 2)

Op basis van de in § 4.3 gepresenteerde sterkte kan het maximaal toelaatbare verval over de sluishoofden bepaald worden. Voor het bepalen van het toelaatbare verval is gebruik gemaakt van de methode van Bligh [Lit. 22]. Het toelaatbare verval bij de verschillende kwelwegen is weergegeven in Tabel 23 en Tabel 24.

Tabel 23: Specifieke invoerparameters achterloopsheid buitenhoofd

Symbool	Parameter	Waarde	Dimensie
L_h	Horizontale kwelweglengte	211,7	[m]
C_{creep}	Creep-factor (Bligh)	18	[-]
ΔH_{gr}	Toelaatbaar verval over het sluishoofd	11,8	[m]

Tabel 24: Specifieke invoerparameters achterloopsheid binnenhoofd

Symbool	Parameter	Waarde	Dimensie
L_h	Horizontale kwelweglengte	174,0	[m]
C_{creep}	Creep-factor (Bligh)	18	[-]
ΔH_{gr}	Toelaatbaar verval over het sluishoofd	9,7	[m]

In geval de aansluitingen van de achterloopsheidschermen op de sluishoofden niet in voldoende mate functioneren (bijvoorbeeld ten gevolge van niet inspecteerbare oorlogschade), worden de horizontale kwelweglengten van zowel het buiten- als het binnenhoofd gereduceerd. Dit zou leiden tot kwelwegen van respectievelijk 121,5 m en 114 m en toelaatbare vervallen van respectievelijk 6,75 m en 6,33 m.

4.5 Maatgevende belastingsituaties (stap 3)

Bij een waterstandverschil aan beide zijden van de sluishoofden (een verval over de sluishoofden) is optreden van het faalmechanisme achterloopsheid mogelijk. De maatgevende situatie voor achterloopsheid treedt op bij het grootste verval.

Het toelaatbare verval is echter zo groot dat er geen belastingsituaties mogelijk zijn die leiden tot het optreden van het faalmechanisme achterloopsheid. Het maximale verval dat optreedt komt voor tijdens de functie schutten, bij maximaal schutpeil op de Noordzee en een laagwaterstand op het Noordzeekanaal. Er zijn in § 3.3.1.6 situaties beschreven die leiden tot een groot verval. Deze situaties zijn verder toegelicht in Bijlage 4. De maatgevende situaties zijn samengevat in Tabel 25.

Uit Tabel 25 blijkt dat in geval de aansluitingen van de achterloopsheidschermen op de sluishoofden niet in voldoende mate functioneren, de toelaatbare vervallen ook niet overschreden worden.

Tabel 25: Maximale vervallen over de sluishoofden van de Noordersluis

Belastingsituatie	Verval over het buitenhoofd	Verval over het binnenhoofd
Maximaal positief verval	$\Delta H = 4,64$ m	$\Delta H = 4,34$ m
Maximaal negatief verval	$\Delta H = 3,61$ m	$\Delta H = 2,91$ m

4.6 Overschrijdingsfrequentie van maatgevende belastingsituaties (stap 4)

De maximaal optredende belastingsituatie voor de sluishoofden is een (fysiek) maximaal verval van 4,64 m. Bij dit maximale verval blijken de sluishoofden met kwelschermen volgens § 4.4 ruim voldoende weerstand te hebben tegen onder- en achterloopsheid. De kans dat falen van de sluis optreedt als gevolg van het faalmechanisme piping (onder- en achterloopsheid) wordt verwaarloosbaar klein geacht, zie Tabel 26.

Tabel 26: Faalkans kwelschermen

Toestand (T_i)	$P(T_i)$	$P_f(F T_i)$	$P_{f,i}$
Maximaal verval tijdens schutten	7,6071E-01	0	0
Maximaal verval tijdens waterkeren	2,3548E-01	0	0
Som			$P_f=0$

Opmerkingen bij tabel:

$P(T_i)$ kans (per dag) op voorkomen van toestand i

$P_f(F|T_i)$ kans op falen gegeven toestand i

$\Delta P_{f,i}$ kansbijdrage

4.7 **Beheer en onderhoud**

Op basis van de resultaten van inspectie is er (na circa 80 jaar) slechts lokaal schade aan de schermen voor onder- en achterloopsheid en de aansluitingen hiervan. Deze schade is ingeschat als niet risicovol en behoeft geen directe reparatie. Aangezien een groot deel van de schermen zich onder de sluisconstructie bevindt, is onderhoud nagenoeg niet mogelijk.

4.8 **Conclusies**

Een analyse van de schermen voor onder- en achterloopsheid toont aan dat de schermen voor onder- en achterloopsheid van beide sluishoofden en de kolkwanden voldoende weerstand hebben om, bij het maximale verval over de sluis, het faalmechanisme piping te voorkomen.

Tijdens duikinspectie is schade bij de aansluiting van de damwand op het binnenhoofd aangetroffen. De ontstane kier is gevuld met een laag sediment en er zijn geen uitspoelingen geconstateerd. Deze schade is al langere tijd bekend en heeft geen invloed op de maatgevende kwelweglengte. Aanbevolen wordt om de schade te herstellen, zodat de huidige constructie de robuustheid van de oorspronkelijke constructie weer terug krijgt. Voor de aansluitingen van de overige schermen is op basis van de 'in het verleden bewezen sterkte' de kans op falen van de aansluitingen verwaarloosbaar klein geacht.

In termen van RAMS-analyse draagt het onderdeel schermen voor onder- en achterloopsheid niet bij aan het falen van de functie(s) van de Noordersluis.

5 Bodembescherming Noordzeezijde (11.7-wat.bdmbezee)

5.1 Beschrijving onderdeel

5.1.1 Fysieke omschrijving

De bodembescherming aan de Noordzeezijde van de sluis bestaat uit stortsteen. In het archief is weinig bekend over de (opbouw van) de oorspronkelijk aangelegde bodembescherming. Er is slechts informatie beschikbaar van renovaties uit het verleden. In 1983 zijn de toeleidingskanalen conform bestek NH 3897 [Lit. 32] plaatselijk uitgevuld met staalslakken 40-160 mm, waarna een bestorting van basaltbreuksteen 60-200 kg ($D_{50} \approx 0,40$ m) is aangebracht.

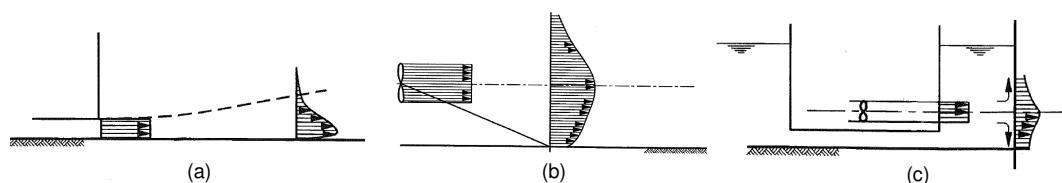
De staat van de bodembescherming is bepaald aan de hand van de resultaten van de multibeammeting en de duikinspectie, zie § 5.1.3.2.

5.1.2 Stroombeelden

De stroombeelden die optreden aan de Noordzeezijde van de Noordersluis zijn:

- Stroming ten gevolge van scheepvaart:
 - Retourstroming
 - Schroefstraalstroming
 - Boegschroefstraalstroming
- Vul- en ledigstroming
- Stroming ten gevolge van spuien
- Dichtheidstroming

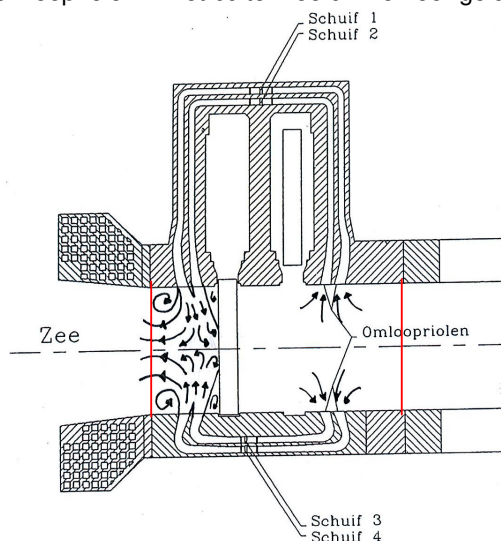
Bij stroming die door scheepvaart opgewekt wordt, ontstaat geconcentreerde stroming onder en naast het schip (retourstroming), achter het schip (schroefstraalstroming) en bij de boeg van het schip (boegschroefstraalstroming).



Figuur 15: Schematische stroombeelden bij retourstroming (a), schroefstraalstroming (b) en boegschroefstraalstroming (c)

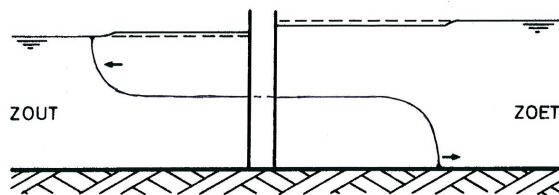
Het nivelleren van de sluisolk gebeurt door omloopriolen in de sluishoofden, zie Figuur 4 (pag. 13) voor de oriëntatie van de omloopriolen. Tijdens het nivelleren wordt gebruik gemaakt van zowel de noordelijke als de zuidelijke omloopriolen in het buitenhoofd. Tijdens zowel het vullen als het ledigen van de sluisolk zijn de stroomsnelheden in de omloopriolen hoog. Het versnellingsgebied nabij de instroomopeningen is echter relatief kort en de vulstroming zal de bodembescherming daarom nauwelijks belasten. Dit geldt niet voor de ledigstroming. Aangezien de omloopriolen recht

tegenover elkaar uitstromen, ontstaat tijdens het ledigen van de sluisolk een hoge turbulentie als gevolg van sterk vertragende stroming in de vier stralen, zie Figuur 16. Aangezien de oriëntatie van de stralen enigszins richting de deur gericht is en ter hoogte van de uitstroomopeningen van de riolen een betonnen vloer aanwezig is, zullen de stralen niet direct de bodembescherming belasten. De stralen zullen in de as van de sluis (twee aan twee) op elkaar botsen en door de hoge turbulentie een groot deel van hun energie verliezen. De grens tussen bodembescherming en betonvloer is in Figuur 16 met rode lijnen aangegeven. Spuien vindt tevens plaats via de omloopriolen in het buitenhoofd. Hiervoor geldt hetzelfde stroombeeld als tijdens ledigen.



Figuur 16: Horizontale doorsnede van buitenhoofd met schematische weergave van het stroombeeld bij ledigen

Dichtheidstroming ontstaat wanneer tijdens het openen van de roldeuren het zoute water uit zee in contact komt met het (relatief) zoete water uit het kanaal. Er ontstaat stroming die aangedreven wordt door dichtheidsverschillen. Hierbij plant het zoute water zich over de bodem voort en het zoete water (in tegengestelde richting) aan de oppervlakte, zie Figuur 17. Dit gebeurt zowel bij schutten richting het Noordzeekanaal als schutten richting de Noordzee.



Figuur 17: Schematisch stroombeeld als gevolg van dichtheidstroming bij openen van een deur

Aangezien het zoete water zich aan de oppervlakte richting zee voortplant, leidt dichtheidstroming bij openen van de buitendeur vooral tot belastingen op de bodembescherming in de sluisolk. Het openen van de binnendeur leidt vooral tot belastingen op de bodembescherming aan de Noordzeekanaalzijde.

5.1.3 Bronnen

Het archief, de inspectie en de ervaring van de beheerder zijn gebruikt om een analyse van de bodembescherming in de sluiskolk uit te voeren. Hieronder is per informatiebron de informatie nader gespecificeerd.

5.1.3.1 Archief

De volgende documenten zijn gebruikt in de analyse:

- Rijkswaterstaat Bouw Dienst, Renovatie bodembescherming Noordersluis; vooronderzoek, december 1992.
- Waterloopkundig Laboratorium, Noordersluis IJmuiden; verslag modelonderzoek, M902, augustus 1967.
- Waterloopkundig Laboratorium, Noordersluis IJmuiden; beknopt verslag onderzoek, R1759/M1859-I, november 1983.
- Waterloopkundig Laboratorium, Noordersluis IJmuiden; verslag onderzoek, R1759/M1859-II, november 1983.
- Waterloopkundig Laboratorium, Noordersluis IJmuiden; figuren, R1759/M1859-III, november 1983.
- Arends, G.J., 'Sluizen en gemalen in het Noordzeekanaal: anderhalve eeuw ontwerpen, bouwen en vernieuwen', 2001.

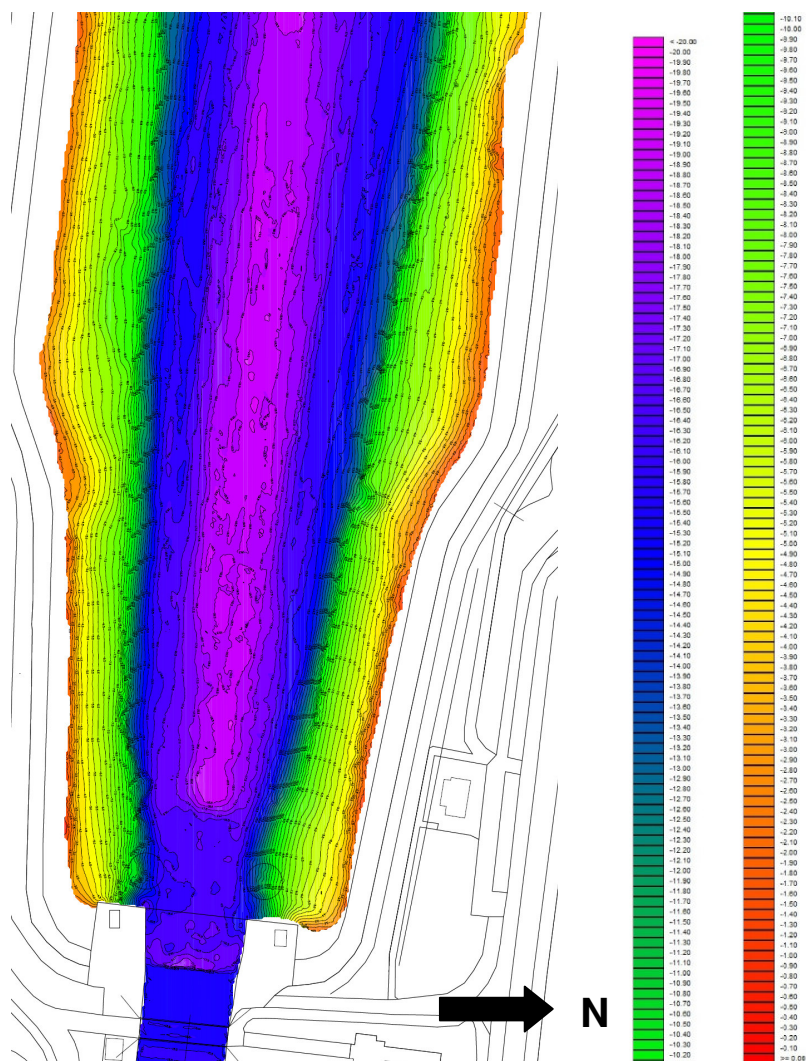
5.1.3.2 Inspectie

De duikinspectie van de Noordersluis is uitgevoerd door Nebest adviesgroep op 11, 12 en 13 mei 2011. De resultaten van de duikinspectie staan in het inspectierapport [Lit. 8].

Enkele gegevens uit de inspectie zijn hieronder overgenomen:

- De bodembescherming bij het buitenhoofd bestaat uit losliggend stortsteen. Tussen het stortsteen is sediment in de vorm van oesters en slib aangetroffen.
- De aansluiting van de bodembescherming op de vleugelwanden van het sluishoofd is in goede staat. De stortstenen liggen strak tegen de vleugelwanden.
- De aansluiting van de bodembescherming op de betonvloer van het sluishoofd bestaat uit een stalen damwand. In de as van het sluishoofd is het hoogteverschil tussen bovenkant bodembescherming en bovenkant betonvloer lokaal ongeveer 2,5 m, conform de multibeammeting. De bodembescherming is schoon nabij de overgang naar sluisvloer en sluit goed aan op de damwand. Aan beide zijden van dit punt neemt het hoogteverschil geleidelijk af en neemt de dikte van het sedimentpakket toe. Ter hoogte van de wanden is de laagdikte van het sediment ongeveer 1,0 tot 1,5 m. De aansluiting van de beschermde bodem op de damwand is intact, voor zover waarneembaar.
- Ter hoogte van de overgang bodembescherming naar onbeschermd bodem (op ongeveer 100 m vanaf de overgang van het sluishoofd) is de bodembescherming bedekt met een laag sediment (oesters en dun slib) van ongeveer 0,5 m. De overgang verloopt vloeiend en er is geen schade aangetroffen. De onbeschermd bodem bestaat uit klei.
- Nabij de sluis zijn ongeveer 20 stenen in drie richtingen opgemeten. Op basis van deze metingen is een gemiddelde steendiameter van 0,42 m vastgesteld. Op ongeveer 40 m vanaf de overgang van het sluishoofd lijkt de gemiddelde steendiameter toe te nemen.

Op 17 mei 2011 is door Nebest een multibeammeting bij de Noordersluis uitgevoerd, zie Figuur 18 [Lit. 8]. Hierin is de erosiegeul in de onbeschermdede bodem onder de vaarbaan van de schepen duidelijk te zien. Nabij de sluis is deze erosiegeul echter niet meer aanwezig. Dit komt door de aanwezigheid van de bodembescherming. Wat verder opvalt, is de verdieping bij de overgang van bodembescherming naar de vloer van het buitenhoofd. Deze verdieping is in het verleden in de bodembescherming ontstaan en daarna hersteld. Volgens de resultaten van de duikinspectie is de bodembescherming en aansluiting op het buitenhoofd intact.



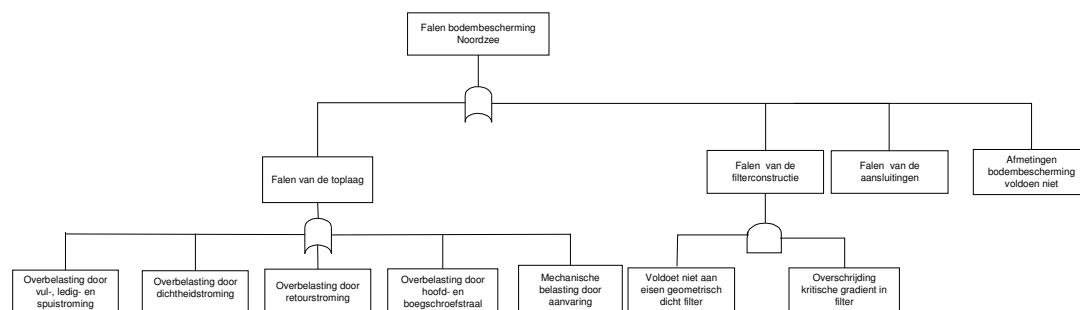
Figuur 18: Resultaten multibeammeting aan de Noordzeezijde van de sluis (diepte in meter ten opzichte van NAP), 2011

5.1.3.3 Ervaring beheerder

De beheerder is niet bekend met de werkzaamheden die tijdens de renovatie in het verleden aan de bodembescherming aan de Noordzezijde zijn verricht.

5.2 Foutenboom

De foutenboom van de bodembescherming aan de Noordzezijde is weergegeven in Figuur 19.



Figuur 19: Foutenboom bodembescherming aan de Noordzezijde

5.3 Verwachtingswaarde sterkte (stap 1)

5.3.1 Toplaag (11.7-wat.bdmbeszee.min.obl1)

Op basis van de resultaten van de duikinspectie blijkt dat de gemiddelde diameter van de opgemeten stenen in de toplaag goed overeenkomt met de sortering van 60-200 kg ($D_{50} \approx 0,40$ m) die volgens bestek NH 3897 is aangelegd. Volgens het bestek is basaltbreuksteen aangebracht, maar dit is niet vastgesteld tijdens inspectie. Daarom wordt (conservatief) uitgegaan van de dichtheid van normaal breuksteen, $\rho = 2.650 \text{ kg/m}^3$. Voor de relatieve dichtheid van steen in zoutwater is uitgegaan van een dichtheid van het water van $\rho = 1.022 \text{ kg/m}^3$. De eigenschappen van de sterkte van de toplaag van de bodembescherming zijn weergegeven in Tabel 27.

Tabel 27: Sterkte toplaag bodembescherming

Symbool	Parameter	Waarde	Dimensie
-	Gradatie/sortering	60-200	[kg]
d_{50}	Gemiddelde steendiameter	0,40	[m]
d_{n50}	Gemiddelde nominale steendiameter	0,34	[m]
Δ_s	Relatieve dichtheid stenen (zout water)	1,59	[-]

De bovenkant van de bestaande bodembescherming ligt gemiddeld op NAP-16,0 m. Nabij de betonvloer van het buitenhoofd ligt de bovenkant van de bodembescherming lokaal op NAP-17,5 m, zie Figuur 18. Deze verdieping is in het verleden ontstaan door falen van de oorspronkelijke toplaag. De toplaag is in de huidige situatie intact en de verwachting (op basis van

[Lit. 17]) is dat de verdieping waarschijnlijk niet is opgevuld, omdat deze kan dienen als 'steenvang' zodat stenen niet op de drempel en voor de roldeuren terecht komen.

5.3.2 *Afmetingen bodembescherming (11.7-wat.bdmbeszee.min.obl2)*

De bodembescherming is volgens [Lit. 17] tot op een afstand van ongeveer 165 m vanaf de deur van de sluis aanwezig. Vanaf de overgang van betonvloer van het sluishoofd naar de bodembescherming (30 m lang), zou een bodembescherming van 135 m moeten liggen.

Op basis van duikinspectie is echter vastgesteld dat de bodembescherming over een afstand van ongeveer 100 m vanaf de overgang naar betonvloer aanwezig is. De bodembescherming is over de gehele breedte van de voorhaven aanwezig en gaat over in de oeverbescherming. Dit wordt bevestigd door de resultaten van de multibeammetingen.

5.3.3 *Filterconstructie (11.7-wat.bdmbeszee.min.obl3)*

De aanwezigheid en de huidige staat van een eventuele filterconstructie is onbekend, maar er wordt van uitgegaan dat de toplaag direct op de aanwezige kleilaag is aangelegd. Wel is bekend dat de ontgrondingskuilen die in het verleden zijn ontstaan, opgevuld zijn met staalslakken 40-160 mm. De precieze locatie van deze herstelwerkzaamheden is echter niet bekend.

Aangenomen wordt dat deze ontgrondingskuilen ontstaan zijn door overbelasting van de toplaag en dat de onderliggende kleilaag niet geheel geërodeerd is. Aangezien er staalslakken en een toplaag aangebracht zijn, is aantasting van de kleilaag en als gevolg hiervan uitspoeling van onderliggende zand niet mogelijk. Er wordt geen nadere analyse voor dit onderdeel uitgevoerd.

5.3.4 *Aansluitingen (11.7-wat.bdmbeszee.min.obl4)*

De bodembescherming sluit goed aan op de betonvloer van het buitenhoofd, de vleugelwanden van het buitenhoofd en de oeverbeschermingen.

Er wordt op basis van de 'in het verleden bewezen sterkte' geconcludeerd dat de hierboven beschreven aansluitingen hun functie goed vervullen. Deze bewezen sterkte is gebaseerd op de volgende feiten:

- Er zijn geen schades geconstateerd tijdens inspectie [Lit. 8].
- Er treden dagelijks grote stroomsnelheden op ten gevolge van het nivelleren van de sluis en het passeren van scheepvaart die, wanneer de aansluitingen van de bodembescherming niet zouden voldoen, tot ontgrondingen zouden leiden.
- Volgens de beheerder zijn er met deze onderdelen geen problemen geweest tijdens de levensduur van de sluis.

Op basis van het bovenstaande worden voor de aansluitingen van de bodembescherming geen nadere analyses uitgevoerd. De kans op falen van de aansluitingen van de bodembescherming wordt verwaarloosbaar klein geacht.

5.3.5 Onbeschermd bodem

De onbeschermd bodem bestaat volgens inspectie uit klei. Gezien het niveau van de bodem aan het einde van de bodembescherming (NAP-18,5 m) komt dit overeen met de grondopbouw beschreven in § 3.4. De kleilaag is tot circa NAP-19,0 m aanwezig en dus ongeveer 0,5 m dik. Onder deze kleilaag bestaat de bodem volgens de beschikbare boringen uit (matig) fijn zand. Hierbij hoort een korrelgrootte van 0,15 tot 0,21 mm [Lit. 22]. Deze korrelgrootte komt goed overeen met de gegevens uit een ander onderzoek, waarin de beschikbare zeefkromme van het zand is bepaald, zie Tabel 28.

Tabel 28: Zeefkromme onbeschermd bodem [Lit. 17]

Korrel diameter	Waarde [mm]
D ₁₅	0,16
D ₂₀	0,17
D ₅₀	0,21
D ₈₅	0,28

Gezien het huidige niveau van de onbeschermd bodem (circa NAP-18,5 m), met hier en daar lokaal lagere niveau's en de onzekerheid in het niveau van de onderkant van de kleilaag wordt in de verdere analyse (conservatief) uitgegaan van een onbeschermd bodem bestaande uit matig (fijn) zand.

5.4 Toelaatbare belasting(en) (stap 2)

In deze paragraaf worden bij de faalmechanismen 'falen van de toplaag' en 'afmetingen voldoen niet' de toelaatbare belastingen bepaald. De toelaatbare stroomsnelheden zijn voor verschillende belastingen gegeven in Tabel 29. In de subparagrafen worden deze belastingen nader beschreven.

Tabel 29: Toelaatbare stroomsnelheden¹

Belasting situatie	Turbulentie [-]	Stroomsnelheid (u _b) [m/s]
<i>Falen toplaag</i>		
Schroef- en boegschroefstraal	$K_t^2=5,2$	2,02
Retourstroming	$K_t^2=1,6$	3,64
Vul-, ledig- en spuistroming	$r=0,4$	3,05
Aanvaring	-	-
<i>Afmetingen voldoen niet</i>	-	-

Opmerkingen bij tabel:

- 1 De toelaatbare stroomsnelheden als gevolg van scheepvaart zijn berekend bij een gemiddeld bodemniveau van NAP-16,00 m en een waterstand van NAP-0,40 m op de Noordzee.
- 2 De toelaatbare stroomsnelheden als gevolg van nivelleren zijn berekend bij een gemiddeld bodemniveau van

¹ Uitgaande van basaltbreuksteen ($\rho=2.800-3.100 \text{ kg/m}^3$) is de toelaatbare stroomsnelheid groter. Voor schroef- en boegschroefstralen leidt dit tot een stroomsnelheid van 1,97 tot 2,12 m/s. In de analyse wordt echter uitgegaan van normaal breuksteen ($\rho=2.650 \text{ kg/m}^3$).

NAP-16,00 m en een waterstand van NAP-2,50 m op de Noordzee.

- 3 Toelaatbare stroomsnelheid voor het faalmechanisme afmetingen voldoen niet wordt vanwege de grote toelaatbare kuildiepte niet bepaald.
- 4 Voor aanvaring is geen toelaatbare stroomsnelheid bepaald. Er wordt van uitgegaan dat aanvaring altijd tot falen leidt.

5.4.1 *Falen toplaag (11.7-wat.bdmbeszee.min.obl1)*

De toelaatbare stroomsnelheden voor de toplaag van de bodembescherming zijn berekend aan de hand van de rekensheet Stabiliteit toplaag bodembescherming.

5.4.1.1 Toelaatbare schroef- en boegschroefstralen

Voor de toelaatbare stroomsnelheid als gevolg van schroef- en boegschroefstroming wordt uitgegaan van een relatieve turbulentie-intensiteit van 0,40 [Lit. 16]. De toelaatbare stroomsnelheid als gevolg van schroefstralen is op basis van de rekenregel "Shields aangepast voor stralen" 3,12 m/s.

In de Rock Manual [Lit. 2] wordt voor schroef- en boegschroefstraalbelasting de rekenregel van Izbash aangeraden. Voor standaard ontwerp van bodembeschermingen, waarbij de stromingsaanval niet altijd op dezelfde plaats aanwezig is, wordt een turbulentie-factor van $K_t^2=5,2$ voorgeschreven. Bij deze turbulentie-factor is de toelaatbare stroomsnelheid 2,02 m/s. Voor herhaalde stromingsaanval op dezelfde plaats (bijvoorbeeld bij kademuren) wordt een hogere turbulentie-factor van $K_t^2=6,0$ aangeraden. Bij deze turbulentie-factor is de toelaatbare stroomsnelheid 1,88 m/s.

Voor de Rotterdamse haven komt een $K_t^2=5,2$ overeen met de praktijk en deze waarde lijkt voor de Noordersluis daarom een veilige waarde. In het vervolg van de analyse wordt uitgegaan van een toelaatbare stroomsnelheid van 2,02 m/s.

5.4.1.2 Toelaatbare retourstroming

Voor de toelaatbare stroomsnelheid als gevolg van retourstroming wordt uitgegaan van een relatieve turbulentie-intensiteit (r) van 0,25. De toelaatbare stroomsnelheid als gevolg van retourstroming is op basis van de rekenregel "Shields aangepast voor stralen" 3,93 m/s.

Op basis van de rekenregel van Izbash is bij een turbulentie-factor (K_t^2) van 1,6 een toelaatbare stroomsnelheid van 3,64 m/s vastgesteld. In het vervolg van de analyse wordt uitgegaan een toelaatbare stroomsnelheid van 3,64 m/s.

5.4.1.3 Toelaatbare vul-, ledig- en spuistroming

In Tabel 30 zijn de toelaatbare stroomsnelheden voor zowel vul- en ledigstroming als stroming ten gevolge van spuien weergegeven voor verschillende waarden van turbulentie-intensiteit. In de

analyse wordt uitgegaan van een relatieve turbulentie-intensiteit (r) van $0,40^1$. De bijbehorende toelaatbare stroomsnelheid is $3,05$ m/s.

Tabel 30: Toelaatbare stroomsnelheid per turbulentie-intensiteit

Relatieve turbulentie-intensiteit (r) [-]	Toelaatbare stroomsnelheid (u_b) [m/s]
0,20	4,19
0,25	3,83
0,30	3,53
0,35	3,27
0,40	3,05

5.4.2 Afmetingen bodembescherming voldoen niet (11.7-wat.bdmbeszee.min.obl2)

Voor sluizen zijn schroefstraalstroming, vul- en ledigstroming, spuistroming en retourstroming vaak maatgevend voor de afmetingen voor de bodembescherming. Bij de Noordersluis ligt de onbeschermde bodem op een afstand van ongeveer 100 m vanaf de overgang naar de betonvloer van het buitenhoofd.

In de Generieke aanpak is gesteld dat de afmetingen van de bodembescherming niet voldoen wanneer minimaal $1/3$ van de totale lengte van de bodembescherming is afgeschoven in de ontgrondingskuil. Het begin van afschuiven van de bodembescherming treedt op bij overschrijding van de toelaatbare kuildiepte in combinatie met overschrijding van de toelaatbare aanzethelling van de kuil. Voor de hoek na afschuiving (γ) is een helling van $1:7$ aangehouden, de (kritische) aanzethelling is gelijk gesteld aan de hoek van inwendige wrijving van matig vast zand ($\beta \approx 30^\circ$ [Lit. 6]). De toelaatbare diepte van de ontgrondingskuil is weergegeven in Tabel 31.

Tabel 31: Toelaatbare diepte ontgrondingskuil

Symbol	Parameter	Waarde	Dimensie
L_b	lengte bodembescherming	100	[m]
$1/3 L_b$	toelaatbare afschuiving	33,3	[m]
γ	eindhelling bodem na afschuiven	8,1	[°]
β	aanzethelling kuil	30,0	[°]
y_e	Toelaatbare kuildiepte	12,6	[m]

De toelaatbare kuildiepte is $12,6$ m. Het is niet realistisch te verwachten dat de evenwichtsdiepte van de ontgrondingskuil deze waarde bereikt. Gezien de grote afstand, de oriëntatie van de stralen bij de riolen in het sluishoofd (Figuur 16, pag. 37) en de mogelijkheid tot spreiding van stroming over de breedte van de voorhaven, zal vul- en ledigstroming en spuistroming ter hoogte van de

¹ Deze relatieve turbulentie-intensiteit is groter dan de relatieve turbulentie-intensiteit die gebruikt wordt voor vul- en ledigstroming door sluisdeuren met en zonder breekbalken ($0,25$ respectievelijk $0,35$, [Lit. 16]). Aangezien de ruimte voor de roldeuren als een grote woelkamer beschouwd kan worden, lijkt een turbulentie-intensiteit van $0,40$ een goed uitgangspunt.

onbeschermde bodem nauwelijks zorgen voor stromingsbelasting¹. Voor de toelaatbare belasting voor de afmetingen van de bodembescherming is dan alleen retourstroming en schroefstraalstroming van belang. Deze belastingen zijn vaak kortdurend en sedimenttransport vindt plaats in twee richtingen, waardoor grote kuddiepten nauwelijks bereikt worden. Daarnaast is er een kleilaag aanwezig. Dit wordt bevestigd door de resultaten van de multibeammeting. Deze toont dat de diepte van de erosiegeul in de vaarbaan maximaal 2,5 m is ten opzichte van de bovenkant van de bodembescherming. In de huidige situatie is (na 80 jaar) slechts beperkte ontgroning ontstaan en verwacht wordt dat dit in de toekomst niet sterk zal toenemen. Wanneer de kleilaag verdwijnt is het wel aannemelijk dat de erosie van het fijne zand sneller zal verlopen en dat er een aanzienlijke ontgrondingskuil kan ontstaan. Dit faalmechanisme wordt gezien de huidige staat echter niet nader beschouwd.

5.5 Maatgevende belastingsituaties (stap 3)

In deze paragraaf wordt onderscheid gemaakt in de volgende toestanden:

- Normaal sluisbedrijf
- Onderhoud
- IJstoestanden
- Calamiteiten

In § 3.1.2 is beschreven dat zowel onderhoud als ijstoestanden niet nader beschouwd worden. Voor de overige toestanden zijn de maatgevende belastingsituaties voor de bodembescherming bepaald.

5.5.1 *Falen toplaag (11.7-wat.bdmbeszee.min.obl1)*

5.5.1.1 Normaal sluisbedrijf

Tijdens normaal sluisbedrijf wordt onderscheid gemaakt in belastingen door:

- Stroming ten gevolge van scheepvaart
- Vul- en ledigstroming
- Stroming ten gevolge van spuien

Stroming ten gevolge van scheepvaart

In het verleden is gebleken dat de bodembescherming onderhevig is aan grote belastingen door scheepvaart (vooral schroefstralen). Dit heeft vooral te maken met schaalvergroting van de scheepvaart, zie ook § 2.2.4. Schepen met grotere motorvermogens en grotere diepgang zorgen voor grote belastingen op de bodembescherming.

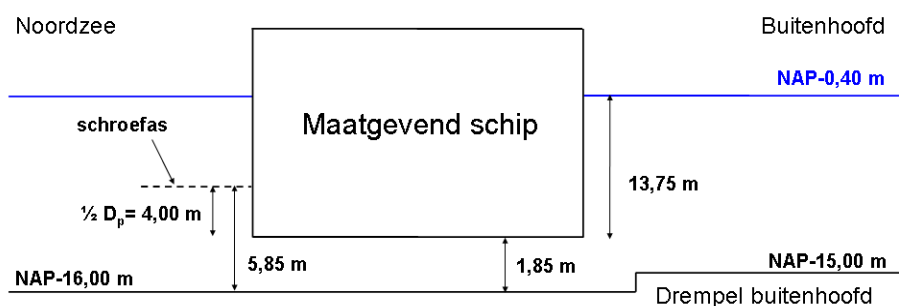
¹ Uitgaande van een doorstroomoppervlak bij laag water (NAP-2,50 m) gelijk aan 57,5 m x 13,5 m = 776,3 m² (breedte sluishoofd bij einde vleugelwand x waterdiepte), is de stroomsnelheid bij een debiet van 500 m³/s slechts 0,64 m/s.

Schroefstraalbelasting

In Tabel 32 zijn de optredende stroomsnelheden voor twee machineorders weergegeven. Deze zijn bepaald met behulp van de rekensheet Schroefstralen (zie Bijlage 5) en aan de hand van de uitgangspunten in § 3.3.1.12. In Figuur 20 is de situatie voor het maatgevende schip schematisch weergegeven. Er wordt uitgegaan van een waterstand van NAP-0,40 m, omdat het maatgevende schip anders niet kan passeren. Bij een lagere waterstand neemt de toegestane diepgang van het schip namelijk af, zodat de kielspeling gelijk blijft.

Tabel 32: Stroomsnelheid als gevolg van schroefstraalbelasting

Situatie	Machineorder	Aangewend vermogen [kW]	Stroomsnelheid boven de bodem [m/s]
Normale omstandigheden	ZLV (25%)	17.367	2,69
Extreme omstandigheden	HV (50%)	34.734	3,39



Figuur 20: Schematische weergave van het maatgevende schip boven de bodembescherming

De optredende stroomsnelheden in Tabel 32 zijn groter dan de toelaatbare stroomsnelheid (2,02 m/s). Zowel onder normale omstandigheden als extreme omstandigheden treedt falen van de toplaag op bij een waterstand op de Noordzee van NAP-0,40 m. Pas wanneer de afstand van schroefas tot bodem 7,85 m is, wordt de toelaatbare stroomsnelheid onder normale omstandigheden niet overschreden. Bij deze afstand hoort een waterstand hoger dan NAP+1,60 m. Deze waterstand wordt gedurende elke getijdencyclus onderschreden, omdat de hoogwaterstand tijdens gemiddeld getij NAP+0,97 m is. Dit betekent dat falen bij het passeren van het maatgevende schip vrijwel altijd optreedt (ongeveer 99,57% van de tijd¹).

In extreme omstandigheden treedt overschrijding van de toelaatbare stroomsnelheid niet meer op bij waterstanden hoger dan NAP+3,60 m (afstand schroefas tot bodem is 9,85 m). Aangezien het maximale schutpeil NAP+3,40 m is, treedt falen van de toplaag bij het passeren van het maatgevende schip altijd op.

Uitgaande van een waterstand van NAP-0,40 m treedt falen niet meer op bij een aangewend vermogen gelijk aan of lager dan 10,4% van het totale motorvermogen.

¹ Dit percentage is bepaald aan de hand van de beschikbare meetreeks (1-1-1981 t/m 5-1-2011) van het meetpunt IJmuiden Buitenhaven, bron: www.waterbase.nl

In de praktijk zal het maatgevende (container)schip voorzichtig manoeuvreren en zal het aangewende vermogen waarschijnlijk kleiner zijn dan 25%, eerder in de richting van 10% tot 15%. Daarnaast is het overgrote deel van de schepen dat de Noordersluis passeert een stuk minder groot en heeft een diepgang van ongeveer 8 tot 9 m. Het is daarom tevens inzichtelijk gemaakt of overschrijding van de toelaatbare stroomsnelheid optreedt bij het passeren van andere schepen. Wanneer bijvoorbeeld de overige “maatgevende” schepen uit Tabel 4 beschouwd worden, worden de resultaten uit Tabel 33 verkregen. Deze schepen zijn over het algemeen kleiner dan het maatgevende (container)schip en zullen mogelijk wel 25% tot 50% motorvermogen gebruiken tijdens manoeuvreren. Bij 50% aangewend motorvermogen blijkt dat cruiseschepen en bulkcarriers met grote diepgang voor de grootste stroomsnelheden nabij de bodem zorgen, maar dat de stroomsnelheden kleiner zijn dan bij het maatgevende (container)schip. Hierbij is uitgegaan van een waterstand van NAP-0,40 m en moet rekening gehouden worden dat schepen met een kleinere diepgang kunnen passeren bij lagere waterstanden (tot het minimale schutpeil van NAP-2,50 m). Bulkcarrier (2) leidt net als het maatgevende (container)schip tot een kielspeling kleiner dan 1,00 m en mag als gevolg daarvan alleen onder bepaalde voorwaarden de sluis passeren.

Tabel 33: Stroomsnelheid als gevolg van overige “maatgevende” schepen bij een waterstand van NAP-0,40 m

Type schip	Diepgang [m]	Afstand schroefas tot bodem [m]	50% aangewend vermogen [kW]	Diameter hoofdschroef ¹ [m]	Stroomsnelheid (u_b) [m/s]
Coaster	8,00	9,38	2.250	3,57	0,65
Tanker	10,50	7,32	4.082	4,43	1,09
Carcarrier	9,00	9,27	6.750	5,33	1,08
Bulkcarrier (1)	12,30	5,33	3.212	4,06	1,34
Bulkcarrier (2)	13,75	4,10	4.250	4,50	1,98
Bulkcarrier (3)	10,00	8,27	6.800	5,34	1,22
Cruiseschip ²	8,20	10,48	20.000	6,15	2,04

De stroomsnelheid nabij de bodem van schepen die passeren bij de minimaal vereiste kielspeling of het minimale schutpeil zijn weergegeven in Tabel 34. Hieruit blijkt dat het cruiseschip maatgevend is. Net als bij een waterstand van NAP-0,40 m (zie Tabel 33) zorgt het cruiseschip voor een overschrijding van de toelaatbare stroomsnelheid. De overige schepen leiden niet tot overschrijding van de toelaatbare stroomsnelheid.

De hier uitgevoerde analyse toont aan dat zowel containerschepen als cruiseschepen tot overschrijding van de toelaatbare stroomsnelheid kunnen leiden. Hierbij moet wel de opmerking gemaakt worden dat voor cruiseschepen uitgegaan is van een aangewend motorvermogen gelijk aan 50% van het totale motorvermogen. Bij 25% aangewend motorvermogen treedt overschrijding van de toelaatbare stroomsnelheid bij cruiseschepen niet meer op.

¹ De diameter van de hoofdschroef is bepaald aan de hand van de volgende relatie: $D_p = 0,0133 \times P_d^{0,365}$ [Lit. 2].

² Voor cruiseschepen is uitgegaan van twee schroeven.

Tabel 34: Stroomsnelheid als gevolg van overige "maatgevende" schepen bij minimaal vereiste kielspeling, of min. schutpeil

Type schip	Diepgang [m]	Afstand schroefas tot bodem [m]	50% aangewend vermogen [kW]	Waterstand ¹ [m+NAP]	Stroomsnelheid (u_b) [m/s]
Coaster	8,00	7,29	2.250	-2,50	0,84
Tanker	10,50	5,22	4.082	-2,50	1,53
Carcarrier	9,00	7,17	6.750	-2,50	1,40
Bulkcarrier (1)	12,30	4,03	3.212	-1,70	1,78
Bulkcarrier (2)	13,75	4,25	4.250	-0,25	1,91
Bulkcarrier (3)	10,00	6,17	6.800	-2,50	1,63
Cruiseschip	8,20	8,38	20.000	-2,50	2,55

Retourstroming

Naast belasting door schroefstralen zorgt scheepvaart voor belasting op de bodembescherming in de vorm van retourstroming. De retourstroming als gevolg van het maatgevende schip dat door het sluishoofd vaart is berekend met de rekensheet Retourstroming (zie Bijlage 5). De maximale retourstroomsnelheid in het sluishoofd is gelijk aan 3,03 m/s. Aangezien de toelaatbare stroomsnelheid groter is dan de optredende stroomsnelheid, treedt falen van de toplaat niet op.

Vul- en ledigstroming

Volgens [Lit. 30] is het maximale debiet 156 m³/s tijdens nivelleren door het buitenhoofd bij een verval van 3,80 m (NAP+3,40 m – NAP-0,40 m). Dit maximale debiet treedt op na 480 s. Op dat moment is het verval gereduceerd tot 1,64 m. Vanwege het verschil in lengte tussen de riolen aan de noord- en zuidzijde van de sluishoofden (en dus in weerstand) is er een verschil in het maximale debiet van de afzonderlijke riolen. Berekeningen uit [Lit. 30] tonen aan dat op het moment van het maximale debiet door de afzonderlijke riolen een gemiddelde stroomsnelheid van 1,47 m/s in de riolen bereikt wordt. Rekening houdend met de relatieve turbulentie-intensiteit die in de rioolstralen voorkomt ($r \approx 0,30$) is de maximale stroomsnelheid bepaald op 1,97 m/s.

Op basis van Lockfill berekeningen (zie Bijlage 8, situatie V1) blijkt dat het maximale debiet tijdens nivelleren bij een verval van 3,80 m, 156 m³/s is. Het maximale debiet wordt bereikt na ongeveer 420 s. Hierbij is het waterstandverval gereduceerd tot ongeveer 2,0 m. De tijd waarna dit debiet bereikt wordt, is kleiner dan volgens [Lit. 30] bepaald is. Dit verschil wordt mogelijk bepaald door de grotere afmetingen van het schip en het sneller heffen van de schuiven ten opzichte van de oorspronkelijke situatie. Verwacht wordt dat de stroomsnelheden tevens ongeveer 2,0 m/s zijn.

De hierboven beschreven situatie betreft het vullen van de sluiskolk door het buitenhoofd. Hierbij zal vooral de stroomsnelheid aan de uitstroomzijde groot zijn. Voor de bodembescherming aan de Noordzeezijde is vooral de omgekeerde situatie van belang, namelijk het ledigen van de sluiskolk door het buitenhoofd. In Bijlage 8 (situatie V2) is te zien dat het maximale debiet 95 m³/s is, tijdens ledigen met een waterstandverval van 2,10 m (waterstand op de Noordzee NAP-2,50 m). Dit maximale debiet treedt op na ongeveer 370 s. Op dat moment is het verval gereduceerd tot

¹ Uitgaande van een minimaal vereiste kielspeling van 1,00 m, zie § 3.1.3.1.

ongeveer 1,2 m. Hieruit blijkt dat de debieten en stroomsnelheden in de omloopriolen tijdens het vullen van de sluisolk maatgevend zijn.

Aangezien de toelaatbare stroomsnelheid (3,05 m/s) groter is dan de optredende stroomsnelheden (ongeveer 2,0 m/s), treedt falen van de toplaag niet op.

Stroming ten gevolge van spuien

Spuien vindt alleen plaats door de omloopriolen in het buitenhoofd en start vanaf een waterstand van NAP-0,25 m (en hoger) op het Noordzeekanaal (hoogwaterregime). Uitgaande van een extreem hoge waterstand op het Noordzeekanaal (NAP+0,00 m) en een 1/100 per jaar laag waterstand op de Noordzee (NAP-2,50 m) is het waterstandsverval over het buitenhoofd 2,50 m. Dit is het maximale verval dat voor spuien representatief geacht wordt. Waarschijnlijk is spuien met de Noordersluis bij dit grote verval niet nodig, omdat in dit geval voldoende water met de spuisluizen op de Noordzee geloosd kan worden. Spuien met de Noordersluis zal namelijk over het algemeen plaatsvinden wanneer de overige middelen (spuisluizen en gemaal) als gevolg van een relatief klein verval te weinig capaciteit hebben. Vanuit conservatief oogpunt wordt voor de berekening van het debiet wel een verval van 2,50 m aangehouden.

Wanneer de ξ -waarden voor intreeverliezen, wrijvingsverliezen, bochtverliezen, verwijdingsverliezen en uittreeverliezen uit het WL-onderzoek [Lit. 30] overgenomen worden, kan op basis van een simpele relatie (voor het verband tussen het totale verlies en het debiet in pijpleidingen, [Lit. 25]) het debiet uitgerekend worden als functie van het verval.

$$\Delta H_{tot} = \frac{Q^2}{2g} \sum \frac{\xi}{A^2}$$

$$\text{Noordelijk omloopriool: } 2,50 = \frac{Q^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left[\frac{3,13}{27,5^2} \right] \Rightarrow Q = 109,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Zuidelijk omloopriool: } 2,50 = \frac{Q^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left[\frac{1,43}{25,4^2} \right] \Rightarrow Q = 148,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

In de bovenstaande formules zijn de maatgevende (kleinste) doorsneden gebruikt. Voor de Lockfill berekeningen is de ξ -waarde voor het zuidelijke omloopriool omhoog bijgesteld, van 1,43 naar 2,43. Dit leidt tot een lager debiet, namelijk 114,1 m³/s.

Voor de stroming ten gevolge van spuien blijkt dat voor het noordelijke en zuidelijke omloopriool ongeveer dezelfde debieten optreden als voor beide omloopriolen samen tijdens het vullen van de sluisolk. Op basis van de doorsnede bij de uitstroomopeningen aan de Noordzeezijde zijn de gemiddelde stroomsnelheden boven de betonvloer respectievelijk ongeveer 1,85 m/s (=109,9 m³/s / 58,8 m²) en 2,53 m/s (=148,8 m³/s / 58,8 m²).

Aangezien de toelaatbare stroomsnelheid groter is dan de optredende stroomsnelheden, treedt falen van de toplaag niet op¹.

5.5.1.2 Calamiteiten

Tijdens calamiteiten wordt onderscheid gemaakt in belastingen door:

- Vul- en ledigstroming na het falen van één schuif
- Aanvaring van de bodembescherming

Vul- en ledigstroming bij falen van één schuif

Falen van één schuif in een omloopriool betekent dat slechts 3 omloopriolen gebruikt kunnen worden in plaats van 4 omloopriolen. Tijdens de kalibratie van de Lockfill berekeningen is een dergelijke situatie voor het vullen van de sluis kolk beschouwd (zie Bijlage 8, situatie K5). Hieruit blijkt dat het maximale debiet ongeveer 125 m³/s is. Dit maximale debiet treedt op na ongeveer 480 s. Op dat moment is het verval gereduceerd tot ongeveer 2,0 m. Bij een debiet van 125 m³/s en 3 omloopriolen is de gemiddelde uitstroomsnelheid ongeveer 1,42 m/s (=125 m³/s / 88 m²).

Aangezien de debieten bij ledigen van de sluis kolk als gevolg van een kleiner waterstandsverval lager zijn dan bij vullen, zijn de optredende stroomsnelheden ook kleiner. Als gevolg hiervan treedt falen van de toplaag niet op.

Aanvaring van de bodembescherming

Aanvaring van de bodembescherming door beroepsvaartuigen kan alleen optreden wanneer de minimale kielspeling (1,0 m) niet aangehouden wordt. Het uitgangspunt is dat grote schepen alleen gebruik mogen maken van de sluis wanneer aan de minimale kielspeling voldaan wordt. In geval hiervan afgeweken wordt, is toestemming van het hoofd Verkeersleiding nodig. De kans op aanvaring is daarom zeer klein. Daarnaast ligt de bovenkant van de toplaag van de bodembescherming gemiddeld 1 m lager dan de bovenkant van de sluisvloer en zal aanvaring van de sluisvloer eerder optreden dan aanvaring van de bodembescherming. Als gevolg hiervan wordt falen van de toplaag door aanvaring niet relevant beschouwd.

5.6 Overschrijdingsfrequentie van maatgevende belastingsituaties (stap 4)

5.6.1 Falen toplaag (11.7-wat.bdmbeszee.min.obl1)

In Tabel 35 zijn de beschouwde toestanden en bijbehorende kansen voor het falen van de toplaag van de bodembescherming weergegeven. Op pag. 46 is beschreven dat het passeren van het maatgevende containerschip (OOCL Shenzhen) zowel onder normale als extreme omstandigheden leidt tot falen van de toplaag bij vrijwel elke waterstand. Dit is in Tabel 35 weergegeven met een kans 1,00.

¹ Gezien de oriëntatie van de uitstroombalen aan de Noordzeezijde en het energieverlies dat hierbij optreedt, wordt verwacht dat bij enigszins hogere debieten dan aangetoond met de handberekening de toelaatbare stroomsnelheid niet wordt overschreden.

Tabel 35: Faalkansen per toestand voor de toplaag van de bodembescherming

Toestand (T_i)	$P(T_i)$	$P_r(F T_i)$	$\Delta P_{r,i}$
Normaal sluisbedrijf			
-schutten (OOCL Shengzen)	7,6071E-01	1,00	7,6071E-01
-waterkeren	2,3548E-01	0	0
-spuien	8,7812E-05	0	0
Calamiteiten			
-falen één schuif	5,6792E-04	0	0
-aanvaring	0	1,00	0
Som			$P_r=7,6071E-01$

Opmerkingen bij tabel:

$P(T_i)$ kans (per dag) op voorkomen van toestand i

$P_r(F|T_i)$ kans op falen gegeven toestand i

$\Delta P_{r,i}$ kansbijdrage (per dag)

5.6.1.1 Terugkoppeling naar RAMS

De toplaag van de bodembescherming voldoet (rekenkundig) niet aan de stromingsbelastingen ten gevolge van scheepvaart (schroefstralen).

In de RAMS-analyse zijn deze uitkomsten echter om een aantal redenen niet meegenomen. Ten eerste is de berekening gebaseerd op een maatgevend (container)schip dat tijdens normale omstandigheden 25% van het totale motorvermogen gebruikt. Het manoeuvreren van het maatgevende schip zal (gezien de afmetingen) in de praktijk voorzichtig plaatsvinden, waardoor het werkelijk aangewende vermogen waarschijnlijk lager is (orde grootte 10% tot 15%)¹. Het feit dat het maatgevende schip uitgebreide sleepbootassistentie vereist, zal hier tevens een positieve werking op hebben. Het aangewende motorvermogen van 25% onder normale omstandigheden is daarom waarschijnlijk te conservatief. Dit is ook al benoemd in § 3.3.1.12, waar op basis van telegraafstanden (machineorders) de mogelijke relatie tussen het aangewende toerental en het aangewende vermogen besproken is. Er kan op dit moment echter geen kwantitatieve onderbouwing gegeven worden. Uit de analyse blijkt dat bij een aangewend vermogen van 10,4% de bodembescherming wel voldoet.

Daarnaast zullen containerschepen van dit formaat (grote afmetingen en een groot motorvermogen) de sluis niet vaak passeren. De sluis wordt vooral gebruikt door zeeschepen met een diepgang van 8 m tot 9 m. Andere "maatgevende" schepen (coasters, tankers, carcarriers, bulkcarriers en cruiseschepen) die de Noordersluis passeren, hebben over het algemeen een kleinere diepgang en een kleiner motorvermogen, zie Tabel 4. Bij deze schepen treedt falen van de bodembescherming niet op, zie de resultaten in Tabel 33 en Tabel 34. Cruiseschepen zijn hierop een uitzondering, omdat deze schepen ondanks de geringe diepgang toch een groot

¹ Uit onderzoek naar het ontwerp van bodembeschermingen nabij kademuren blijkt dat tijdens het manoeuvreren van schepen onder sleepbootbegeleiding niet meer dan 15% van het maximale motorvermogen wordt aangewend [Lit. 15]. Dit duidt er op dat in de hier uitgevoerde analyse conservatieve uitgangspunten zijn gebruikt.

motorvermogen en twee schroeven hebben. In de analyse is echter gerekend met 50% motorvermogen, bij 25% motorvermogen treedt falen al niet meer op. Ten tweede is de berekening conservatief ingestoken, omdat uitgegaan is van een stilliggend schip. In werkelijkheid is de optredende stroomsnelheid kleiner, omdat deze (globaal gezien) verminderd wordt met de vaarsnelheid van het schip (maximaal 1,5 m/s). Daarnaast is uitgegaan van normaal breuksteen. De in het verleden uitgevoerde herstelwerkzaamheden zijn uitgevoerd met basaltbreuksteen. Aangezien niet duidelijk is waar de herstelwerkzaamheden zijn uitgevoerd, is de sterkte van de bodembescherming nabij de sluis hiermee mogelijk onderschat.

De hierboven beredeneerde situatie komt overeen met hetgeen tijdens inspectie aangetroffen is, zie § 5.1.3.2. Er zijn geen schades in de bodembescherming aangetroffen. Daarnaast zal lokaal falen van de toplaag niet direct leiden tot falen van de gehele bodembescherming en (onderdelen van) de sluisconstructie. Dit proces duurt enige tijd, omdat belastingen vaak kortstondig aanwezig zijn. Op basis van de bovenstaande punten wordt verwacht dat de kans op falen van de bodembescherming verwaarloosbaar klein is.

5.7 **Beheer en onderhoud**

Naar aanleiding van de resultaten van de multibeammeting en duikinspectie zijn geen schades aan de bodembescherming geconstateerd. Er zijn wel verdiepingen in de bodembescherming nabij het buitenhoofd geconstateerd, maar dit zijn oude schades die in het verleden hersteld zijn. De aansluiting van de bodembescherming bij het buitenhoofd is nog intact. Daarnaast zijn er verdiepingen in de vaarweg aanwezig, maar deze zijn gezien het huidige niveau van de onbeschermd bodem in de vaarweg niet kritisch.

De analyseresultaten tonen aan dat bij passage van het maatgevende (container)schip overschrijding van de toelaatbare stroomsnelheid van de toplaag kan optreden. In de analyse is uitgegaan van een aangewend vermogen van 25% tot 50% van het totale motorvermogen. Dit is waarschijnlijk meer dan in de praktijk gebruikt wordt, omdat er tijdens het manoeuvreren van grote schepen uitgebreide assistentie door sleepboten verleend wordt en vanwege de kleine kielspeling voorzichtig gemanoeuvreed moet worden. Tijdens calamiteiten waarbij het maatgevende schip zelf extra vermogen moet gebruiken, wordt zeer waarschijnlijk schade aan de bodembescherming aangericht. Dit geldt ook voor cruiseschepen die 50% vermogen, of meer, gebruiken. Een aanbeveling is dan ook om grote schepen altijd te voorzien van sleepbootassistentie en deze bij voorkeur te laten passeren bij hoogwater (gedurende het getijde).

Een analyse van de afmetingen van de bodembescherming is niet verder uitgevoerd, omdat de toelaatbare ontgrondingsdiepte (op basis van zand) zo groot is dat het niet realistisch is dat deze bereikt wordt. In de huidige situatie is de kleilaag echter nog intact en wanneer de bodem regelmatig gepeild wordt, zal de relatief langzame ontwikkeling van de ontgrondingskuil tijdig gesignaleerd worden en kan eventueel onderhoud gepland worden.

Het advies is om regelmatig (bijvoorbeeld jaarlijks) een multibeammeting uit te voeren om de actuele staat en het gedrag (qua diepte) van de bodembescherming en het onbeschermd gebied aan de Noordzeezijde van de sluis in kaart te brengen. Wanneer afwijkingen of mogelijke schades in de vorm van bijvoorbeeld (toename van de) verdiepingen geconstateerd worden, kan in aanvulling op de multibeammeting gericht een duikinspectie uitgevoerd worden om de mogelijke oorzaak vast te stellen. Op basis van deze inspectie kan het geschikte onderhoud vastgesteld worden.

Daarnaast wordt aangeraden om de verdieping nabij de overgang naar vloer van het buitenhoofd te handhaven, zodat deze als 'steenvang' kan dienen. Deze verdieping kan lokaal (bijvoorbeeld over een strook van 2 m) versterkt worden door een betonpenetratie.

5.8 Conclusies

Er is aan de Noordzeezijde van de sluis een bodembescherming bestaande uit stortsteen aanwezig. Tijdens inspectie zijn verdiepingen nabij het buitenhoofd aangetroffen. Dit zijn oude schades die hersteld zijn en als gevolg hiervan vertonen de toplaag en de aansluitingen geen schade.

Uit de analyse blijkt dat overschrijding van de toelaatbare belastingen op de toplaag (rekenkundig) kan op treden bij het passeren van het maatgevende schip. De resultaten zijn vanwege verschillende redenen niet in de RAMS-analyse meegenomen. De belangrijkste reden is het aangewende vermogen als gevolg van sleepbootassistentie waarschijnlijk overschat is. Een belangrijke aanbeveling is om grote schepen ook in de toekomst de Noordersluis alleen onder sleepbootassistentie te laten passeren bij hoge waterstanden gedurende het getijde. Daarnaast speelt mee dat de relatie tussen het aangewende toerental (telegraafstanden) en het aangewende vermogen niet bekend is. Hierdoor zijn de uitgangspunten voor de analyse van de schroefstraalbelasting mogelijk te conservatief. Dit laatste kan op basis van uitgevoerd literatuuronderzoek echter niet kwantitatief onderbouwd worden.

Een analyse van de afmetingen van de bodembescherming is niet verder uitgevoerd, omdat de toelaatbare ontgrondingsdiepte (op basis van zand) zo groot is dat het niet realistisch is dat deze bereikt wordt. De belangrijkste redenen hiervoor zijn dat er nog een kleilaag aanwezig is, dat de tijdsduur voor het bereiken van de evenwichtsdiepte van een kritische ontgrondingskuil groot is en dat er in de huidige situatie (na 80 jaar) slechts beperkte ontgrondingskuilen zijn.

Verder heeft falen van de sluisconstructie na falen van de bodembescherming enige tijd (waarschijnlijk meer dan 1 jaar) nodig.

In termen van RAMS-analyse draagt het onderdeel bodembescherming Noordzeezijde niet bij aan het falen van de functie(s) van de Noordersluis.

6 Bodembescherming Noordzeekanaalzijde (11.7-wat.bdmbesznk)

6.1 Beschrijving onderdeel

6.1.1 *Fysieke omschrijving*

De bodembescherming aan de Noordzeekanaalzijde van de sluis bestaat uit stortsteen. In het archief is weinig bekend over de (opbouw van de) oorspronkelijk aangelegde bodembescherming. Er is slechts informatie beschikbaar uit de in het verleden uitgevoerde renovaties. In 1992 is de bodembescherming over een afstand van ongeveer 50 m versterkt met colloïdaalbeton. Deze penetratie is over de gehele sluisbreedte aanwezig. De staat van de bodembescherming is bepaald aan de hand van de resultaten van de multibeammelingen en de duikinspectie.

6.1.2 *Stroombeelden*

De stroombeelden aan de Noordzeekanaalzijde van de sluis zijn vrijwel identiek aan de stroombeelden die optreden aan de Noordzezijde van de sluis, zie § 5.1.2. Met dat verschil dat aan de Noordzezijde van de sluis het zoete water zich aan de oppervlakte richting zee voortplant en dat aan de Noordzeekanaalzijde van de sluis het zoute water zich aan de bodem richting het oosten voortplant. Als gevolg hiervan spelen stroomsnelheden ten gevolge van dichtheidstroming aan deze zijde van de sluis wel een rol.

Daarnaast is belasting door stroming ten gevolge van spuien niet relevant voor de bodembescherming aan de Noordzeekanaalzijde, omdat de roldeur in het binnenhoofd open staat en als gevolg hiervan de stroming boven de bodembescherming vrijwel dieptegemiddeld is.

6.1.3 *Bronnen*

Het archief, de inspectie en de ervaring van de beheerder zijn gebruikt om een analyse van de bodembescherming aan de Noordzeekanaalzijde uit te voeren. Hieronder is per informatiebron de informatie nader gespecificeerd.

6.1.3.1 Archief

De volgende documenten zijn gebruikt in de analyse:

- Rijkswaterstaat Bouw Dienst, Renovatie bodembescherming Noordersluis; vooronderzoek, december 1992.
- Waterloopkundig Laboratorium, Noordersluis IJmuiden; verslag modelonderzoek, M902, augustus 1967.
- Waterloopkundig Laboratorium, Noordersluis IJmuiden; beknopt verslag onderzoek, R1759/M1859-I, november 1983.
- Waterloopkundig Laboratorium, Noordersluis IJmuiden; verslag onderzoek, R1759/M1859-II, november 1983.
- Waterloopkundig Laboratorium, Noordersluis IJmuiden; figuren, R1759/M1859-III, november 1983.

- Arends, G.J., 'Sluizen en gemalen in het Noordzeekanaal: anderhalve eeuw ontwerpen, bouwen en vernieuwen', 2001.

6.1.3.2 Inspectie

De duikinspectie¹ van de Noordersluis is uitgevoerd door Nebest adviesgroep op 11, 12 en 13 mei 2011. De resultaten van de duikinspectie staan in het inspectierapport [Lit. 8].

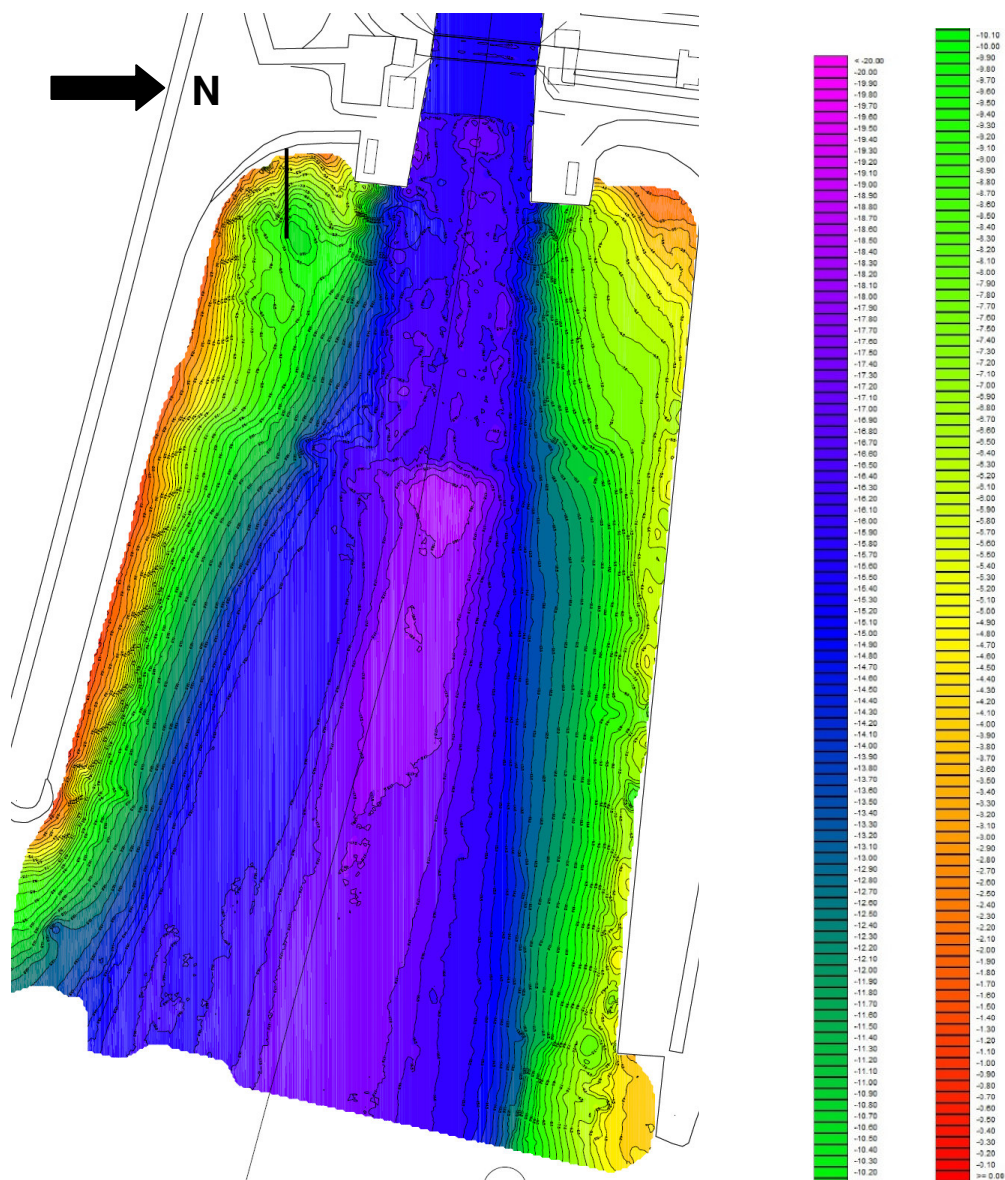
Enkele gegevens uit de inspectie zijn hieronder overgenomen:

- De bodembescherming bij het binnenhoofd bestaat uit stortsteen dat gepenetreerd is met colloïdaal beton, met hoogteverschillen van ongeveer 0,25 m. Het beton is volledig tussen de stortstenen gevloeid en er zijn geen gaten of onregelmatigheden aangetroffen. Er is tevens een dunne laag (variërend van 0 tot 0,25 m) sediment van oesters en dun slib aangetroffen.
- De aansluiting van de bodembescherming op de vleugelwanden van het sluishoofd zijn in goede staat. De stortstenen liggen strak tegen de vleugelwanden.
- De aansluiting van de bodembescherming op de betonvloer van het sluishoofd bestaat uit een stalen damwand. In de as van het sluishoofd is het hoogteverschil tussen bovenkant bodembescherming en bovenkant betonvloer lokaal ongeveer 2,0 m, conform de multibeammeting. De bodembescherming is schoon nabij de overgang naar sluisvloer en sluit goed aan op de damwand. Aan beide zijden van dit punt neemt het hoogteverschil geleidelijk af en neemt de dikte van het sedimentpakket toe. Ter hoogte van de wanden is de laagdikte van het sediment ongeveer 1,0 tot 1,5 m. Er zijn verder geen onregelmatigheden aangetroffen.
- De overgang van gepenetreerd stortsteen naar losliggend stortsteen is tijdens de duikinspectie niet aangetroffen. Er is een lengte van ongeveer 50 m vanaf de overgang naar betonvloer afgezwommen, maar er is alleen gepenetreerd stortsteen aangetroffen. De duikinspectie van de bodembescherming is gestopt voordat het losliggend stortsteen is bereikt. Volgens Rijksduiker Marcel de Jong gaat de bodembescherming op ongeveer 50 m vanaf de overgang naar betonvloer over in losliggend stortsteen, met dezelfde steendiameter.
- Er zijn ongeveer 10 stenen in drie richtingen opgemeten. Op basis van deze metingen is een gemiddelde steendiameter van 0,55 m vastgesteld².

Op 17 mei 2011 is door Nebest een multibeammeting bij de Noordersluis uitgevoerd, zie Figuur 21 [Lit. 8]. Hierin is de erosiegeul in de onbeschermd bodem onder de vaarbaan van de schepen duidelijk te zien. Deze erosiegeul loopt echter niet door tot aan de sluis, omdat er een bodembescherming aanwezig is. Wat verder opvalt, zijn de onregelmatigheden in het verdedigde gebied.

¹ Duikinspectie heeft in verschillende fasen plaatsgevonden. Dit heeft te maken met het variabele scheepsaanbod en de grote diepte. Bij scheepspassage is duiken niet mogelijk en door de grote diepte is de duiktijd beperkt. De beschikbare tijd is zo goed mogelijk benut, maar gezien de grote afmetingen van de sluisonderdelen is niet alles geïnspecteerd.

² Deze gemiddelde steendiameter is niet erg betrouwbaar. Er is vanwege de penetratie met colloïdaal beton slechts een klein aantal stenen opgemeten. Het is mogelijk dat de opgemeten stenen de grootste stenen uit de toplaag zijn.



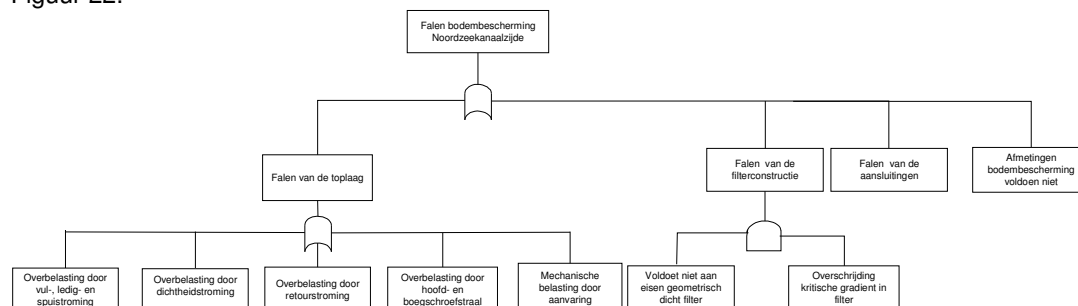
Figuur 21: Resultaten multibeammeting aan de kanaalzijde van de sluis (diepte in meter ten opzichte van NAP), 2011

6.1.3.3 Ervaring beheerder

Volgens de beheerder heeft er in het verleden onderhoud aan de bodembescherming plaatsgevonden. Het betreft het vastleggen van stortstenen met colloïdaalbeton (zie ook [Lit. 17] en [Lit. 33]).

6.2 Foutenboom

De foutenboom van de bodembescherming aan de Noordzeekanaalzijde is weergegeven in Figuur 22.



Figuur 22: Foutenboom bodembescherming aan de Noordzeekanaalzijde

6.3 Verwachtingswaarde sterkte (stap 1)

6.3.1 Toplaag (11.7-wat.bdmbesnz.k.min.obl1)

Voor de sterkte van de toplaag wordt uitgegaan van dezelfde stortsteensortering als aangetroffen is aan de Noordzezijde. Voor het gepenetreerde deel van de bodembescherming wordt voor de dichtheid van colloïdaal beton uitgegaan van 2.250 kg/m^3 . Er wordt (net als bij de bodembescherming aan de Noordzezijde) uitgegaan van de dichtheid van normaal breuksteen gelijk aan 2.650 kg/m^3 . Voor de relatieve dichtheid van steen (in brak water) is uitgegaan van een dichtheid van water van 1.010 kg/m^3 . De eigenschappen van de sterkte van het stortsteen in de toplaag van de bodembescherming zijn weergegeven in Tabel 36.

Tabel 36: Sterkte toplaag lokaal versterkte bodembescherming

Symbool	Parameter	Waarde	Dimensie
-	Gradatie/sortering	60-200	[kg]
d_{50}	Gemiddelde steendiameter	0,40	[m]
d_{n50}	Gemiddelde nominale steendiameter	0,34	[m]
Δ_s	Relatieve dichtheid stenen	1,62	[-]

De bestaande bodembescherming ligt op circa NAP-16,0 m. Op enige afstand van de betonvloer van het binnenhoofd ligt de bovenkant van de bodembescherming lokaal op NAP-17,0 m, zie Figuur 24. Deze verdieping is in het verleden ontstaan door falen van de oorspronkelijke toplaag. De toplaag is in de huidige situatie intact en vastgelegd met een penetratie van beton.

6.3.2 Afmetingen bodembescherming (11.7-wat.bdmbesnz.k.min.obl2)

De oorspronkelijke bodembescherming is tot op een afstand van ongeveer 165 m aanwezig, waarvan de eerste 50 m vanaf het binnenhoofd gepenetreerd is met colloïdaal beton [Lit. 17]. De lengte van de bodembescherming komt overeen met het beschermde gebied dat uit de resultaten

van de multibeaming is verkregen. De lengte van de gepenetreerde bodembescherming (50 m) is bevestigd tijdens duikinspectie.

6.3.3 *Filterconstructie (11.7-wat.bdmbeszk.min.obl3)*

De aanwezigheid en de huidige staat van een eventuele filterconstructie is onbekend, maar er wordt van uitgegaan dat de toplaag direct op de aanwezige kleilaag is aangelegd. Wel is bekend dat de ontgrondingskuilen die in het verleden zijn ontstaan, opgevuld zijn met staalslakken 40-160 mm. De precieze locatie van deze herstelwerkzaamheden is echter niet bekend.

Aangenomen wordt dat deze ontgrondingskuilen ontstaan zijn door overbelasting van de toplaag en dat de onderliggende kleilaag niet geheel geërodeerd is. Aangezien er staalslakken en een toplaag (met over een afstand van 50 m betonpenetratie) aangebracht zijn, is aantasting van de kleilaag en als gevolg hiervan uitspoeling van onderliggende zand niet mogelijk. Er wordt geen nadere analyse voor dit onderdeel uitgevoerd.

6.3.4 *Aansluitingen (11.7-wat.bdmbeszk.min.obl4)*

De bodembescherming sluit aan op de betonvloer van het binnenhoofd, de vleugelwanden van het binnenhoofd en de oeverbeschermingen.

Er wordt op basis van de 'in het verleden bewezen sterkte' geconcludeerd dat de hierboven beschreven aansluitingen hun functie goed vervullen. Deze bewezen sterkte is gebaseerd op de volgende feiten:

- Er zijn geen schades geconstateerd tijdens inspectie [Lit. 8].
- Er treden dagelijks grote stroomsnelheden op ten gevolge van het nivelleren van de sluiskolk en het passeren van scheepvaart die, wanneer de aansluitingen van de bodembescherming niet zouden voldoen, tot ontgrondingen zouden leiden.
- Volgens de beheerder zijn er met deze onderdelen geen problemen geweest tijdens de levensduur van de sluis.

Op basis van het bovenstaande worden voor de aansluitingen van de bodembescherming geen nadere analyses uitgevoerd. De kans op falen van de aansluitingen van de bodembescherming wordt verwaarloosbaar klein geacht.

6.3.5 *Onbeschermd bodem*

De onbeschermd bodem bestaat net als aan de Noordzeezijde (zie § 5.3.5) waarschijnlijk uit een kleilaag met daaronder (matig) fijn zand. De onbeschermd bodem aan het einde van de bodembescherming aan de Noordzeekanaalzijde is tijdens duikinspectie echter niet gecontroleerd. Gezien het huidige niveau van de onbeschermd bodem (circa NAP-18,0 m) en de onzekerheid in het niveau van de onderkant van de kleilaag wordt in de verdere analyse (conservatief) uitgegaan van een onbeschermd bodem bestaande uit matig (fijn) zand.

6.4 Toelaatbare belasting(en) (stap 2)

In deze paragraaf worden bij de faalmechanismen 'falen van de toplaag' en 'afmetingen voldoen niet' de toelaatbare belastingen bepaald. De toelaatbare stroomsnelheden zijn voor verschillende belastingen gegeven in Tabel 37. In de subparagrafen worden deze belastingen nader beschreven.

Tabel 37: Toelaatbare stroomsnelheden

Belasting situatie	Turbulentie [-]	Stroomsnelheid (u_b) [m/s]
<i>Falen toplaag</i>		
Schroef- en boegschroefstraal	$K_t^2=5,2$	2,61
Retourstroming	$K_t^2=1,6$	4,71
Vul-, ledig- en spuiroming	$K_t^2=2,9$	3,52
Aanvaring	-	-
<i>Afmetingen voldoen niet</i>	-	-

Opmerkingen bij tabel:

- 1 De toelaatbare stroomsnelheden als gevolg van scheepvaart zijn berekend bij een gemiddeld bodemniveau van NAP-16,00 m en een waterstand van NAP-0,40 m op het Noordzeekanaal.
- 2 De toelaatbare stroomsnelheden als gevolg van nivelleren zijn berekend bij een gemiddeld bodemniveau van NAP-16,00 m en een waterstand van NAP-0,40 m op het Noordzeekanaal.
- 3 Toelaatbare stroomsnelheid voor het faalmechanisme afmetingen voldoen niet wordt vanwege de grote toelaatbare kuldiepte niet bepaald.
- 4 Aanvaring leidt altijd tot falen.

6.4.1 Falen toplaag (11.7-wat.bdmbesnz.k.min.obl1)

Stortsteen dat gepenetreerd is met colloïdaal beton gedraagt zich als een starre constructie. Hierin kan scheurvorming optreden. Dit is geen probleem zolang de gescheurde elementen groot genoeg zijn, zodat ze niet door de stroming worden meegevoerd. De filterconstructie moet in dit geval uitspoeling van zand door de scheuren voorkomen.

Gezien het feit dat de penetratie met colloïdaal beton slechts over ongeveer 50 m is doorgezet, is er geen probleem nabij de overgang naar onbeschermd bodem. Het losliggende stortsteen aan het eind van de bodembescherming kan de zakkings namelijk goed volgen.

De toelaatbare stroomsnelheid voor de gepenetreerde toplaag is bepaald aan de hand van de rekenrelatie van Pylarczyk die gebruikt wordt voor het dimensioneren voor matten en matrassen [Lit. 2]. Aangezien de aard van de belasting op beide bodembeschermingen hetzelfde is, zijn dezelfde turbulentie-intensiteiten als in § 5.4 aangehouden.

6.4.1.1 Toelaatbare schroef- en boegschroefstralen

Voor de toelaatbare stroomsnelheid als gevolg van schroef- en boegschroefstroming wordt uitgegaan van een turbulentie-factor (K_t^2) van 5,2. De toelaatbare stroomsnelheid als gevolg van schroefstralen is 2,61 m/s.

6.4.1.2 Toelaatbare retourstroming

Voor de toelaatbare stroomsnelheid als gevolg van retourstroming wordt uitgegaan van een turbulentie-factor (K_t^2) van 1,6. De toelaatbare stroomsnelheid als gevolg van retourstroming is 4,71 m/s.

6.4.1.3 Toelaatbare vul-, ledig- en spuistroming

Voor de toelaatbare stroomsnelheden als gevolg van zowel vul- en ledigstroming als stroming ten gevolge van spuien wordt uitgegaan van een turbulentie-factor (K_t^2) van 2,86. De toelaatbare stroomsnelheid is 3,52 m/s.

6.4.1.4 Toelaatbare dichtheidstroming

Voor dichtheidstroming bij het openen van de roldeur wordt uitgegaan van dezelfde toelaatbare stroomsnelheid als bij vul-, ledig- en spuistroming.

6.4.2 *Afmetingen bodembescherming voldoen niet (11.7-wat.bdmbesznk.min.obl2)*

Voor sluizen zijn schroefstraalstroming, vul- en ledigstroming, spuistroming en retourstroming vaak maatgevend voor de afmetingen voor de bodembescherming. Bij de Noordersluis ligt de onbeschermde bodem op een afstand van ongeveer 165 m vanaf de overgang van het binnenhoofd naar de betonvloer.

In de Generieke aanpak is gesteld dat de afmetingen van de bodembescherming niet voldoen wanneer minimaal 1/3 van de totale lengte van de bodembescherming is afgeschoven in de ontgrondingskuil. Afschuiven van de bodembescherming treedt op bij overschrijding van de toelaatbare kuildiepte en overschrijding van de toelaatbare aanzethelling van de kuil. Voor de hoek na afschuiving (γ) is een helling van 1:7 aangehouden, de (kritische) aanzethelling is gelijk gesteld aan de hoek van inwendige wrijving van matig vast zand ($\beta \approx 30^\circ$ [Lit. 6]). De toelaatbare diepte van de ontgrondingskuil is weergegeven in Tabel 31.

Tabel 38: Toelaatbare diepte ontgrondingskuil

Symbool	Parameter	Waarde	Dimensie
L_b	lengte bodembescherming	165	[m]
$1/3 L_b$	toelaatbare afschuiving	55	[m]
γ	eindhelling bodem na afschuiven	8,1	[°]
β	aanzethelling kuil	30,0	[°]
y_e	Toelaatbare kuildiepte	20,8	[m]

De toelaatbare kuildiepte is 20,8 m. Het is niet realistisch te verwachten dat de evenwichtsdiepte van de ontgrondingskuil deze waarde bereikt. De redenen hiervoor zijn gelijk aan die vermeld in § 5.4.2. De beredenering wordt bevestigd door de resultaten van de multibeammeting. Deze toont dat de diepte van de erosiegeul in de vaarbaan maximaal 2,0 m is ten opzichte van de bovenkant van de bodembescherming. In de huidige situatie is (na 80 jaar) slechts beperkte ontgroning ontstaan en verwacht wordt dat dit in de toekomst niet sterk zal toenemen. Wanneer de kleilaag verdwijnt is het wel aannemelijk dat de erosie van het fijne zand sneller zal verlopen en dat er een

aanzienlijke ontgrondingskuil kan ontstaan. Dit faalmechanisme wordt gezien de huidige staat echter niet nader beschouwd.

6.5 Maatgevende belastingsituaties (stap 3)

In deze paragraaf wordt onderscheid gemaakt in de volgende toestanden:

- Normaal sluisbedrijf
- Onderhoud
- IJstoestanden
- Calamiteiten

In § 3.1.2 is beschreven dat zowel onderhoud als ijstoestanden niet nader beschouwd worden. Voor de overige toestanden zijn de maatgevende belastingsituaties voor de bodembescherming bepaald.

6.5.1 *Falen toplaag (11.7-wat.bdmbesznk.min.obl1)*

Tijdens normaal sluisbedrijf wordt onderscheid gemaakt in belastingen door:

- Stroming ten gevolge van scheepvaart
- Vul- en ledigstroming
- Stroming ten gevolge van spuien
- Dichtheidstroming

Stroming ten gevolge van scheepvaart

Voor de stroming ten gevolge van scheepvaart wordt uitgegaan van een waterstand van NAP-0,40 m. In Tabel 39 zijn de optredende stroomsnelheden voor twee machineorders weergegeven. Deze zijn bepaald met behulp van de rekensheet Schroefstralen (zie Bijlage 5) en aan de hand van de uitgangspunten in § 3.3.1.12.

Tabel 39: *Stroomsnelheid als gevolg van schroefstraalbelasting*

Situatie	Machineorder	Aangewend vermogen [kW]	Stroomsnelheid [m/s]
Normale omstandigheden	ZLV (25%)	17.367	2,70
Extreme omstandigheden	HV (50%)	34.734	3,41

De optredende stroomsnelheden in Tabel 39 zijn zowel onder normale als onder extreme omstandigheden groter dan de toelaatbare stroomsnelheid (2,61 m/s). Voor de toplaag van de bodembescherming aan de Noordzezijde is aangegeven dat de optredende stroomsnelheid bij passage van het maatgevende (container)schip waarschijnlijk overschat is. De beredenering vermeld in § 5.5.1.1 gaat hier ook op. Als gevolg hiervan wordt falen van de bodembescherming door schroefstralen nihil geacht.

Naast belasting door schroefstralen zorgt scheepvaart voor belasting op de bodembescherming in de vorm van retourstroming. De retourstroming als gevolg van het maatgevende schip dat door het

sluishoofd vaart is gelijk aan de retourstroomsnelheid die bepaald is in § 5.5.1.1. De maximale retourstroomsnelheid in het sluishoofd is gelijk aan 3,03 m/s. Aangezien de toelaatbare stroomsnelheden groter zijn dan de optredende stroomsnelheden, treedt falen van de toplaag niet op.

Vul- en ledigstroming

Op basis van Lockfill berekeningen (zie Bijlage 8, situatie V4) blijkt dat het maximale debiet tijdens nivelleren bij een verval van 3,80 m, 156 m³/s is. Net als voor de bodembescherming aan de Noordzeezijde zijn de toelaatbare stroomsnelheden groter dan de optredende stroomsnelheden. Als gevolg hiervan treedt falen van de toplaag niet op.

Stroming ten gevolge van dichtheidstromen

Bij het openen van de deur treedt stroming ten gevolge van verschil in dichtheid op. De stroomsnelheid tijdens deze situatie kan berekend worden met de onderstaande formule [Lit. 24].

$$u = 0,45\sqrt{\Delta gh_k} = 0,45\sqrt{0,022 \cdot 9,81 \cdot (3,50 - -16,00)} = 0,92 \text{ m/s}$$

$$\text{Hierin is de dichtheid van zoetwater aangehouden: } \Delta = \frac{\rho_{zout} - \rho_{zoet}}{\rho_{zoet}} = \frac{1,022 - 1,000}{1,000} = 0,022$$

Bij het maximale schutpeil van NAP+3,50 m en een waterdiepte (h_k) is de stroomsnelheid ongeveer 1 m/s. Aangezien de toelaatbare stroomsnelheden groter zijn dan de optredende stroomsnelheden, treedt falen van de toplaag niet op.

6.5.1.1 Calamiteiten

Tijdens calamiteiten wordt onderscheid gemaakt in belastingen door:

- Vul- en ledigstroming na het falen van één schuif
- Aanvaring van de bodembescherming

Vul- en ledigstroming bij falen van één schuif

Deze situatie is voor het buitenhoofd al beschreven in § 5.5.1.2. Voor het binnenhoofd treedt eenzelfde situatie op als beschreven in Bijlage 8, situatie K5. Als gevolg hiervan wordt de toelaatbare stroomsnelheid voor de bodembescherming aan de Noordzeekanaalzijde niet overschreden.

Aanvaring van de bodembescherming

Aanvaring van de bodembescherming door beroepsvaartuigen kan alleen optreden wanneer de minimale kielspeling (1,0 m) niet aangehouden wordt. Het uitgangspunt is dat grote schepen alleen gebruik mogen maken van de sluis wanneer aan de minimale kielspeling voldaan wordt. In geval hiervan afgeweken wordt, is toestemming van het hoofd Verkeersleiding nodig. Gezien de vrij constante waterstanden op het kanaal wordt de kans op een te kleine kielspeling zeer klein geacht. Daarnaast ligt de bovenkant van de toplaag van de bodembescherming ongeveer 1 m lager dan de bovenkant van de sluisvloer en zal aanvaring van de sluisvloer eerder optreden dan aanvaring van

de bodembescherming. Als gevolg hiervan wordt falen van de toplaag door aanvaring niet relevant beschouwd.

6.6 Overschrijdingsfrequentie van maatgevende belastingsituaties (stap 4)

6.6.1 Falen toplaag (11.7-wat.bdmbesnzkm.in.obl1)

In Tabel 40 zijn de beschouwde toestanden en bijbehorende kansen voor het falen van de toplaag van de bodembescherming weergegeven.

Tabel 40: Faalkansen per toestand voor de toplaag van de bodembescherming

Toestand (T_i)	$P(T_i)$	$P_r(F T_i)$	$\Delta P_{r,i}$
Normaal sluisbedrijf			
-schutten	7,6071E-01	0	0
-waterkeren	2,3548E-01	0	0
-spuien	8,7812E-05	0	0
Calamiteiten			
-falen één schuif	5,6792E-04	0	0
-aanvaring	0	1,00	0
Som			$P_r=0$

Opmerkingen bij tabel:

$P(T_i)$ kans (per dag) op voorkomen van toestand i

$P_r(F|T_i)$ kans op falen gegeven toestand i

$\Delta P_{r,i}$ kansbijdrage (per dag)

6.7 Beheer en onderhoud

Naar aanleiding van de resultaten van de multibeammeting en duikinspectie zijn geen schades aan de bodembescherming geconstateerd. Er zijn wel verdiepingen in de bodembescherming nabij het binnenhoofd geconstateerd, maar dit zijn oude schades die in het verleden hersteld zijn. De aansluiting van de bodembescherming bij het binnenhoofd is nog intact. Daarnaast zijn er verdiepingen in de vaarweg aanwezig, maar deze zijn gezien het huidige niveau van de onbeschermd bodem in de vaarweg niet kritisch.

Het advies is om regelmatig (bijvoorbeeld jaarlijks) een multibeammeting uit te voeren om de actuele staat en de ligging van de toplaag van de bodembescherming en het onbeschermd gebied aan de Noordzeekanaalzijde van de sluis in kaart te brengen. Wanneer afwijkingen of mogelijke schades (in de vorm van bijvoorbeeld (toename van de) verdiepingen) geconstateerd worden, kan in aanvulling op de multibeammeting gericht een duikinspectie uitgevoerd worden om de mogelijke oorzaak vast te stellen. Op basis van deze inspectie kan het geschikte onderhoud vastgesteld worden.

6.8 Conclusies

Er is aan de Noordzeekanaalzijde van de sluis een bodembescherming bestaande uit stortsteen aanwezig. Het stortsteen is over een lengte van 50 m gepenetreerd met colloïdaal beton. Tijdens inspectie zijn verdiepingen nabij het binnenhoofd aangetroffen. Dit zijn oude schades die hersteld zijn en als gevolg hiervan vertonen de toplaag en de aansluitingen geen schade.

Uit de analyse blijkt dat overschrijding van de toelaatbare belastingen op de toplaag (rekenkundig) kan op treden bij het passeren van het maatgevende schip onder zowel normale als extreme omstandigheden. De resultaten zijn vanwege verschillende redenen niet in de RAMS-analyse meegenomen. De belangrijkste reden is het aangewende vermogen als gevolg van onder andere sleepbootassistentie waarschijnlijk overschat is.

Een analyse van de afmetingen van de bodembescherming is niet verder uitgevoerd, omdat de toelaatbare ontgrondingsdiepte (op basis van zand) zo groot is dat het niet realistisch is dat deze bereikt wordt. De belangrijkste redenen zijn dat er nog een kleilaag aanwezig is, dat de tijdsduur voor het bereiken van de evenwichtsdiepte van een kritische ontgrondingskuil groot is en dat er in de huidige situatie (na 80 jaar) slechts beperkte ontgrondingskuilen zijn.

Verder heeft falen van de sluisconstructie na falen van de bodembescherming enige tijd (waarschijnlijk meer dan 1 jaar) nodig.

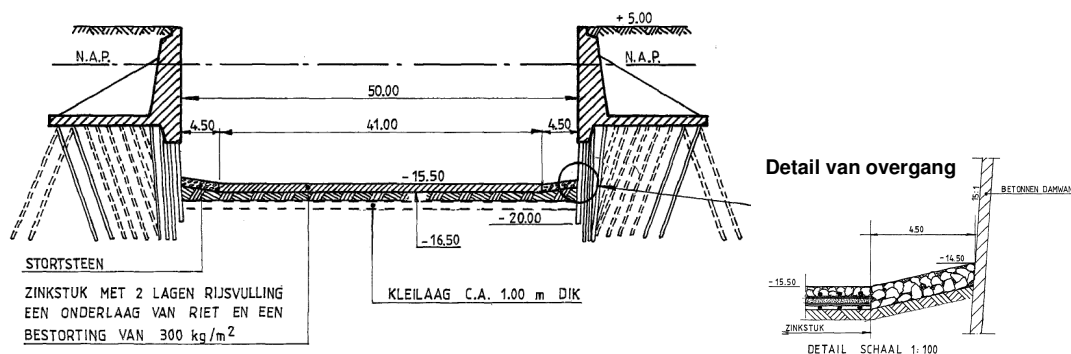
In termen van RAMS-analyse draagt het onderdeel bodembescherming Noordzeekanaalzijde niet bij aan het falen van de functie(s) van de Noordersluis.

7 Bodembescherming sluiskolk (62.13-wat.bodbesklk)

7.1 Beschrijving onderdeel

7.1.1 Fysieke omschrijving

De kolkbodem van de Noordersluis bestaat tussen het buitenhoofd en het binnenhoofd uit een bodembescherming met een toplaag van stortsteen. Deze bodembescherming heeft een lengte van 306,5 m. In Figuur 23 is een dwarsdoorsnede van de sluiskolk weergegeven. Hierin is de opbouw van de oorspronkelijke bodembescherming weergegeven en is tevens een detail van de overgang bij de betonnen sluiskolkwand getoond. De toplaag bestond oorspronkelijk uit een 10-80 kg sortering.



Figuur 23: Dwarsdoorsnede van de sluiskolk en detail overgang bodembescherming sluiskolkwand [Tek. 4]

De oorspronkelijke bodembescherming is sinds de realisatie van de sluis aan steeds grotere belastingen blootgesteld. Dit betreft voornamelijk belastingen door scheepvaart (schroefstralen), omdat in de loop der tijd naast de intensievere scheepvaart ook het motorvermogen en de diepgang van zeeschepen sterk is toegenomen. Als gevolg hiervan ontstonden in de sluiskolk ontgrondingskuilen van 2-3 m.

In 1983 is de sluiskolk (net als de toeleidingskanalen) conform bestek NH 3897 plaatselijk uitgevuld met staalslakken 40-160 mm, waarna een bestorting van basaltbreuksteen 60-200 kg ($D_{50} \approx 0,40$ m) is aangebracht. In de huidige situatie blijkt dat de bodembescherming in de sluiskolk nog steeds niet stabiel is en dat de stenen uit de bodembescherming verplaatst worden tot op de betonvloer van de sluishoofden en in de richting van de sluiswanden. Hierdoor ontstaan gaten in de bodembescherming en aanzienlijke verdiepingen in de as van de sluiskolk. Daarnaast leiden stenen op de betonvloer van de sluishoofden tot problemen bij het sluiten van de roldeuren en tot een beperking van de vaardiepte.

7.1.2 *Stroombeelden*

De stroombeelden in de sluiskolk sluis zijn vrijwel identiek aan de stroombeelden die optreden aan beide zijden van de sluis. De stroombeelden aan de Noordzezijde van de sluis zijn beschreven in § 5.1.2.

Belangrijk voor het stroombeeld in de sluiskolk is dat schepen die tijdens het nivelleren afgemeerd zijn in de sluiskolk vaak hun schroef laten draaien, waardoor grote stroomsnelheden boven de bodem(bescherming) in de sluiskolk ontstaan. Daarnaast blijkt dat vooral (grote) geladen schepen bij het verlaten van de sluiskolk veel vermogen gebruiken om in beweging te komen, waardoor grote belastingen op de bodem(bescherming) van de sluiskolk ontstaan.

Een ander stroombeeld dat steeds vaker optreedt, komt voort uit het gebruik van boegschroeven tijdens het afmeren in de sluis. Hierbij ontstaan schroefstralen die dwars op de kolkwanden staan en na afbuigen de bodem(bescherming) belasten. Een soortgelijk stroombeeld kan tevens optreden bij schepen die zijn uitgerust met draaibare (hoofd)schroeven. Wanneer de schroef bijvoorbeeld 45° gedraaid wordt, belast de schroefstraal de bodem(bescherming) via de kolkwanden. Hoewel deze vorm van voortstuwing op basis van een eerste oriënterend onderzoek naar scheepspassages nog niet in de Noordersluis is voorgekomen, is via de Haven van Amsterdam toch informatie verkregen over schepen met een dergelijke voortstuwing. In 2010 en 2011 zijn cruiseschepen met draaibare schroeven (Azipods) meerdere malen de Noordersluis gepasseerd. De trend is dat nieuwe cruiseschepen steeds vaker met draaibare schroeven uitgerust worden. Inzicht in deze belasting op de (bodem)bescherming is daarom wenselijk.

7.1.3 *Bronnen*

Het archief, de inspectie en de ervaring van de beheerder zijn gebruikt om een analyse van de bodembescherming in de sluiskolk uit te voeren. Hieronder is per informatiebron de informatie nader gespecificeerd.

7.1.3.1 *Archief*

De volgende documenten zijn gebruikt in de analyse:

- RWS Dienst Noord-Holland, NOMO-AOV; Projectplan, mei 2011.
- RWS Dienst Noord-Holland, NOMO AOV; sluizen Noordzeekanaal (IJmuiden en PWA), oktober 2010.
- Grontmij, Ontwerp stabiele bodembescherming Noordersluis IJmuiden – Variantenstudie, februari 2010.
- Lieveense, Voorontwerp bodembescherming Noordersluis IJmuiden – Hydraulische belastingen, januari 2010.
- Rijkswaterstaat Bouw Dienst, Renovatie bodembescherming Noordersluis; vooronderzoek, december 1992.
- RWS Directie Noord-Holland, Noordersluis; bestaande bodemvoorziening schutkolk, februari 1983.

7.1.3.2 Inspectie

De duikinspectie¹ van de Noordersluis is uitgevoerd door Nebest adviesgroep op 11, 12 en 13 mei 2011. De resultaten van de duikinspectie staan in het inspectierapport [Lit. 8].

Enkele gegevens uit de inspectie zijn hieronder overgenomen:

- De kolkvloer bestaat uit stortsteen met sediment in de vorm van oesters en dun slib. Langs de kolkwanden loopt de sedimentlaag op tot ongeveer 0,25 m boven het stortsteen. Het stortsteen sluit goed aan op de betonnen kolkwand.
- De aansluiting van de bodembescherming op de betonvloer van het buitenhoofd bestaat uit een stalen damwand. In de as van het sluishoofd is het hoogteverschil tussen bovenkant bodembescherming en bovenkant betonvloer ongeveer 2,0 m, conform multibeammeting. De bodembescherming is schoon nabij de overgang naar sluisvloer en sluit goed aan op de damwand. Aan beide zijden van dit punt neemt het hoogteverschil geleidelijk af en neemt de dikte van het sedimentpakket toe. Ter hoogte van de wanden is de laagdikte van het sediment ongeveer 1,0 tot 1,5 m.
- Ter plaatse van de zuidelijke kolkwand is over een gebied van ongeveer 5 m x 1,5 m een verdieping van circa 0,35 m aangetroffen. Volgens de Rijksduiker Marcel de Jong is dit een bekende locatie en is hier in het verleden een reparatie uitgevoerd van de oorlogschade.
- De aansluiting van de bodembescherming op de betonvloer van het binnenhoofd bestaat uit een stalen damwand. In de as van het sluishoofd is het hoogteverschil tussen bovenkant bodembescherming en bovenkant betonvloer ongeveer 3,5 m, conform multibeammeting. Er is hier lokaal geen stortsteen aanwezig en er is uitspoeling van bodemmateriaal geconstateerd. De kleilaag is in een gebied van circa 3 x 4 m geheel doorspoeld (dikte kleilaag in ontstane talud is ongeveer 1,5 m). Daarnaast wijkt de stalen damwand lokaal van de betonvloer van het sluishoofd, zie § 4.1.2.2. Ter hoogte van de wanden is de laagdikte van het sediment ongeveer 1,0 tot 1,5 m.
- In de sluis kolk zijn de verdiepingen in de bodem geïnspecteerd. Hier is de hoeveelheid stortsteen erg schraal en lokaal is het stortsteen over een oppervlakte van circa 5 x 3 m zelfs verdwenen. De onderliggende kleilaag is voelbaar en niet geheel doorspoeld (slechts 0,5 m diep). Het betreft zeer vastgepakte klei die nauwelijks indringbaar is met een prikstok.
- Er zijn ongeveer 20 stenen in drie richtingen opgemeten. Op basis van deze metingen is een gemiddelde steendiameter van 0,38 m vastgesteld.

Op 17 mei 2011 is door Nebest een multibeammeting bij de Noordersluis uitgevoerd, zie Figuur 24 [Lit. 8]. Hierin zijn de erosiekuilen in de as van de sluis kolk duidelijk te zien. Er vrijwel over de gehele lengte van de sluis kolk een verdieping aanwezig. Wat verder opvalt, is een relatief grote ontgroning bij de overgang van bodembescherming naar de vloer van het binnenhoofd (zie rode cirkel).

¹ In verband met de duikdiepte en het scheepvaartaanbod is slechts een beperkt deel van de overgang van bodembescherming naar de zuidelijke kolkwand geïnspecteerd. Dit deel bereikt volgens de resultaten van de multibeammeting het diepste punt en is daarom geselecteerd. De geïnspecteerde locatie is in Figuur 24 weergegeven met een zwarte ellips.



Figuur 24: Resultaten multibeammeting in de sluisolk (diepte in meter ten opzichte van NAP), 2011

7.1.3.3 Ervaring beheerder

De beheerder bevestigt de problemen met de instabiele bodembescherming en heeft aangegeven dat er al verscheidene studies zijn verricht naar mogelijke oplossingsrichtingen. Gezien de beperkte mogelijkheden tot stremming van de Noordersluis zijn er vooralsnog geen concrete maatregelen getroffen. Als beheersmaatregel worden de grootste verdiepingen met behulp van een kraanschip opgevuld met het richting de sluiswanden verplaatste materiaal.

7.2 Verdere analyse

Gezien de slechte staat van de bodembescherming wordt geen verdere analyse uitgevoerd, omdat de bodembescherming al gefaald is. In het verleden zijn al verscheidene onderzoeken uitgevoerd naar een ontwerp voor een stabiele bodembescherming. Het meest recente onderzoek is uitgevoerd in 2010 [Lit. 5]. Dit onderzoek is gestart na de uitkomsten van de risicoanalyse Zeetoeegang IJmuiden dat in 2006 uitgevoerd is door TUDelft, TNO en Delta PI. Een samenvatting van het onderzoek naar een stabiele bodembescherming en een samenvatting van de vervolgwerkzaamheden worden in de onderstaande subparagrafen beschreven. Aan de hand hiervan wordt een kritische blik op de onderzoeksresultaten en vervolgwerkzaamheden gegeven.

7.2.1 Recent onderzoek naar stabiele bodembescherming Noordersluis

Er is een variantenstudie uitgevoerd naar het ontwerp van een stabiele bodembescherming. Belangrijke uitgangspunten voor dit ontwerp waren:

1. de bodembescherming moet stabiel zijn bij waterdrukverschillen boven en onder de bodembescherming;
2. de bodembescherming moet bij de maximale stroomsnelheden die nabij de kolkbodem op kunnen treden stabiel zijn;
3. bij het ontwerp van de bodembescherming moet rekening gehouden worden met het gegeven dat de realisatie van het ontwerp “tussen de scheepvaart door” uitgevoerd moet worden. Tussen de scheepvaart door betekent: maximaal 2 keer per week 6 uur niet-beschikbaarheid van de Noordersluis;
4. de bodembescherming moet worden gerealiseerd in een minimaal aantal perioden van niet-beschikbaarheid van de Noordersluis;
5. de bovenzijde van de bodembescherming moet op NAP-16,0 m liggen.

Ter ondersteuning van de variantenstudie zijn de ontwerpbelastingen vastgesteld [Lit. 12]. Een samenvatting van de maatgevende stroomsnelheden zijn voor verschillende belastingen gegeven in Tabel 41. Uit de tabel blijkt dat stroomsnelheden als gevolg van schroefstralen maatgevend zijn.

Tabel 41: Samenvatting maatgevende stroomsnelheden [Lit. 12]

Belasting	Relatieve turbulentie-intensiteit [-]	Stroomsnelheid [m/s]
Retourstroming	r=0,20	3,13
Schroefstraal		
normale omstandigheden	r=0,35	2,95
extreme omstandigheden	r=0,35	3,61
Boegschroefstraal		
normale omstandigheden	r=0,35	2,54
extreme omstandigheden	r=0,35	2,54
Vul-, ledig- en spuistroming		
gemiddeld debiet	r=0,35	1,47
extreem debiet	r=0,35	1,93
Dichtheidstroming	r=0,15	0,97

Op basis van de ontwerpbelastingen zijn in de variantenstudie de volgende oplossingsrichtingen voor de bodembescherming afgewogen:

1. breuksteen;
2. eclogiet;
3. gepenetreerd stortsteen met colloïdaal beton;
4. gepenetreerd stortsteen met asfalt;
5. blokkenmat;
6. incomat;
7. betonvloer.

Uit de variantenafweging bleek dat de relatief dure blokkenmat-variant de meest gunstige was. Gepenetreerd stortsteen scoorde qua kosten gunstiger, maar werd door de uitvoerbaarheid minder gewaardeerd. Dit resultaat werd voornamelijk verkregen doordat ervan uitgegaan werd dat voor de verharding van colloïdaal beton 24 uur nodig is.

In het verleden zijn er bij het sluiscomplex IJmuiden echter al experimenten (ponthaven Velsen Noord) en herstelwerkzaamheden (stortebed zeezijde Middensluis en bodem oude Kleinesluis) uitgevoerd met open colloïdaal beton. Ook het stortebed aan de kanaalzijde van de Noordersluis is tijdens de renovatie vastgelegd met colloïdaal beton. Deze werkzaamheden zijn allemaal tussen de scheepvaart door uitgevoerd en hebben tot goede resultaten geleid.

De geadviseerde prefab constructie in de vorm van een blokkenmat wordt afgeraden, omdat er in het verleden slechte ervaringen (bij Dienst Infrastructuur) zijn met de aansluitingen en overlappingsen van deze variant [Lit. 20].

7.2.2 *Verdere optimalisatie en advies*

In plaats van gepenetreerd stortsteen met colloïdaal beton is besloten om een variant hierop verder te optimaliseren. Het gaat om het gedeeltelijk vastleggen van de bodem met open colloïdaal beton. Op basis van de voordelen (lagere kosten en uitvoering in fasen mogelijk) is besloten deze variant verder uit te werken. Ter voorbereiding op de totale reparatie van de bodem is geadviseerd een proef bij het binnenhoofd uit te voeren. Op deze manier de grote ontgroning tegen de drempel, die dringend om herstel vraagt, hersteld worden.

Tot op heden is het bovenstaande advies niet uitgevoerd, maar staan er wel werkzaamheden aan de bodembescherming in de sluis kolk gepland.

7.2.3 *Geplande werkzaamheden aan bodembescherming*

Binnen het projectplan NOMO AOV (Nota Mobiliteit Achterstallig Onderhoud Vaarwegen) wordt de bodembescherming van de Noordersluis hersteld [Lit. 20]. Het gaat om een E&C-contract dat medio 2012 uitgevoerd wordt. De specificaties van de werkzaamheden aan de Noordersluis zijn opgenomen in Bijlage 7.

Enkele uitvoeringseisen aan de bodembescherming zijn:

1. Op een aantal locaties dient de aannemer de bodembescherming te herstellen met behulp van basaltstortsteen of gelijkwaardig waarbij:
 - de aannemer gaten dieper dan NAP -17,50 m dient op te vullen met stortsteen 5-40 kg;
 - de aannemer dient vanaf NAP -17,50 m. tot NAP -16,50 m een toplaag aan te brengen van stortsteen 300-1.000 kg (toplaag).
2. De aannemer dient een nadere uitwerking te geven door middel van een uitvoeringsontwerp en uitvoeringsmethode. En dient bij het uitvoeren maatregelen te nemen dat:
 - de stortsteen 5-40 kg, die dient ter bescherming van de filtermat, na aanbrengen niet kan uittreden;
 - de stortsteen 300-1.000 kg zo aangebracht wordt, dat er een optimaal beschermingsprofiel ontstaat, zodat de vrije ruimte tussen de stenen kleiner is dan de D_{50} van de onderlaag;
 - de stortsteen niet hoger aangebracht wordt dan NAP -16.50 m;
 - na de werkzaamheden er geen stenen achterblijven op de betonvloer nabij de roldeuren.

Een ontwerp eis aan de bodembescherming is dat deze stabiel moet zijn bij maximale stroomsnelheden van 3,61 m/s met een relatieve turbulentie-intensiteit van $r=0,35$. Deze eis komt overeen met de ontwerpbelasting die vermeld is in Tabel 41.

7.2.4 *Kritische blik op recente onderzoeken en geplande werkzaamheden*

In deze paragraaf wordt een korte kritische blik op de uitgevoerde onderzoeken en de geplande werkzaamheden gemaakt. De resultaten hiervan worden meegenomen in eventuele aanbevelingen voor de toekomstige situatie (in de volgende paragraaf).

7.2.4.1 Cruiseschepen

In het onderzoek naar de maatgevende stroomsnelheden is een containerschip als maatgevend aangehouden. Gezien de resultaten uit hoofdstuk 5 en 6 lijkt dit ook realistisch, maar zoals in § 7.1.2 beschreven kunnen cruiseschepen met nieuwe voortstuwingssystemen (draaibare schroeven) ook voor grote belastingen op de bodem(bescherming) zorgen. Een inschatting van de mogelijke belasting is hier in het kort gemaakt.

Van de Haven van Amsterdam is informatie verkregen over schepen met draaibare schroeven. In 2010 en 2011 zijn cruiseschepen met 360° draaibare schroeven (Azipods) meerdere malen de Noordersluis gepasseerd. Het motorvermogen van deze cruiseschepen varieert van 20.000 kW tot 30.000 kW op één schroef, met een maximum van 32.000 kW op één schroef. Uitgaande van een fictief cruiseschip met afmetingen van 292 x 32,0 x 8,0 (L x B x d), twee draaibare schroeven en een maximaal vermogen van 32.000 kW per schroef, wordt bij een aangewend vermogen van respectievelijk 25% en 50% een stroomsnelheid bij de bodem verkregen van 3,68 m/s en 4,64 m/s (op basis van formule 4.187 en 4.188 uit Rock Manual). Hieruit blijkt dat schroefstraalbelasting van

cruiseschepen met draaibare schroeven leidt dit tot hogere stroomsnelheden dan die tot nu toe aangehouden zijn¹.

Hierbij is ervan uitgegaan dat de afstand tot de sluiswand 16 m bedraagt. Verder wordt uitgegaan van een werkelijke schroefdiameter van 7,0 m en een effectieve schroefdiameter van 4,9 m. De afstand van schroefas tot bodem is hierbij (uitgaande van kanaalpeil en het oorspronkelijke bodemniveau) gelijk aan 10,6 m.

Aangezien de geplande herstelwerkzaamheden alleen voorzien in het aanbrengen van een nieuwe bodembescherming in de as van de sluiswolk, blijft hiermee het risico bestaan dat in de nabijheid van de kolkwanden aanzienlijke ontgrondingen kunnen ontstaan. Hierbij dient rekening gehouden te worden bij het ontwerp van een duurzame oplossing voor de verdediging van de gehele sluiswolkbodembodem.

7.2.4.2 Aangehouden turbulentie-intensiteit

Verder is de waarde voor de relatieve turbulentie-intensiteit mogelijk niet veilig genoeg ingeschat. Er is uitgegaan van de methode van Pylarczyk met daarbij een relatieve turbulentie-intensiteit van 0,35. Toepassing van een turbulentiefactor volgens de Rock Manual in combinatie met een turbulentie-factor van 5,2 leidt tot lagere toelaatbare stroomsnelheden, zie ook § 5.4.1.1. In combinatie met schroefstraalbelasting door cruiseschepen met draaibare schroeven, dient ook met dit punt rekening gehouden te worden bij het ontwerp van een duurzame oplossing voor de verdediging van de gehele sluiswolkbodembodem.

7.2.5 Toekomstige situatie

Wanneer de bodembescherming hersteld wordt volgens de opgestelde specificaties worden op de korte termijn nauwelijks problemen verwacht met de bodembescherming, omdat deze voldoet aan de huidige belastingen vanuit de scheepvaart. Er wordt echter geen herstel van de gehele bodembescherming uitgevoerd, waardoor problemen de bodembescherming zich in de toekomst op andere locaties voor kunnen doen.

Aanbevelingen ten aanzien van beheer en onderhoud van de bodembescherming zijn:

- Het regelmatig uitvoeren van multibeammetingen om de ontwikkeling van het bodemniveau te volgen. Wanneer nodig moet gerichte duikinspectie plaatsvinden;
- Het op de lange termijn ontwikkelen van een duurzame oplossing voor de verdediging van de gehele sluiswolkbodembodem en het uitvoeren hiervan;
- Het beschouwen van cruiseschepen naast containerschepen en het veilig inschatten van de waarde voor turbulentie bij het ontwerp van een duurzame oplossing voor de verdediging van de gehele sluiswolk;

¹ In de berekening is aangenomen dat de spreiding van de straal die de sluiswand raakt alzijdig is, zoals bij boegschroeven op een sluiswand.

- Het opleggen van beperkingen voor het schroefgebruik in de sluis (voor schepen met een grote diepgang).

7.3 Conclusies

De bodembescherming in de sluis kolk is tijdens inspectie in zeer slechte staat gebleken. Dit is een beeld dat zich al jaren voordoet en afdoende maatregelen zijn tot op heden nog niet getroffen. In het verleden hebben zich wel herstelwerkzaamheden voorgedaan, maar deze zijn niet afdoende geweest. Als gevolg van de groeiende belastingen vanuit de scheepvaart, vooral schroefstraalbelastingen, blijven zich verdiepingen in de sluis kolk bodem vormen. De grootste verdiepingen bevinden zich in de as van de sluis kolk en nabij de overgangen naar de betonvloeren van beide sluishoofden.

Er is er geen analyse uitgevoerd, omdat de bodembescherming al gefaald is. Er zijn al verscheidene onderzoeken naar een ontwerp van een stabiele bodembescherming uitgevoerd. In het kader van NOMO AOV zijn er op dit moment plannen om de bodembescherming in de sluis kolk (medio 2012) te herstellen. De herstelwerkzaamheden zijn gebaseerd op de huidige (maatgevende) belastingen vanuit de scheepvaart. De bodembescherming wordt slechts lokaal hersteld, waardoor problemen met de bodembescherming zich in de toekomst voor kunnen blijven doen. Op basis hiervan zijn voor de korte termijn enkele aanbevelingen ten aanzien van het beheer en onderhoud van de bodembescherming gedaan. Op de lange termijn wordt aanbevolen een duurzame oplossing voor de verdediging van de gehele sluis kolk bodem te ontwerpen en uit te voeren. Hierbij moet ook aandacht besteed worden aan cruiseschepen met moderne voortstuwing, die voor grote belastingen nabij de sluis wanden kunnen zorgen. Daarnaast is de waarde die voor de turbulentie-intensiteit aangehouden wordt een belangrijke parameter om vast te stellen.

In termen van RAMS-analyse draagt het onderdeel bodembescherming sluis kolk met een kans 1,0 bij aan het falen van de functie(s) van de Noordersluis.

8 Oeverbescherming Noordzeezijde (49.2-wat.oevbstr; 49.3-wat.oevstzee; 49.4-wat.oevtst)

8.1 Beschrijving onderdeel

8.1.1 Fysieke omschrijving

De oeverbeschermingen aan de Noordzeezijde zijn aanwezig op zowel het zuidelijke als het noordelijke grondlichaam rondom het buitentoeleidingskanaal, zie Figuur 25. Te zien is dat de oeverbeschermingen een verschillende opbouw van het boventalud hebben. De noordelijke oeverbescherming bestaat uit een talud van basaltzuilen, een berm van betontegels en een grasbekleding. De zuidelijke oeverbescherming bestaat uit een talud van basaltzuilen, een berm van (begroeide) betontegels en een bekleding van basaltzuilen.



Figuur 25: Oeverbeschermingen aan de Noordzeezijde; zuidelijk (links) en noordelijk (rechts)

8.1.2 Bronnen

Het archief, de inspectie en de ervaring van de beheerder zijn gebruikt om een analyse van de oeverbeschermingen uit te voeren. Hieronder is per informatiebron de informatie nader gespecificeerd.

8.1.2.1 Archief

De volgende documenten zijn gebruikt in de analyse:

- RWS, Bouw eener schutsluis te IJmuiden, uitvoering grondwerk aansluitend aan buitensluishoofd, tek.nr. NHKA-1928-38046, 1928
- RWS Directie Noordholland, Zeewering IJmuiden; plan verhoging zeewering IJmuiden, tek.nr. NHTZ-1989-3039, september 1989

8.1.2.2 Inspectie

De duikinspectie van de Noordersluis is uitgevoerd door Nebest adviesgroep op 11, 12 en 13 mei 2011. De droge inspectie is uitgevoerd door Iv-Infra op 10 en 11 mei 2011. De resultaten van de duikinspectie staan in het inspectierapport [Lit. 8].

Enkele gegevens uit de inspectie zijn hieronder overgenomen:

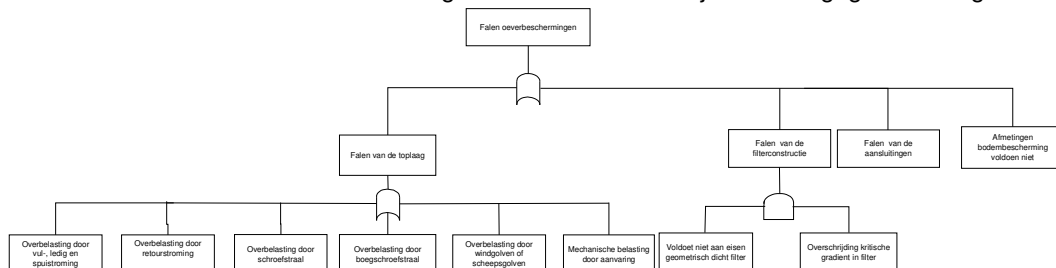
- Zowel de noordelijke als de zuidelijke oeverbescherming bestaat onder water uit stortsteen. Dit stortsteen loopt gelijkmatig over in het zetsteen dat zich boven water op het talud bevindt en is tot ongeveer 1 m over het zetsteen aangebracht. Er zijn geen onregelmatigheden in de vorm van schades en verzakkingen aangetroffen. Tussen het stortsteen is sediment aangetroffen in de vorm van oesters en dun slib.
- De aansluiting van zowel de noordelijke als de zuidelijke oeverbescherming op de vleugelwanden van het sluishoofd vertoont geen zakkingen en schades.
- De basaltzuilen in de oeverbeschermingen van de waterlijn tot de berm zijn gepenetreerd met bitumen. Dit geldt niet voor de basalt on zetstenen op het talud boven de berm.
- In de zowel de noordelijke als de zuidelijke oeverbescherming zijn rond de waterlijn enkele (asfalt)voegen van het zetsteen uitgespoeld. Er zijn hieromheen verder geen verzakkingen of onregelmatigheden aangetroffen. De zetstenen liggen ter plaatse van de uitgespoelde voegen nog vast.
- De perkoenpalen en houten damwandschermen bij de overgang van stortsteen naar zetsteen (ter hoogte van de berm, volgens [Tek. 5]) zijn tijdens inspectie niet aangetroffen. Deze bevinden zich waarschijnlijk onder de toplaag.
- Enkele afmetingen van het stortsteen zijn zowel tijdens droge inspectie (op de waterlijn) als tijdens duikinspectie ingemeten. Deze afmetingen van de stortstenen komen goed overeen. De ingemeten gemiddelde steendiameter is 0,37 m (droge inspectie) respectievelijk 0,40 m (duikinspectie).
- Tijdens droge inspectie zijn de horizontale afmetingen van het zetsteen op zowel de noordelijke als de zuidelijke oever bepaald. De afmetingen van de basaltzuilen op beide oevers geven een overeenkomstig beeld en zijn gemiddeld 0,20 – 0,22 m. De afmetingen van het basalt on op de zuidelijke oever zijn gemiddeld 0,30 m. De zuilhoogte van de zetstenen is niet opgemeten, maar wordt geschat op minimaal 0,25 m.

8.1.2.3 Beheerder

Volgens de beheerder zijn de oeverbeschermingen bij een renovatie vervangen en verzaard. Het gaat hier om een renovatie van het boventalud van de oevers.

8.2 Foutenboom

De foutenboom van de oeverbescherminen aan de Noordzezijde is weergegeven in Figuur 26.

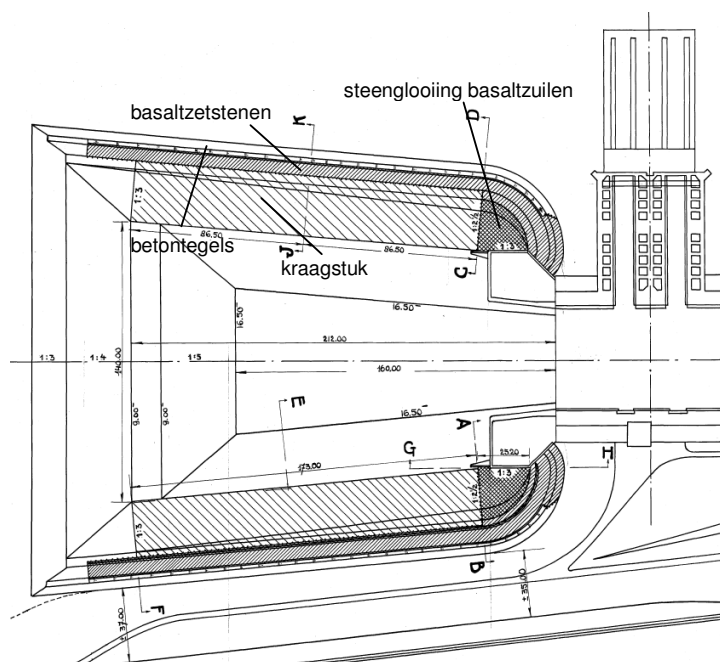


Figuur 26: Foutenboom oeverbescherming Noordzezijde

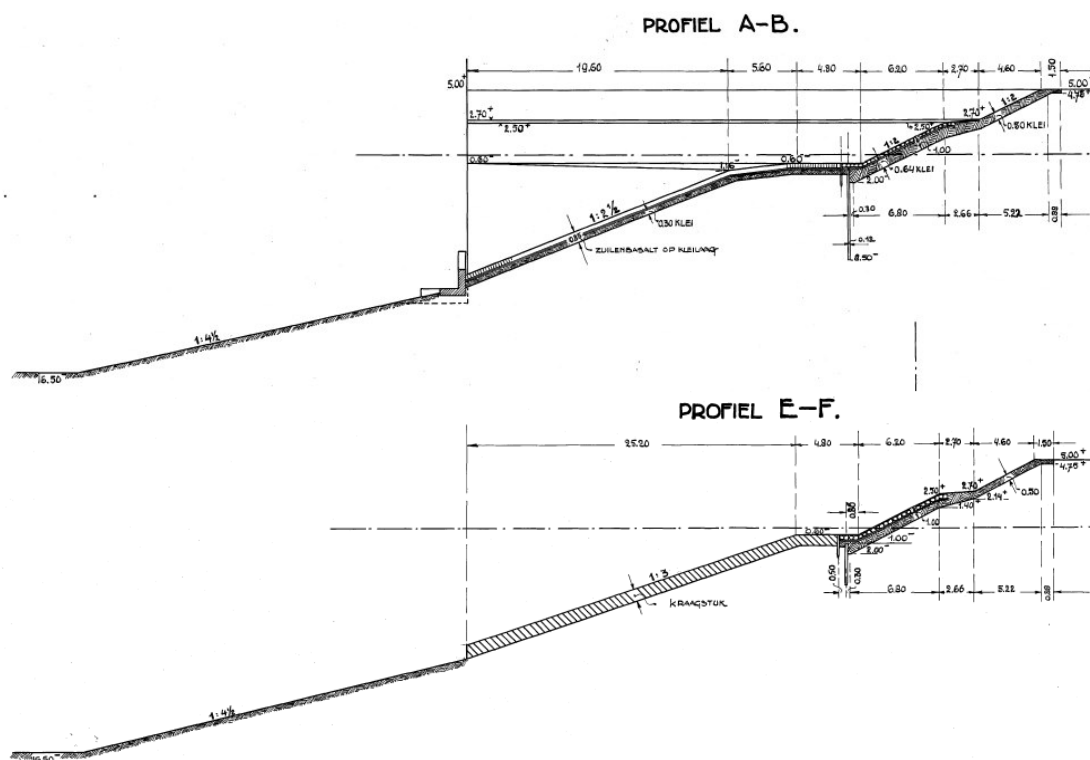
8.3 Verwachtingswaarde sterkte (stap 1)

8.3.1 Toplaag (49.2-wat.oevbstr.stp.obl1; 49.3-wat.oevststzee.stp.obl1; 49.4-wat.oevzst.stp.obl1)

In Figuur 27 zijn een bovenaanzicht en dwarsdoorsneden van de in den droge aangelegde oeverbescherminen in de bouwkuip weergegeven. De opbouw volgens de getoonde dwarsdoorsneden is representatief voor zowel de noordelijke als de zuidelijke oeverbescherminen.



Figuur 27: Bovenaanzicht van de in den droge aangelegde oeverbescherming in de bouwkuip [Tek. 5]



Figuur 28: Dwarsdoorsneden van de in den droge aangelegde oeverbescherming [Tek. 5]

Oeverbescherming nabij sluishoofd

De oeverbeschermingen bestaan nabij de vleugelwanden van het sluishoofd onder water uit een steenglooiing van basaltzuilen (taludhelling 1:2,5) en boven water uit basaltzetstenen met asfaltvoegen (taludhelling 1:2). De steenglooiing van basaltzuilen is ingesloten door een damwandscherm op de berm en langs het talud en een L-profiel aan de teen.

Oeverbescherming op enige afstand van het sluishoofd

Op enige afstand van de vleugelwanden van het sluishoofd bestaan de oeverbeschermingen onder water uit een kraagstuk en boven water uit basaltzuilen. Tijdens inspectie is gebleken dat het kraagstuk is bedekt met stortsteen (taludhelling 1:3), die aansluit op de bodembescherming. Ter hoogte van de eerste berm (NAP-0,60 m) gaat het stortsteen over in basaltzetstenen met asfaltvoegen (taludhelling 1:2). Deze zetsteenbekleding loopt door tot op de tweede berm (NAP+2,50 m), waar betontegels (afmetingen 0,50x0,50x0,09) aanwezig zijn, die opgesloten zijn door betonbanden. Hierboven verschillen de noordelijke en zuidelijke oeverbescherming van elkaar. De noordelijke oeverbescherming bestaat uit een grasbekleding (taludhelling 1:3) en de zuidelijke oeverbescherming uit een bekleding van basaltzetstenen.

Wijzigingen ten opzichte van de oorspronkelijke situatie

De basaltbekleding (zuilhoogte 0,25 m, taludhelling 1:2,5) op de zuidelijke oever was niet in de oorspronkelijke situatie aanwezig. Deze zijn (volgens [Tek. 6]) rond 1989 tijdens de verhoging van de zeewering aangelegd tot op een niveau van NAP+6,30 m. De totale kerende hoogte van NAP+7,40 m wordt verkregen door een L-wand, die aansluit op de basaltbekleding.

De noordelijke oever is in dezelfde periode opgehoogd tot NAP+8,00 m. Aan de oorspronkelijk oeverbescherming is niets gewijzigd. De ophoging heeft een bekleding van gras (talud 1:3).

In Tabel 42, Tabel 43 en Tabel 44 zijn de eigenschappen van de verschillende toplagen weergegeven.

Tabel 42: Sterkte toplaag stortsteen

Symbool	Parameter	Waarde	Dimensie
-	Gradatie	40-200 ¹	[kg]
d ₅₀	Gemiddelde steendiameter	0,40	[m]
d _{n50}	Gemiddelde nominale steendiameter	0,34	[m]
Δ	Relatieve dichtheid steen (in zout water)	1,59	[-]
α	Taludhelling (1:3)	18,4	[°]

Tabel 43: Sterkte toplaag basaltzuilen / basaltzetsteen

Symbool	Parameter	Waarde	Dimensie
-	Gemiddelde horizontale afmetingen	0,20	[m]
h	Zuilhoogte (geschat)	0,25	[m]
Δ	Relatieve dichtheid basalt (in zout water)	1,84	[-]
α	Taludhelling (1:2)	26,6	[°]

Tabel 44: Sterkte toplaag basaltzetsteen

Symbool	Parameter	Waarde	Dimensie
-	Gemiddelde horizontale afmetingen	0,30	[m]
h	Zuilhoogte	0,25	[m]
Δ	Relatieve dichtheid beton (in zout water)	1,25	[-]
α	Taludhelling (1:2,5)	21,8	[°]

8.3.2 *Afmetingen oeverbescherming (49.3-wat.oevststzee.stp.obl2; 49.4-wat.oevstst.stp.obl2)*

Op beide voorhavendijken (primaire waterkering) zijn over de volledige afstand (300-500 m) oeverbeschermingen aanwezig. De oeverbeschermingen gaan over in de oeverbescherming van de grondlichamen die het buitentoeleidingskanaal vormen.

¹ De toplaag van de bodembescherming bestaat uit een 60-200 kg sortering, die aangebracht is in 1983. Aangezien het niet bekend is wanneer het stortsteen op de oeverbescherming is aangebracht, wordt uitgegaan van de huidige standaard steensortering 40-200 kg. De steendiameter van beide sorteringen is echter gelijk gehouden.

Op basis van de grote afstand waarover de oeverbeschermingen aanwezig zijn, worden geen nadere analyses uitgevoerd voor dit faalmechanisme. De faalkans wordt verwaarloosbaar klein verondersteld.

8.3.3 *Filterconstructie (49.3-wat.oevststzee.stp.obl3; 49.4-wat.oevstst.stp.obl3)*

De filterconstructie onder het stortsteen bestaat uit een kraagstuk (dikte ongeveer 1 m). Onder de steenglooiing van basaltzuilen is een kleilaag (dikte 0,30 m) aangebracht. Boven de gemiddelde waterlijn is onder de basaltzuilen tevens een kleilaag (met een dikte van minimaal 0,50 m) aangebracht¹. De filterconstructie onder de basaltbekleding bestaat uit staalslakken (dikte 0,30 m).

Er wordt op basis van de 'in het verleden bewezen sterkte' geconcludeerd dat de aanwezige filterconstructies hun functie goed vervullen. Deze bewezen sterkte is gebaseerd op de volgende feiten:

- Sinds realisatie van de sluis is geen onderhoud nodig geweest aan de filterconstructie.
- Er is geen schade geconstateerd tijdens inspectie [Lit. 8].
- Gezien de intensieve scheepvaart door de sluis wordt de oeverbescherming gedurende het gehele jaar belast door scheepsgolven. Daarnaast wordt de oeverbescherming lokaal belast door windgolven.
- Volgens de beheerder is er met dit onderdeel nooit een probleem geweest tijdens de levensduur van de sluis.

Op basis van het bovenstaande worden voor de filterconstructies van de oeverbeschermingen geen nadere analyses uitgevoerd. De kans op falen van de filterconstructies van de oeverbeschermingen wordt verwaarloosbaar klein geacht.

8.3.4 *Aansluitingen (49.3-wat.oevststzee.stp.obl4; 49.4-wat.oevstst.stp.obl4)*

De oeverbeschermingen sluiten aan op de vleugelwanden van het sluishoofd en de bodembescherming. Deze aansluitingen zijn allemaal flexibel, zodat zakkingen binnen bepaalde marges toelaatbaar zijn.

Er wordt op basis van de 'in het verleden bewezen sterkte' geconcludeerd dat de hierboven beschreven aansluitingen hun functie goed vervullen. Deze bewezen sterkte is gebaseerd op de volgende feiten:

- Sinds realisatie van de sluis is geen onderhoud nodig geweest aan de aansluitingen.
- Er zijn geen schades geconstateerd tijdens inspectie [Lit. 8].
- Gezien de intensieve scheepvaart door de sluisen wordt de oeverbescherming gedurende het gehele jaar belast door scheepsgolven. Daarnaast wordt de oeverbescherming lokaal belast door windgolven.
- Volgens de beheerder zijn er met de aansluitingen nooit problemen geweest tijdens de levensduur van de sluis.

¹ Mogelijk is er tussen de kleilaag en de basaltzuilen (op de middenberm) nog een extra uitvul-/filterlaag aangebracht, maar dat uit Figuur 28 niet goed op te maken.

Op basis van het bovenstaande worden voor de aansluitingen van de oeverbeschermingen geen nadere analyses uitgevoerd. De kans op falen van de aansluitingen van de oeverbeschermingen wordt verwaarloosbaar klein geacht.

8.4 Toelaatbare belasting(en) (stap 2)

De belasting op de toplaag van de oeverbescherming bestaat uit golven en stroming. Gezien de vleugelwanden van het sluishoofd (zie Figuur 3) en de locatie van de oevers wordt de oeverbescherming nauwelijks belast door retourstroming, schroef- en boegschroefstraalstroming, vul- en ledigstroming, spui- en dichtheidstroming. Er wordt daarom geen toelaatbare stromingsbelasting bepaald.

Bij het bepalen van de toelaatbare golfbelasting worden deining, windgolven en scheepsgolven beschouwd. Windgolven worden meegenomen, omdat de oriëntatie van oevers nabij de sluishoofden zorgt dat windgolven loodrecht op de oever kunnen invallen. De toelaatbare belastingen ten gevolge van deining en windgolven worden separaat bepaald. Het combineren van beide golven vraagt namelijk om een uitgebreide analyse (van het golfspectrum en de golfenergie).

Verder wordt de invloed van de twee bermen niet meegenomen in de analyse van de oeverbescherming op de taluds. Als gevolg van de berm moet de rekenwaarde van de taludhelling worden aangepast (fictieve taludhelling) en moet een bermfactor op de toplaagdikte in rekening worden gebracht. Aangezien de grootste golfbelasting (als gevolg van wind en deining) op de oeverbeschermingen optreedt bij hoge waterstanden, waarbij de berminvloed relatief klein is, wordt conservatief uitgegaan van geen berminvloed.

Daarnaast wordt voor de betonnen tegelbekleding op de berm geen analyse gedaan, omdat het van het ontwerp eigenlijk niet gewenst is om tegels op de berm te hebben. Aanbevolen wordt om de toplaag van tegels op de berm te vervangen voor een toplaag van bijvoorbeeld betonzuilen, inclusief een goede opsluitconstructie.

8.4.1 *Falen toplaag (49.3-wat.oevststzee.stp.obl1; 49.4-wat.oevstst.stp.obl1)*

De toelaatbare belasting op de toplaag van de oeverbescherming is bepaald voor zowel de zetsteenbekleding(en) als het stortsteen.

8.4.1.1 Falen zetsteen

In Tabel 45 zijn de toelaatbare belastingen voor de toplaag van de zetsteenbekleding weergegeven. Hierin wordt onderscheid gemaakt in basaltzuilen en basaltzuilen. De toelaatbare significante golfhoogte (H_s) en golfperiode (T_p) zijn voor zowel scheepsgolven als windgolven bepaald. Voor de toelaatbare golfbelasting is alleen het faalmechanisme uitdrukken bekeken. Het faalmechanisme afschuiven voldoet door de steile taludhelling ($>1:2,7$) op voorhand niet. Gezien het feit dat de zetstenen goed ingeklemd zijn door betonbanden en houten damwanden en er geen schades geconstateerd zijn, wordt dit faalmechanisme verder buiten beschouwing gelaten. In Bijlage 5 zijn de ingevulde rekensheets Stabiliteit steenzetting (Noordzeezijde) te vinden.

Bij het bepalen van de toelaatbare belastingen is gekeken naar de maximale golfhoogte en golfperiode die kunnen optreden (zie § 3.3). Daarna is de maximale golfperiode vastgezet en is vervolgens (iteratief) de toelaatbare golfhoogte bepaald op basis van de in § 8.3.1 beschreven sterkte.

Tabel 45: Toelaatbare golfbelasting voor de toplaag van de zetsteenbekleding

Type bekleding	Parameter(s)	Scheepsgolf	Windgolf	Deining ¹
Basaltzuilen	H_s / T_p	1,10 m / 3,58 s	1,45 m / 2,70 s	0,32 m / 12,50 s
Basaltonzuilen	H_s / T_p	0,80 m / 3,58 s	1,05 m / 2,70 s	0,22 m / 12,50 s

8.4.1.2 Falen stortsteen

In Tabel 46 zijn de toelaatbare belastingen voor de toplaag van het stortsteen weergegeven. De toelaatbare significante golfhoogte (H_s) en golfperiode (T_p) zijn voor zowel scheepsgolven als windgolven bepaald. Bij het bepalen van de toelaatbare golfbelasting is uitgegaan van een ondoorlatende laag onder de toplaag (conservatief uitgangspunt). In Bijlage 5 zijn de ingevulde rekensheets Stabiliteit Van der Meer (Noordzezijde) te vinden.

Tabel 46: Toelaatbare belastingen voor de toplaag van stortsteen

Type belasting	Parameter(s)	Waarde(n)
Scheepsgolven	H_s / T_p	2,00 m / 3,58 s
Windgolven	H_s / T_p	2,50 m / 2,70 s
Deining	H_s / T_p	0,90 m / 12,50 s

8.5 Maatgevende belastingsituaties (stap 3)

8.5.1 Falen toplaag (49.3-wat.oevststzee.stp.obl1; 49.4-wat.oevstst.stp.obl1)

Scheepsgolven zijn maatgevend voor de oeverbescherming die parallel ligt aan het buitentoeleidingskanaal. Windgolven zijn maatgevend voor de oeverbescherming nabij de sluishoofden, hier is de oever haaks op het buitentoeleidingskanaal georiënteerd. Bij de belasting door deining, scheeps- en windgolven wordt conservatief getoetst. Er is uitgegaan van de afzonderlijke maximale waarden, onafhankelijk van de waterstand, met de eigenschappen uit § 3.3.1.

¹ Aan de betrouwbaarheid van de resultaten voor deining kan getwijfeld worden, omdat de situatie niet binnen het vermoedelijke toepassingsgebied van de gebruikte formule valt ($0,6 \leq \xi \leq 5$, zie [Lit. 23]). De toelaatbare golfhoogte is namelijk vrijwel gelijk aan de hoogte van één zetsteen. Het lijkt in werkelijkheid niet realistisch dat falen optreedt.

8.5.1.1 Falen zetsteen

De zetsteenbekleding van basaltzuilen kan belasting als gevolg van zowel wind- als sloopgolven ruimschoots weerstaan. De belasting van maatgevende deining is echter veel groter dan toelaatbaar. De zetsteenbekleding van basaltzuilen, die in de zuidelijke oeverbescherming aanwezig is, kan de belasting door windgolven ruimschoots weerstaan. De belasting door sloopgolven voldoet maar net en de maatgevende deining is veel groter dan toelaatbaar.

Uit het Tabel 45 en Tabel 46 blijkt dat de afzonderlijke belasting als gevolg van deining maatgevend is. Dit komt doordat vooral de grotere golfperiode voor een grotere belasting op de zetsteenbekleding zorgt [Lit. 23]. In werkelijkheid is tijdens een storm een heel spectrum aan golven bij de sluis aanwezig en is de golfenergie geconcentreerd rond een bepaalde frequentie. Er zal dus ook deining met grotere en kleinere golfperiodes optreden, ook al is deining vrij regelmatig. Daarnaast zal bij een storm die minder sterk is dan de maatgevende NW-storm, deining met een andere periode optreden.

Ervan uitgaande dat bij NW-stormen de meeste energie geconcentreerd is rond een golfperiode van 12,5 s (zie ook Tabel 13), treedt falen van de zetsteenbekleding op bij deining met een golfhoogte groter dan 0,22 m (basaltzuilen) en 0,32 m (basaltzuilen). Bij de deining moeten in werkelijkheid namelijk ook nog de windgolven opgeteld worden. De basaltzuilen bevinden zich in de zuidelijke oeverbescherming boven de berm (NAP+2,50 m en hoger) en zullen bij waterstanden lager dan NAP+2,50 m niet of nauwelijks belast worden. Dat geldt niet voor de basaltzuilen, deze worden bij waterstanden lager dan NAP+2,50 m belast. Een hoogwaterstand van NAP+2,50 m treedt eens in de 2 jaar op bij een NW-storm (windsnelheid ongeveer 15 m/s).

Er zijn verder geen aanvullende gegevens over deining bekend en het extrapoleren van de gegevens uit Tabel 13 leidt tot onbetrouwbare resultaten. Deining met een golfhoogte van 0,32 m en 0,22 m zou volgens een extrapolatie namelijk vele keren per jaar optreden. Daarom wordt de deining op zee afgeschat op basis van transmissie van golven door de golfbrekers. Op basis van de golfhoogte op zee wordt dan een overschrijdingsfrequentie bepaald.

Bij de maatgevende deining, die ontstaan bij een golfhoogte op zee van (5,70 m), treedt een reductie van ongeveer 10% op. Deining met een golfhoogte van 0,22 m en 0,32 m zou dus worden opgewekt door golven op zee met een hoogte van respectievelijk ongeveer 2,2 m en 3,2 m. Deze golven hebben volgens Hydra-K een overschrijdingsfrequentie van ongeveer eens per jaar.

8.5.1.2 Falen stortsteen

De stortsteenbekleding kan de afzonderlijke belasting als gevolg van deining, wind- en sloopgolven ruimschoots weerstaan. De gecombineerde belasting van deining en windgolven in de maatgevende situatie (bij waterstanden hoger NAP+5,20 m, 1/10.000 per jaar) zorgt voor grote belasting op de waterlijn. Aangezien het stortsteen (NAP-0,60 m en lager) zich ruim 5 m onder waterlijn bevindt, zal de belasting op het stortsteen relatief laag zijn. Op basis van de marge in de toelaatbare belasting wordt verondersteld dat het stortsteen de gecombineerde belasting kan

weerstaan. De kans op falen van het stortsteen van de oeverbescherming door golfbelasting is daarom gelijk aan nul gesteld.

8.6 Overschrijdingsfrequentie van maatgevende belastingsituaties (stap 4)

8.6.1 Falen toplaag (49.3-wat.oevststzee.stp.obl1; 49.4-wat.oevzst.stp.obl1)

Voor zowel de noordelijke oeverbescherming als de zuidelijke oeverbescherming is de faalkans door golfbelasting voor het stortsteen verwaarloosbaar klein. De basaltzetsteen en de bekleding van basaltzuilen kan de maatgevende belasting echter niet weerstaan. De faalkansen voor de verschillende functies zijn gegeven in Tabel 47.

Tabel 47: Faalkansen per functie voor de toplaag van de oeverbescherming

Toestand (T_i)	$P(T_i)$	$P_i(F T_i)$	ΔP_i
Alle toestanden	1,0000E+00	2,7397E-03	2,7397E-03
Som			$P_i=2,7397E-03$

Opmerkingen bij tabel:

$P(T_i)$ kans (per dag) op voorkomen van toestand i

$P_i(F|T_i)$ kans op falen gegeven toestand i

$\Delta P_{i,j}$ kansbijdrage (per dag)

8.6.1.1 Terugkoppeling naar RAMS

De toplaag van de oeverbeschermingen voldoet (rekenkundig) niet aan de golfbelasting ten gevolge van deining.

In de RAMS-analyse zijn deze uitkomsten echter om een aantal redenen niet meegenomen. Ten eerste liggen de eigenschappen van de deininggolven waarschijnlijk buiten het toepassingsgebied van de gebruikte methode. Toetsing met een meer geschikte methode leidt daarom mogelijk niet tot falen ten gevolge van golven met een hoogte die bijna gelijk is aan de dikte van de toplaag. Daarnaast is de (verwachte) gunstige werking van de twee bermen niet meegenomen in de analyse.

De hierboven beredeneerde situatie komt overeen met hetgeen tijdens inspectie aangetroffen is, zie § 5.1.3.2. Er zijn (na circa 80 jaar) geen grote schades in de oeverbescherming aangetroffen. Daarnaast zal lokaal falen van de toplaag niet direct leiden tot falen van de gehele oeverbescherming en (onderdelen van) de sluisconstructie. Dit proces duurt enige tijd en eventuele schades zullen tijdig worden opgemerkt, omdat de dijklichamen (en oeverbeschermingen) na stormomstandigheden altijd gecontroleerd worden. Op basis van de bovenstaande punten wordt verwacht dat de kans op falen van de bodembescherming verwaarloosbaar klein is.

8.7 Beheer en onderhoud

Naar aanleiding van de multibeammeting en (duik)inspectie zijn, op enkele uitspoelingen van (asfalt)voegen na, geen schades aan de oeverbeschermingen geconstateerd. Daarom is geen direct onderhoud noodzakelijk. Wel wordt aangeraden om de oeverbescherming zoveel mogelijk vrij te houden van begroeiing en de uitgespoelde voegen (weer) te vullen met asfalt, of een ander inwasmateriaal.

Het advies is om regelmatig (bijvoorbeeld jaarlijks, of na stormomstandigheden) droge inspecties van de oevers uit te voeren. In combinatie met de resultaten van de multibeammetingen, die voor de bodembescherming aangeraden worden, kan een goed beeld van de staat van de oeverbeschermingen zowel boven als onder water verkregen worden. Wanneer afwijkingen of mogelijke schades (in de vorm van bijvoorbeeld verzakkingen of verdiepingen) geconstateerd worden, kan in aanvulling op de multibeammeting en droge inspectie gericht een duikinspectie uitgevoerd worden om de mogelijke oorzaak vast te stellen. Wanneer schades onder water geconstateerd worden, moet onderhoud in de vorm van bijvoorbeeld bijstorting van stenen gepleegd worden.

Het falen van de oeverbeschermingen wordt niet bepaald door degradatie, maar door (over)belasting. Wanneer regelmatig onderhoud gepleegd wordt, kan de sterkte instand gehouden worden en de restlevensduur worden verlengd.

8.8 Conclusies

Er is op de beide oevers aan de Noordzeezijde van de sluis een oeverbescherming aanwezig. Deze oeverbeschermingen zijn tijdens inspectie in goede staat gebleken.

Uit de analyse van de oeverbeschermingen blijkt dat de oeverbescherming vooral belast wordt door deining, wind- en scheepsgolven. Hierbij is de belasting als gevolg van deining vanwege de grotere golfperiode maatgevend. Falen van de toplaag treedt op voor een relatief kleine golfhoogte. In de RAMS-analyse zijn deze uitkomsten echter om een aantal redenen niet meegenomen. De belangrijkste reden is dat de eigenschappen van de deiningsgolf in combinatie met de taludhelling waarschijnlijk buiten het toepassingsgebied van de gebruikte methode ligt. Toetsing met een meer geschikte methode leidt daarom mogelijk niet tot falen (ten gevolge van golven met een hoogte die bijna gelijk is aan de dikte van de toplaag). Aanbevolen wordt om de invloed van verschillende optredende deiningsgolven op de zesteen oeverbescherming nader te onderzoeken. Daarnaast wordt aanbevolen om de toplaag van tegels op de berm te vervangen voor een toplaag van bijvoorbeeld betonzuilen, inclusief een goede opsluitconstructie.

In termen van RAMS-analyse draagt het onderdeel oeverbeschermingen aan de Noordzeezijde niet bij aan het falen van de functie(s) van de Noordersluis.

9 Oeverbescherming Noordzeekanaalzijde (49.3-wat.oevststnzk)

9.1 Beschrijving onderdeel

9.1.1 Fysieke omschrijving

De oeverbeschermingen aan de Noordzeekanaalzijde zijn aanwezig op zowel het zuidelijke als het noordelijke grondlichaam rondom het binnentoeleidingskanaal, zie Figuur 29. De oeverbeschermingen hebben een vergelijkbare opbouw van zowel beneden- als boventalud. Op het benedentalud (onder water) bestaan de oeverbeschermingen uit stortsteen tot net boven de waterlijn en op het boventalud (boven water) uit een grasbekleding. De noordelijke oeverbescherming is slechts over een beperkte afstand aanwezig, omdat deze na ongeveer 65 m overgaat in een damwandconstructie.



Figuur 29: Zuidelijke oeverbescherming Noordzeekanaalzijde; gezien van voor de sluis (links) en van dichtbij (rechts)

9.1.2 Bronnen

Het archief, de inspectie en de ervaring van de beheerder zijn gebruikt om een analyse van de oeverbeschermingen uit te voeren. Hieronder is per informatiebron de informatie nader gespecificeerd.

9.1.2.1 Archief

De volgende documenten zijn gebruikt in de analyse:

- RWS, Bouw eener schutsluis te IJmuiden, binnensluishoofd - situatie, tek.nr. NHKA-1924-38025, 1924.
- RWS, Bouw eener schutsluis te IJmuiden, binnensluishoofd noordzijde, tek.nr. NHKA-1924-38021, 1924.
- RWS, Reconstructie Noordersluis; binnenhoofd noord, tek.nr. NHKA-2003-38214, oktober 2004.

9.1.2.2 Inspectie

De duikinspectie van de Noordersluis is uitgevoerd door Nebest adviesgroep op 11, 12 en 13 mei 2011. De droge inspectie is uitgevoerd door Iv-Infra op 10 en 11 mei 2011. De resultaten van de duikinspectie staan in het inspectierapport [Lit. 8].

Enkele gegevens uit de inspectie zijn hieronder overgenomen:

- Zowel de noordelijke als de zuidelijke oeverbescherming bestaat onder water uit stortsteen. Dit stortsteen loopt gelijkmatig over van de bodembescherming in de oeverbescherming. Aan de noordzijde is de oeverbescherming voornamelijk opgevuld met zand. Er zijn geen onregelmatigheden in de vorm van schades, uitspoelingen en verzakkingen aangetroffen.
- Het stortsteen sluit goed aan op de vleugelwanden van het sluishoofd en vertoont geen onregelmatigheden.
- Het stortsteen is op de waterlijn ingemeten en heeft een gemiddelde steendiameter van 0,23 m.
- Op de overgang van stortsteen naar grasbekleding (boven water) is hier en daar een zetsteenbekleding van basalt te zien.

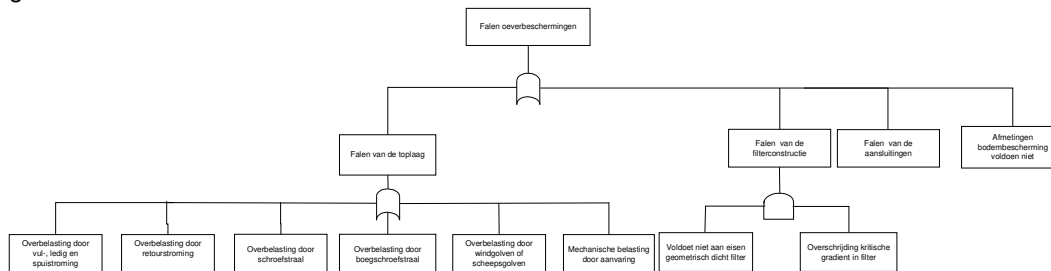
In de resultaten van de multibeaming (zie Figuur 21, pag. 56) is nabij de oever van het zuidelijke sluishoofd een lichte verdieping in het talud onder water te zien. Deze verdieping is waarschijnlijk ontstaan door (sleep)boten die aan- en afmeren bij de steiger die aanwezig is (aangegeven met een zwarte lijn in Figuur 21). Verder zijn bij de noordelijke damwand op enige afstand van de sluis enkele verdiepingen te zien. Deze verdiepingen vormen geen direct risico voor de Noordersluis, maar worden wel als aandachtspunten opgenomen in § 10.4.

9.1.2.3 Beheerder

Er is niets bekend bij de beheerder over de oeverbeschermingen.

9.2 Foutenboom

De foutenboom van de oeverbeschermingen aan de Noordzeekanaalzijde is weergegeven in Figuur 30.



Figuur 30: Foutenboom oeverbescherming Noordzeekanaalzijde

9.3 Verwachtingswaarde sterkte (stap 1)

9.3.1 Toplaag (49.3-wat.oevststnzk.stp.obl1)

In Figuur 31 is een bovenaanzicht van de, in den droge aangelegde, oeverbeschermingen in de bouwkuip weergegeven. De noordelijke en de zuidelijke oeverbescherming zijn nabij het sluishoofd op dezelfde manier opgebouwd, namelijk uit een steenglooiing van basaltzulen (tot NAP+0,60 m). Op enige afstand van de sluishoofden gaat deze oeverbescherming onder water over in een kraagstuk, waarbij op de waterlijn een steenglooiing van basaltzulen doorgezet is (van NAP-0,60 m tot NAP+0,40 m). Het talud heeft nabij het sluishoofd onder water een helling van 1:2,5 en boven water (NAP-0,60 m en hoger) een helling van 1:2. Op enige afstand van het sluishoofd is de helling onder water 1:4 en de helling boven water (NAP-0,60 m en hoger) 1:2.

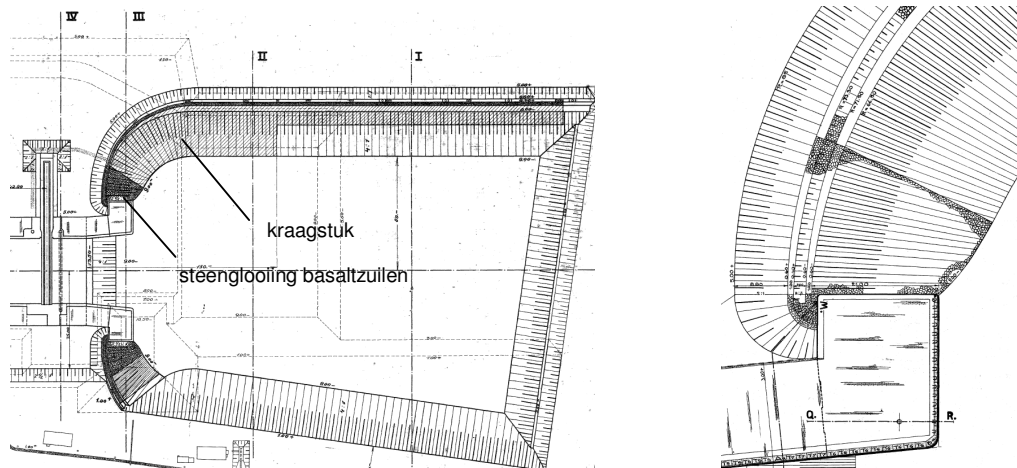
Wijzigingen ten opzichte van de oorspronkelijke situatie

Tijdens (duik)inspectie is onder water een toplaag van stortsteen aangetroffen, die aansluit op de toplaag van de bodembescherming en doorloopt tot net boven de waterlijn. Er is tevens een deel van de oorspronkelijke zetsteenbekleding boven de waterlijn aangetroffen. Dit duidt erop dat het stortsteen over de oorspronkelijke bekleding van basaltzulen en het kraagstuk is aangelegd.

In Tabel 42 zijn de eigenschappen van de toplaag van stortsteen (nabij de sluishoofden) weergegeven. Uitgegaan wordt van een taludhelling van 1:2.

Tabel 48: Sterkte toplaag stortsteen

Symbool	Parameter	Waarde	Dimensie
-	Gradatie	10-60	[kg]
d_{50}	Gemiddelde steendiameter	0,27	[m]
d_{n50}	Gemiddelde nominale steendiameter	0,23	[m]
Δ	Relatieve dichtheid	1,65	[-]
α	Taludhelling (1:2)	26,6	[°]



Figuur 31: Bovenaanzicht van de in den droge aangelegde oeverbescherming in de bouwkuip en detail [Tek. 7]

9.3.2 *Afmetingen oeverbescherming (49.3-wat.oevststnzk.stp.obl2)*

De oeverbescherming is over beide grondlichamen rondom het binnentoeleidingskanaal aanwezig. De noordelijke oeverbescherming gaat na ongeveer 65 m over in een damwandconstructie. De zuidelijke oeverbescherming loopt door tot het einde van het grondlichaam (ongeveer 380 m), waarna deze aan de zuidzijde van de gronddam aansluit op een damwandconstructie.

Op basis van de afstanden waarover de oeverbeschermingen aanwezig zijn en het feit dat ze overgaan in een damwandconstructie, worden geen nadere analyses uitgevoerd voor dit faalmechanisme. De faalkans is nihil verondersteld.

9.3.3 *Filterconstructie (49.3-wat.oevststnzk.stp.obl3)*

Onder het stortsteen nabij het sluishoofd is hier en daar een oude steenglooing aanwezig met daaronder een kleilaag. De filterconstructie van de toplaag van stortsteen bestaat op enige afstand van het sluishoofd uit een kraagstuk.

Er wordt op basis van de ‘in het verleden bewezen sterkte’ geconcludeerd dat de aanwezige filterconstructies hun functie goed vervullen. Deze bewezen sterkte is gebaseerd op de volgende feiten:

- Sinds realisatie van de sluis is geen onderhoud nodig geweest aan de filterconstructie.
- Er is geen schade geconstateerd tijdens inspectie [Lit. 8].
- Gezien de intensieve scheepvaart door de sluis wordt de oeverbescherming gedurende het gehele jaar belast door scheepsgolven. Daarnaast wordt de oeverbescherming lokaal belast door windgolven.
- Volgens de beheerder is er met dit onderdeel nooit een probleem geweest tijdens de levensduur van de sluis.

Op basis van het bovenstaande worden voor de filterconstructie van de oeverbeschermingen geen nadere analyses uitgevoerd. De kans op falen van de filterconstructie van de oeverbeschermingen wordt verwaarloosbaar klein geacht.

9.3.4 *Aansluitingen (49.3-wat.oevststnzk.stp.obl4)*

De oeverbeschermingen sluiten aan op de vleugelwanden van het sluishoofd en de bodembescherming. Deze aansluitingen zijn allemaal flexibel, zodat zakkingen binnen bepaalde marges toelaatbaar zijn.

Er wordt op basis van de ‘in het verleden bewezen sterkte’ geconcludeerd dat de hierboven beschreven aansluitingen hun functie goed vervullen. Deze bewezen sterkte is gebaseerd op de volgende feiten:

- Sinds realisatie van de sluis is geen onderhoud nodig geweest aan de aansluitingen.
- Er zijn geen schades geconstateerd tijdens inspectie [Lit. 8].
- Gezien de intensieve scheepvaart door de sluizen wordt de oeverbescherming gedurende het gehele jaar belast door scheepsgolven. Daarnaast wordt de oeverbescherming lokaal belast door windgolven.

- Volgens de beheerder zijn er met de aansluitingen nooit problemen geweest tijdens de levensduur van de sluis.

Op basis van het bovenstaande worden voor de aansluitingen van de oeverbeschermingen geen nadere analyses uitgevoerd. De kans op falen van de aansluitingen van de oeverbeschermingen wordt verwaarloosbaar klein geacht.

9.4 Toelaatbare belasting(en) (stap 2)

De belasting op de toplaag van de oeverbescherming bestaat uit golven en stroming. Gezien de vleugelwanden van het sluishoofd (Figuur 3) en de locatie van de oevers wordt de oeverbescherming nauwelijks belast door retourstroming, schroef- en boegschroefstraalstroming, vul- en ledigstroming, spui- en dichtheidstroming. Bij het bepalen van de toelaatbare golfbelasting worden zowel windgolven als scheepsgolven beschouwd. Dit heeft te maken met de oriëntatie van oevers nabij de sluishoofden. Windgolven kunnen hier loodrecht op invallen.

9.4.1 Falen toplaag (49.3-wat.oevststnzk.stp.obl1)

In Tabel 49 zijn de toelaatbare belastingen voor de toplaag van het stortsteen weergegeven. De toelaatbare significante golfhoogte (H_s) en golfperiode (T_p) zijn voor zowel scheepsgolven als windgolven bepaald. Bij het bepalen van de toelaatbare golfbelasting is uitgegaan van een ondoorlatende laag onder de toplaag (conservatief uitgangspunt). In Bijlage 5 is de ingevulde rekensheet Stabiliteit Van der Meer (Noordzeekanaalzijde) te vinden.

Tabel 49: Toelaatbare belastingen voor de toplaag van stortsteen¹

Type belasting	Parameter(s)	Waarde(n)
Scheepsgolven	H_s / T_p	0,99 m / 3,60 s
Windgolven	H_s / T_p	1,30 m / 2,30 s

9.5 Maatgevende belastingsituaties (stap 3)

9.5.1 Falen toplaag (49.3-wat.oevststnzk.stp.obl1)

9.5.1.1 Golven

Scheepsgolven zijn maatgevend voor de oeverbescherming die parallel ligt aan het binnentoeleidingskanaal. Windgolven zijn maatgevend voor de oeverbescherming nabij de sluishoofden, deze staat haaks op het binnentoeleidingskanaal. Bij de belasting door scheeps- en windgolven wordt conservatief getoetst. Er is uitgegaan van de maximale scheeps- en windgolf, onafhankelijk van de waterstand, met de eigenschappen uit respectievelijk § 3.3.1.7 en § 3.3.1.8.

¹ Hierbij is uitgegaan van geheel zoet water met een dichtheid van 1.000 kg/m³. De toelaatbare golfhoogte in geval van zout water met een dichtheid van 1.022 kg/m³ is slechts 1 cm lager.

De stortsteenbekleding kan belasting als gevolg van windgolven ruimschoots weerstaan. De belasting als gevolg van scheepsgolven kan ook worden weerstaan, maar met een kleinere marge. De kans op falen van de oeverbescherming door golfbelasting wordt verwaarloosbaar klein geacht.

9.6 Overschrijdingsfrequentie van maatgevende belastingsituaties (stap 4)

9.6.1 Falen toplaag (49.3-wat.oevststnzk.stp.obl1)

Voor zowel de noordelijke als de zuidelijke oeverbescherming is de faalkans door golfbelasting verwaarloosbaar klein. De faalkansen voor de verschillende functies zijn gegeven in Tabel 50.

Tabel 50: Faalkansen per functie voor de toplaag van de oeverbescherming

Toestand (T_i)	$P(T_i)$	$P_f(F T_i)$	ΔP_f
Normaal sluisbedrijf			
-schutten	7,6071E-01	0	0
-waterkeren	2,3548E-01	0	0
-spuien	8,7812E-01	0	0
Som			$P_f=0$

Opmerkingen bij tabel:

$P(T_i)$ kans (per dag) op voorkomen van toestand i

$P_f(F|T_i)$ kans op falen gegeven toestand i

$\Delta P_{f,i}$ kansbijdrage (per dag)

9.7 Beheer en onderhoud

Naar aanleiding van de multibeammeting en (duik)inspectie zijn geen schades aan de oeverbeschermingen geconstateerd. Daarom is geen direct onderhoud noodzakelijk. Er is wel een lichte verdieping in het onderwatertalud nabij de aanlegsteiger voor (sleep)boten aanwezig. De verdieping vormt geen direct risico voor de sluis. Aangeraden wordt om deze locatie te monitoren en wanneer dit nodig blijkt (toename verdieping) in de toekomst extra te beschermen.

Het advies is om regelmatig (bijvoorbeeld jaarlijks) droge inspecties van de oevers uit te voeren. In combinatie met de resultaten van de multibeammetingen die voor de bodembescherming aangeraden worden, kan een goed beeld van de staat van de oeverbeschermingen zowel boven als onder water verkregen worden. Wanneer afwijkingen of mogelijke schades (in de vorm van bijvoorbeeld verzakkingen of verdiepingen) geconstateerd worden, kan in aanvulling op de multibeammeting en droge inspectie gericht een duikinspectie uitgevoerd worden om de mogelijke oorzaak vast te stellen. Wanneer schades onder water geconstateerd worden, moet onderhoud in de vorm van bijstorting van stenen gepleegd worden.

Het falen van de oeverbeschermingen wordt niet bepaald door degradatie, maar door (over)belasting. Wanneer regelmatig onderhoud gepleegd wordt, kan de sterkte in stand gehouden worden en de restlevensduur worden verlengd.

9.8 Conclusies

Er is op de beide oevers aan de Noordzeekanaalzijde van de sluis een oeverbescherming aanwezig. Deze oeverbeschermingen zijn tijdens inspectie in goede staat gebleken.

Uit de analyse van de oeverbeschermingen blijkt dat de oeverbescherming vooral belast wordt door zowel scheeps- en windgolven. De kans op falen is verwaarloosbaar klein.

In termen van RAMS-analyse draagt het onderdeel oeverbeschermingen aan de Noordzeekanaalzijde niet bij aan het falen van de functie(s) van de Noordersluis.

10 Conclusies

10.1 Algemene conclusies

Van de Noordersluis zijn zes waterbouwonderdelen geïnspecteerd en geanalyseerd. Uit de resultaten van inspectie blijkt dat de waterbouwonderdelen over het algemeen in goede staat zijn. Alleen de bodembescherming in de sluiscolk is in zeer slechte staat en is gefaald (faalkans gelijk aan 1,0). Dit komt door de grote belastingen vanuit de scheepvaart (vooral schroefstralen), die de afgelopen decennia onderhevig is geweest aan schaalvergroting. Er zijn op dit moment al werkzaamheden gepland om de bodembescherming te herstellen. Voor zover bekend zijn gedurende de Tweede Wereldoorlog geen schades aan de waterbouwonderdelen veroorzaakt.

Naast de analyse van de waterbouwonderdelen is er met Lockfill een verkennende analyse uitgevoerd voor de schutprocedure van de Noordersluis (zie Bijlage 8). Hierin zijn voor het maatgevende containerschip (OOCL Shenzhen) vier nivelleersituaties beschouwd, namelijk het vullen en ledigen van de sluiscolk bij maatgevende vervallen. Voor deze situaties zijn de langskrachten berekend en deze zijn vergeleken met het troskrachtcriterium. De berekeningen zijn gemaakt met aannemelijke waarden voor enkele belangrijke parameters zoals het dichtheidsverschil en het troskrachtcriterium. Daarnaast is zo goed mogelijk omgegaan met de modellering van het stelsel van riolen en het beperkte validatiemateriaal dat voorhanden is. Uit de berekeningen blijkt dat de langskrachten bij het vullen van de sluis gedomineerd worden door de dichtheidsverschillen en dat de langskrachten veel groter zijn dan het nu gangbare criterium van 0,2%. De verschillen ten opzichte van het schaalmodelonderzoek uit 1983 zijn onder andere te verklaren door de grotere afmetingen van het aangehouden schip en het snellere nivelleren. Wanneer de langskrachten bij het ledigen van de sluis bekeken worden, blijkt dat deze meer in de buurt van het troskrachtcriterium liggen. Tenslotte is gebleken dat het nivelleren in het geval van een dichtheidsverschil in Lockfill waarschijnlijk niet geheel juist wordt weergegeven. Het waterstandsverschil aan het einde van het nivelleren lijkt geen rekening te houden met de verticale positie van de nivelleeropeningen, waardoor het waterstandsverschil aan het einde groter is dan verwacht zou worden. Lockfill zou (o.a.) op dit punt verbeterd moeten worden.

De analyse van de bolders is uitgevoerd in door de discipline Civiel [Lit. 9]. In deze analyse is geen rekening gehouden met vergroting van de krachten in de trossen (en op de bolders) door dynamische effecten tijdens het nivelleren. Deze kunnen echter een aanzienlijke bijdrage leveren.

10.2 Conclusies per waterbouwonderdeel

10.2.1 Schermen voor onder- en achterloopsheid

Uit inspectie blijkt dat er een schade is ontstaan aan één van de onderloopsheidschermen bij het binnenhoofd. De damwand wijkt over enige afstand van de betonvloer, maar er is geen vervolgschade geconstateerd. De ontstane kier is gevuld met een laag sediment, er zijn geen uitspoelingen geconstateerd. Daarnaast beïnvloedt de schade de maatgevende kwelweglengte niet. Dit is volgens de beheerder tevens de conclusie uit een eerder uitgevoerd onderzoek. Toch wordt aanbevolen om de schade te herstellen, zodat de huidige constructie de robuustheid van de oorspronkelijke constructie weer terug krijgt.

Uit de analyse blijkt dat de kwelschermen onder de sluishoofden en onder de kolkwanden voldoende weerstand hebben om het faalmechanisme piping te voorkomen. De kansbijdrage van falen van de kwelschermen is verwaarloosbaar klein verondersteld en wordt niet in de RAMS-analyse meegenomen.

10.2.2 Bodembescherming Noordzeezijde

Er is aan de Noordzeezijde van de sluis een bodembescherming bestaande uit stortsteen aanwezig. Tijdens inspectie zijn verdiepingen nabij het buitenhoofd aangetroffen, maar de aansluitingen vertonen geen schade. De verdiepingen in de toplaag zijn in het verleden hersteld. Uit de analyse blijkt dat overschrijding van de toelaatbare belastingen op de toplaag (rekenkundig) kan optreden bij het passeren van het maatgevende schip. De resultaten zijn vanwege verschillende redenen niet in de RAMS-analyse meegenomen. De belangrijkste reden is het aangewende vermogen als gevolg van sleepbootassistentie waarschijnlijk overschat is.

De toelaatbare belastingen voor de afmetingen van de bodembescherming worden tevens (rekenkundig) overschreden. Dit gebeurt bij passage van het maatgevende schip. De resultaten zijn vanwege verschillende redenen niet in de RAMS-analyse meegenomen. De belangrijkste redenen zijn dat er nog een kleilaag aanwezig is, dat de tijdsduur voor het bereiken van de evenwichtsdiepte van een kritische ontgrondingskuil groot is, dat de berekeningen conservatief zijn ingestoken en dat er in de huidige situatie (na 80 jaar) beperkte ontgrondingskuilen zijn ontstaan. De kansbijdrage van de bodembescherming aan de Noordzeekanaalzijde is verwaarloosbaar klein verondersteld en wordt niet in de RAMS-analyse meegenomen.

10.2.3 Bodembescherming Noordzeekanaalzijde

Er is aan de Noordzeekanaalzijde van de sluis een bodembescherming bestaande uit stortsteen aanwezig. Het stortsteen is over een lengte van 50 m gepenetreerd met colloïdaal beton. Tijdens inspectie zijn verdiepingen nabij het buitenhoofd aangetroffen, maar de aansluitingen vertonen geen schade. De verdiepingen in de toplaag zijn in het verleden hersteld. Uit de analyse blijkt dat overschrijding van de toelaatbare belastingen op de toplaag (rekenkundig) kan op treden bij passage van het maatgevende schip onder extreme omstandigheden. De resultaten zijn vanwege

verschillende redenen niet in de RAMS-analyse meegenomen. De belangrijkste reden is het aangewende vermogen als gevolg van sleepbootassistentie waarschijnlijk overschat is.

De afmetingen van de bodembescherming zijn voldoende groot. In de huidige situatie (na 80 jaar) zijn beperkte ontgrondingskuilen ontstaan. Ontgrondingen die eventueel in de toekomst ontstaan, kunnen op tijd geconstateerd worden. De kansbijdrage van de bodembescherming aan de Noordzeekanaalzijde is verwaarloosbaar klein verondersteld en wordt niet in de RAMS-analyse meegenomen.

10.2.4 *Bodembescherming sluiskolk*

De bodembescherming in de sluiskolk is tijdens inspectie in zeer slechte staat gebleken. Als gevolg van de steeds groter wordende belastingen vanuit de scheepvaart, vooral schroefstraalbelastingen, blijven zich verdiepingen in de sluiskolkbodem vormen. Gezien de slechte staat van de bodembescherming is er geen analyse uitgevoerd, omdat de bodembescherming al gefaald is. In het kader van NOMO AOV zijn er al plannen gemaakt om de bodembescherming in de sluiskolk lokaal te herstellen, waarbij het ontwerp gebaseerd is op actuele en toekomstige belastingen. De bodembescherming wordt slechts lokaal hersteld, waardoor problemen met de bodembescherming zich in de toekomst voor kunnen blijven doen. Op basis hiervan zijn voor de korte termijn enkele aanbevelingen ten aanzien van het beheer en onderhoud van de bodembescherming gedaan. Op de lange termijn wordt aanbevolen een duurzame oplossing voor de verdediging van de gehele sluiskolkbodem te ontwerpen en uit te voeren. Hierbij moet ook aandacht worden besteed aan cruiseschepen met moderne voortstuwing (draaibare schroeven), die voor grote belastingen nabij de sluiswanden kunnen zorgen.

In termen van RAMS-analyse draagt het onderdeel bodembescherming sluiskolk met een kans 1,0 bij aan het falen van de functie(s) van de Noordersluis.

10.2.5 *Oeverbescherming Noordzezijde*

Er is op de beide oevers aan de Noordzezijde van de sluis een oeverbescherming aanwezig. Deze oeverbeschermingen zijn tijdens inspectie in goede staat gebleken. Uit de analyse van de oeverbeschermingen blijkt dat de oeverbescherming vooral belast wordt door deining, wind- en scheepsgolven. Hierbij is de belastingen als gevolg van deining vanwege de grotere golfperiode maatgevend. Falen van de toplaag treedt op voor een relatief kleine golfhoogte.

In de RAMS-analyse zijn deze uitkomsten echter om een aantal redenen niet meegenomen. De belangrijkste reden is dat de eigenschappen van de deiningsgolf in combinatie met de taludhelling waarschijnlijk buiten het toepassingsgebied van de gebruikte methode ligt. Daarnaast zal lokaal falen van de toplaag niet direct leiden tot falen van de gehele oeverbescherming en (onderdelen van) de sluisconstructie.

10.2.6 Oeverbescherming Noordzeekanaalzijde

Er is op de beide oevers aan de Noordzeekanaalzijde van de sluis een oeverbescherming aanwezig. Deze oeverbeschermingen zijn tijdens inspectie in goede staat gebleken. Uit de analyse van de oeverbeschermingen blijkt dat de oeverbescherming vooral belast wordt door zowel scheeps- en windgolven. De kans op falen is verwaarloosbaar klein. In termen van RAMS-analyse draagt het onderdeel oeverbeschermingen aan de Noordzeekanaalzijde niet bij aan het falen van de functie(s) van de Noordersluis.

10.2.7 Samenvatting analyseresultaten

In de onderstaande tabel zijn de analyseresultaten van de waterbouwonderdelen samengevat en is de invoer voor de RAMS-analyse weergegeven.

Tabel 51: Samenvatting analyseresultaten

Waterbouwonderdeel	Invoer RAMS (faalkans)	Toelichting
Schermen voor onder- en achterloopsheid	verwaarloosbaar	Het maximaal toelaatbare verval kan fysiek niet optreden.
Bodembescherming Noordzeezijde	verwaarloosbaar	De bodembescherming voldoet (rekenkundig) niet aan schroefstraalbelastingen. Vanwege de conservatieve uitgangspunten is de faalkans echter verwaarloosbaar klein verondersteld.
Bodembescherming Noordzeekanaalzijde	verwaarloosbaar	De bodembescherming heeft (als gevolg van de penetratie met colloïdaal beton) voldoende sterkte om de optredende belastingen te weerstaan.
Bodembescherming sluiskolk	1,0	De bodembescherming is al gefaald. Er zijn grote ontgroningen in de sluiskolk aanwezig. In 2012 zijn herstelwerkzaamheden aan de bodembescherming voorzien.
Oeverbescherming Noordzeezijde	verwaarloosbaar	De oeverbescherming wordt belast door deining, windgolven en scheepsgolven. Deining blijkt maatgevend en de zetsteenbekleding kan deze golven niet weerstaan. Op basis van een berekening is de faalkans echter verwaarloosbaar klein verondersteld.
Oeverbescherming Noordzeekanaalzijde	verwaarloosbaar	De oeverbescherming heeft voldoende sterkte om de optredende wind- en scheepsgolfbelastingen te weerstaan.

10.3 Nieuwe risico's

De belangrijkste nieuwe risico's sinds de realisatie van de sluis zijn de grotere scheepvaartintensiteit en de schaalvergroting van de scheepvaart (zowel afmetingen als motorvermogens). De oorspronkelijke bodembeschermingen zijn hier niet op ontworpen en dat heeft geleid tot problemen met de bodembeschermingen in de sluiskolk en aan weerszijden van de sluis. In het verleden hebben herstelwerkzaamheden aan de bodembeschermingen plaatsgevonden, maar dit is niet afdoende gebleken voor de bodembescherming in de sluiskolk.

Het risico wordt op korte termijn grotendeels weggenomen door de geplande herstelwerkzaamheden. De bodembescherming in de sluiskolk wordt lokaal hersteld met een toplaag die bestand is tegen belastingen vanuit de huidige scheepvaart. Aangezien de herstelwerkzaamheden slechts lokaal zijn, zal het risico op schade elders aan de bodembescherming blijven bestaan. Pas wanneer er een geheel nieuwe bodembescherming ontworpen en aangelegd is, mag het risico als verwaarloosbaar verondersteld worden.

10.4 Aanbevelingen

Het advies is om jaarlijks een multibeammeting aan beide zijden van de sluis uit te voeren om de staat van de bodembeschermingen en de onbeschermd bodem in kaart te brengen. Op basis van de resultaten van de multibeammeting kan bij constatering van afwijkingen of schades gerichte duikinspectie plaatsvinden om de oorzaak van de schade(s) te achterhalen. Met behulp van deze informatie kan het benodigde onderhoud gepleegd worden aan de betreffende onderdelen.

Voor de sluiskolk wordt geadviseerd om een duurzame oplossing voor de bescherming van de bodem te (laten) ontwerpen en aanleggen. Hierbij moet ook aandacht besteed worden aan cruiseschepen met moderne voortstuwing, die mogelijk voor grote belastingen nabij de sluiswanden kunnen zorgen. Daarnaast wordt aanbevolen om tot die tijd de huidige frequentie (maandelijks) van het uitvoeren van multibeammetingen in de sluiskolk te handhaven.

Verder worden de volgende aanbevelingen voor de waterbouwonderdelen van de Noordersluis gedaan:

- Het lokaal (bijvoorbeeld over een strook van 2 m) penetreren van de bodembeschermingen nabij de overgangen naar de sluisvloer, zodat een 'steenvang' gecreëerd wordt;
- Het herstellen van de schade nabij de aansluiting van de damwand op de betonvloer van het binnenhoofd (over de zuidelijke helft). Dit kan bijvoorbeeld door het sediment dat de ontstane ruimte heeft gevuld over een bepaalde diepte te verwijderen en de ruimte op te vullen met colloïdaal beton. Ten behoeve van het uitharden van het beton dient de herstelmaatregel tijdelijk afgedekt te worden, zodat geen uitspoeling kan optreden.
- De oeverbeschermingen vrijhouden van begroeiing;
- De uitgespoelde voegen van de oeverbescherming te vullen met asfalt, of een ander inwasmateriaal;

- De tegelbekleding op de berm vervangen door bijvoorbeeld een bekleding van betonzuilen (inclusief een goede opsluitingsconstructie), omdat een tegelbekleding op een berm niet gewenst is;
- De invloed van verschillende deininggolven op de zesteen oeverbeschermingen nader te onderzoeken;
- Het monitoren van de lichte verdieping in het onderwater talud nabij de aanlegsteiger in het binnentoeleidingskanaal en wanneer het nodig blijkt (toename verdieping) het onderwatertalud in de toekomst extra te beschermen.

Naast de aanbevelingen die voor de waterbouwonderdelen van de Noordersluis worden gedaan, wordt aangeraden om:

- Het passeren van grote schepen via de Noordersluis alleen toe te staan onder uitvoerige sleepbootassistentie en de passage bij voorkeur alleen plaats te laten vinden bij hoogwater (gedurende het getijde);
- Onderzoek te doen naar de aangewende motorvermogens van grote schepen die de sluis passeren, zodat de uitgangspunten en analyseresultaten aangescherpt kunnen worden;
- Eventueel een beperking in schroef- en boegschroefgebruik in de sluis kolk voor te schrijven;
- De verdiepingen die ontstaan zijn bij de damwand aan de noordzijde van het binnentoeleidingskanaal te monitoren.

Tot slot wordt aanbevolen om Lockfill te verbeteren, omdat het nivelleren met de Noordersluis in het geval van een dichtheidsverschil waarschijnlijk niet geheel juist wordt weergegeven (zie ook § 10.1 en Bijlage 8).

Referenties

Literatuur

1. Arcadis, Toetsing op veiligheid derde toetsronde (VTV2006), Verbindende waterkering 7, september 2010.
2. CIRIA e.a., 'The Rock Manual, The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition)', 2007, C683, CIRIA, Londen.
3. Centraal Nautisch Beheer Noordzeekanaalgebied, Basijn nr: 21/2006, oktober 2006.
4. DHV Milieu en Infrastructuur BV, Renovatie Noordersluis IJmuiden, 4xB schutbedrijf en waterkering, april 1997.
5. Grontmij, Ontwerp stabiele bodembescherming Noordersluis IJmuiden – Variantenstudie, februari 2010.
6. Hoffmans, G.J.C.M., Verheij, H.J., Scour Manual, januari 1997.
7. Iv-Infra b.v., R-050 Generieke Aanpak Waterbouw, juli 2011.
8. Iv-Infra b.v., R-160 Inspectierapport – Noordersluis (25A-001-01), december 2011.
9. Iv-Infra b.v., R-110 Analyserapport Civiele bouw – Noordersluis (25A-001-01), december 2011.
10. Iv-Infra b.v., R-120 Analyserapport Staalbouw – Noordersluis (25A-001-01), december 2011.
11. Iv-Infra b.v., R-170 Integrale RAMS-analyse – Noordersluis (25A-001-01), december 2011.
12. Lieveense, Voorontwerp bodembescherming Noordersluis IJmuiden – Hydraulische belastingen, januari 2010.
13. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Hydraulische Randvoorwaarden voor primaire waterkeringen (HR2006), augustus 2007.
14. Ringers, J.A., Tellegen, C., Jitta, J.P., Mulder, F.E., De bouw van de nieuwe schutsluis c.a. te IJmuiden, artikel uit weekblad 'De Ingenieur', 1924.
15. Roubos, A.A., Omgaan met onzekerheden bij het ontwerpen van bodembescherming nabij kademuren, TU Delft, afstudeeronderzoek, december 2006.
16. RWS Bouwdienst, Handboek ontwerp van schutsluizen, 2000.
17. RWS Bouw Dienst, Renovatie bodembescherming Noordersluis; vooronderzoek, december 1992.
18. RWS Dienst Noord-Holland, Werkafspraken RWS-CNB, december 2010.
19. RWS Dienst Noord-Holland en Alkyon, Seiches in de buitenhaven van IJmuiden, september 2000.
20. RWS Dienst Noord-Holland, NOMO AOV; sluizen Noordzeekanaal (IJmuiden en PWA); advies kolkbodem Noordersluis IJmuiden,, oktober 2010.
21. RWS Dienst Noord-Holland, NOMO AOV; Projectplan, mei 2011.
22. TAW, Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen, maart 1999.
23. TAW, Technisch Rapport Steenzettingen, ontwerp, TR25b, december 2003.
24. TU Delft, Coastal Engineering Volume I, dictaat CT4300, oktober 1998.
25. TU Delft, Vloeistofmechanica, dictaat CT2100, april 2002.

26. Ursem, J.P.M., Draaiboek Hoog water Sluizencomplex te IJmuiden, Waterdistrict Noord-Holland, december 2010.
27. Vrijburcht, A., Dungen, A.S. van den, 'Hydraulische randvoorwaarden ter plaatse van de Grote sluis te IJmuiden', januari 2003.
28. Waterloopkundig Laboratorium, Noordersluis IJmuiden; verslag modelonderzoek, M902, augustus 1967.
29. Waterloopkundig Laboratorium, Noordersluis IJmuiden; beknopt verslag onderzoek, R1759/M1859-I, november 1983.
30. Waterloopkundig Laboratorium, Noordersluis IJmuiden; verslag onderzoek, R1759/M1859-II, november 1983.
31. Waterloopkundig Laboratorium, Noordersluis IJmuiden; figuren, R1759/M1859-III, november 1983.
32. Bestek, nummer BDN 3750
33. Arends, G.J., 'Sluizen en gemalen in het Noordzeekanaal: anderhalve eeuw ontwerpen, bouwen en vernieuwen', 2001.

Tekeningen

1. Overzichtstekening en doorsneden van de Noordersluis te IJmuiden, revisietekening, januari 1931.
2. Hollandia, Sluizencomplex Noordzeekanaal IJmuiden, binnenhoofd rioolschuivengebouw, tek.nr. NHKA-2002-32334, maart 2006.
3. RWS Directie sluizen en stuwen, Noordersluis IJmuiden; Deurbewegingskelders e.d.; Situatie en sonderingen, bestekstekening, april 1986.
4. RWS Directie Noord-Holland, Noordersluis; bestaande bodemvoorziening schutkolk, februari 1983.
5. RWS, Bouw eener schutsluis te IJmuiden, uitvoering grondwerk aansluitend aan buitensluishoofd, tek.nr. NHKA-1928-38046, 1928.
6. RWS Directie Noordholland, Zeewering IJmuiden; plan verhoging zeewering IJmuiden, tek.nr. NHTZ-1989-3039, september 1989.
7. RWS, Bouw eener schutsluis te IJmuiden, binnensluishoofd - situatie, tek.nr. NHKA-1924-38025, 1924.
8. RWS, Bouw eener schutsluis te IJmuiden, binnensluishoofd noordzijde, tek.nr. NHKA-1924-38021, 1924.
9. RWS, Bouw eener schutsluis te IJmuiden, buitensluishoofd – doorsneden en detail, tek.nr. NHKA-1925-38039, 1925.
10. RWS, Bouw eener schutsluis te IJmuiden, buitensluishoofd – doorsneden: pompkoker en schuifponningen, tek.nr. NHKA-1925-38040, 1925.
11. RWS, Reconstructie Noordersluis; binnenhoofd noord, tek.nr. NHKA-2003-38214, oktober 2004.

Bijlage 1 Revisiebeheer

Tabel 52: Revisiebeheer

Revisie	Wijzigingen
0.1	
0.2	Opmerkingen Jarda van Spengen verwerkt
0.3	Opmerkingen Tom Sikkema verwerkt
1c	Opmerkingen op overige interne verificaties verwerkt
2d	Opmerkingen RWS op 1c versie verwerkt



Bijlage 2 Codering onderdelen

Tabel 53: Codering waterbouwonderdelen

Waterbouwonderdeel	Codering
Achterloopsheidschermen	61.1.wat.alschbuh 61.1.wat.alschbih
Onderloopsheidschermen	61.14.wat.olschbuh 61.14.wat.olschbih
Bodembescherming Noordzeezijde	11.7.wat.bdmbeszee
Bodembescherming Noordzeekanaalzijde	11.7.wat.bdmbesznk
Bodembescherming kolkvloer	62.13.wat.bodbesklk
Oeverbescherming Noordzeezijde	49.2.wat.oevbstr 49.3.wat.oevststzee 49.4.wat.oevztst
Oeverbescherming Noordzeekanaalzijde	49.3.wat.oevststznk



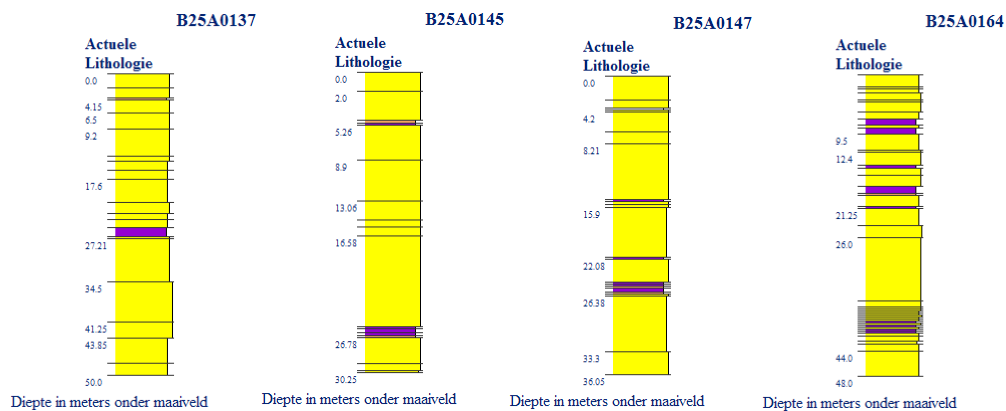
Bijlage 3 Grondonderzoek

In Figuur 32 zijn de locaties van de in § 3.4 beschreven boringen weergegeven. Figuur 33 geeft de lithologie van enkele boorstaten van het DINO-loket (uit de periode van de bouw van de sluis) weer. Voor de lithologie van de boorstaten van het DINO-loket moet de volgende legenda aangehouden worden:

- Paars: klei
- Oranje: veen
- Geel: zand (fijn)



Figuur 32: Locaties grondboringen nabij de Noordersluis



Figuur 33: Lithologie van de boorstaten DINO-loket; maaiveld op NAP+7,90 m, NAP+8,10 m, NAP+7,80 m en NAP+0,60 m





Bijlage 4 Maatgevende waterstandvervallen

In deze bijlage wordt ingegaan op de maatgevende waterstandvervallen die op kunnen treden over de sluis en over de afzonderlijke sluishoofden. Alleen normaal sluisbedrijf wordt beschouwd, omdat de overige toestanden niet tot grotere waterstanden en vervallen leiden.

De waterstanden en vervallen die optreden tijdens normaal sluisbedrijf worden in de volgende paragrafen beschreven en weergegeven in figuren. Belangrijk voor de disciplines Staal en Werktuigbouw is dat voor deze situaties de waterstandfluctuaties als gevolg van bijvoorbeeld windgolven en deining nog in rekening gebracht moeten worden. Hetzelfde geldt voor de translatiegolven in de sluiskolk, die inclusief reflectie beschouwd moeten worden. Deze aanvullende informatie is voor elke situatie in tabellen beschreven. Daarnaast is het van belang dat niet alleen naar de grootte van het verval gekeken wordt, maar ook naar de ligging van de waterstanden. Een kleiner verval met een hogere ligging van de waterstanden kan bijvoorbeeld tot een hogere belasting op de deuren leiden. Voor de discipline Civiel is verder nog de situatie voor de deuren in het buiten- en binnenhoofd tijdens hoogwaterkeren van belang. Voor de aan te houden waterstanden, zie de beschrijving in paragraaf B4.1.1. De maatgevende waterstandvervallen worden in het analyserapport Civiele bouw nader beschreven [Lit.9].

Verder is bij de bepaling van de waterstandvervallen (conservatief) rekening gehouden met relatie tussen de buitenwaterstanden (op de Noordzee) en de binnenwaterstanden (op het Noordzeekanaal). In het kort houdt dit in dat bij hoge waterstanden op de Noordzee een relatief lage waterstand op het Noordzeekanaal te verwachten is. Harde wind (storm) die de waterstand op de Noordzee zal doen stijgen, zal vermoedelijk voor aanzienlijke afwaaiing op het Noordzeekanaal zorgen en andersom.

B 4.1 Normaal sluisbeheer

Onder normaal sluisbeheer worden de maatgevende hoog- en laagwatertoestanden op de Noordzee in rekening gebracht voor de functie waterkeren. Voor de functie schutten wordt uitgegaan van de maximale en minimale schutpeilen op de Noordzee.

B 4.1.1 Hoogwater keren: extreem hoogwater op de Noordzee

Voor de hoogwaterstand op de Noordzee wordt het toetspeil en een seiche (1/10.000 per jaar) in rekening gebracht. Volgens [Lit. 26] worden tijdens de start van het hoogwater (waterstand hoger dan NAP+3,40 m) de sluiskolk en de oostelijke deuren van het buitenhoofd geïnundeerd en wordt er getrapt gekeerd¹. Gezien het feit dat de oostelijke buitendeuren en de binnendeuren over de gehele breedte voorzien zijn van openingen op NAP+3,40 m, zal bij overslag van water over de westelijke buitendeuren de waterstand in de sluiskolk tot ongeveer dit niveau stijgen. Bij het bereiken van een waterstand hoger of gelijk aan NAP+5,00 m moet de oostelijke deuren gevuld worden tot een niveau van NAP+2,00 m door de afsluiters in de schotbalken te openen. Dit leidt ertoe dat de waterstand in de sluiskolk gelijk is aan de waterstand in de deuren.

¹ De calamiteit 'het op peil brengen van de kolkwaterstand' wordt verwaarloosbaar klein geacht, zie [Lit. 11].

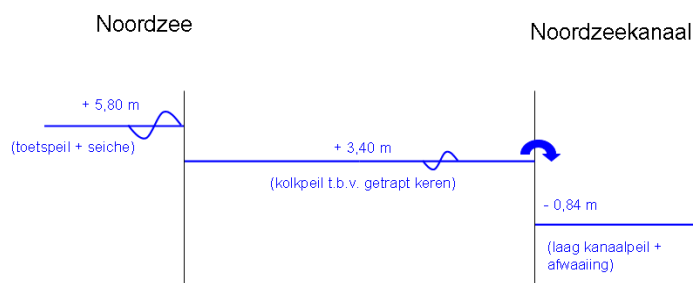
Voor de waterstand op het Noordzeekanaal wordt uitgegaan van een laagwaterstand op het kanaal (1/10 per jaar) in combinatie met afwaaiing (1/10.000 per jaar).

Als gevolg hiervan is het waterstandverval over de gehele sluis 6,64 m. Het verval over het buitenhoofd is (NAP+5,80 m – NAP+3,40 m=) 2,40 m en het verval over binnenhoofd is (NAP+3,40 m – NAP-0,84 m=) 4,24 m, zie Figuur 34.

Tabel 54: Resulterende waterstanden bij extreem hoogwater op de Noordzee

Extremesituatie 1: hoogwater op de Noordzee als gevolg van springtij en (NW) stormvloed			
type belasting	Noordzeezijde	sluiskolk	Noordzeekanaalzijde
waterstand (toetspeil / 10 ¹)	5,20 m+NAP	3,40 m+NAP	-0,54 m+NAP
seiche (10 ⁻⁴)	0,60 m	-	-
op-/afwaaiing (10 ⁻⁴)	-	-	-0,30 m
translatiegolf	-	-	-
deining (10 ⁻⁴)	0,55 m	-	-
windgolf (10 ⁻⁴)	0,90 m	-	-
waterbeweging t.g.v. overslag	-	0,25 m	-

resulterende waterstanden ws Noordzeezijde ws sluis ws Noordzeekanaalzijde
 5,80 m+NAP 3,40 m+NAP -0,84 m+NAP



Figuur 34: Waterstanden en resulterend verval bij hoogwater op de Noordzee

B 4.1.2 Laagwater keren: extreem laagwater op de Noordzee

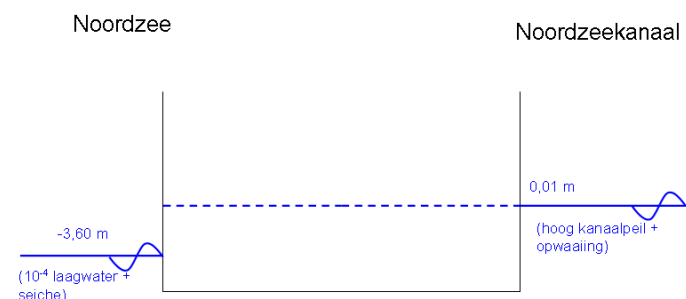
Voor de waterstand op de Noordzee wordt de 1/10.000 per jaar (laag)waterstand en een seiche (1/10.000 per jaar) in rekening gebracht. Voor de waterstand op het Noordzeekanaal wordt uitgegaan van een laagwaterstand van 1/10 per jaar in combinatie met opwaaiing 1/10.000 per jaar. Er wordt tevens van uitgegaan dat het negatieve verval uitsluitend door de buitendeur gekeerd wordt.

Als gevolg hiervan is het waterstandverval over de gehele sluis -3,61 m. Het verval over het buitenhoofd is (NAP+0,01 m – NAP-3,60 m=) -3,61 m, zie Figuur 35.

Tabel 55: Resulterende waterstanden bij extreem laagwater op de Noordzee

Extremesituatie 2: laagwater op de Noordzee			
type belasting	Noordzeezijde	sluiskolk	Noordzeekanaalzijde
waterstand (10 ⁻⁴ /10 ¹)	-3,00 m+NAP	-	-0,29 m+NAP
seiche	-0,60 m	-	-
op-/afwaaiing (10 ⁻⁴)	-	-	0,30 m
translatiegolf	-	-	-
deining	-	-	-
windgolf (10 ⁻⁴)	-	-	0,70 m
waterbeweging t.g.v. overslag	-	-	-

ws Noordzeezijde ws sluis ws Noordzeekanaalzijde
 -3,60 m+NAP - 0,01 m+NAP



Figuur 35: Waterstanden en resulterend verval bij laagwater op de Noordzee

B 4.1.3 Schutten: maximaal schutpeil

De waterstand tijdens schutten bij het maximale schutpeil wordt bepaald door een waterstand van NAP+3,40 m (1/65 jaar) en een seiche (1/10 per jaar) op de Noordzee. Aan de Noordzekanaalzijde wordt uitgegaan van een laagwaterstand 1/10 per jaar in combinatie met afwaaiing 1/1 per jaar en een translatiegolf.

Als gevolg hiervan is het verval over het buitenhoofd (NAP+3,70 m – NAP-0,94 m=) 4,64 m en het verval over het binnenhoofd (NAP+3,40 m – NAP-0,94 m=) 4,34 m, zie Figuur 36.

Let op: er zijn bij een geopende buitendeur (tijdens invaren schip) tevens windgolven op de binnendeur mogelijk.

Let op: er is bij een geopende buitendeur tevens belasting ten gevolge van windgolven op de binnendeur mogelijk.

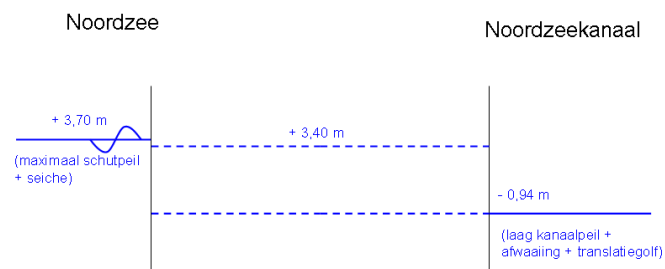
Tabel 56: Resulterende waterstanden bij maximaal schutpeil op de Noordzee

type belasting	Noordzeezijde	sluiskolk	Noordzekanaalzijde
waterstand (1/65 jaar & 10 ⁻¹)	+3,40 m+NAP	-	-0,54 m+NAP
seiche (10 ⁻¹)	0,30 m	-	-
op-/afwaaiing (10 ⁻¹)	-	-	-0,20 m
translatiegolf	-	+/- 0,30 m	-0,20 m
deining	-	-	-
windgolf (10 ⁻¹)	0,80 m	-	-
waterbeweging t.g.v. overslag	-	-	-

ws Noordzeezijde
+3,70 m+NAP

ws sluis
-

ws Noordzekanaalzijde
-0,94 m+NAP



Figuur 36: Maximaal schutpeil en resulterend verval

B 4.1.4 Schutten: minimaal schutpeil

Het minimale schutpeil wordt bepaald door een waterstand van NAP-2,50 m op de Noordzee (1/100 jaar) en een seiche (1/10 per jaar). Voor de waterstand aan de Noordzeekanaalzijde wordt uitgegaan van een laagwaterstand van 1/10 per jaar in combinatie met opwaaiing 1/1 per jaar en een translatiegolf.

Dit leidt tot een waterstandverval over de gehele sluis van (NAP-2,80 m – NAP+0,11 m=) -2,91 m. Dit verval geldt voor zowel het buiten- als het binnenhoofd, zie Figuur 37.

Let op: er is bij een geopende binnendeur (tijdens invaren schip) tevens belasting ten gevolge van windgolven op de buitendeur mogelijk.

Tabel 57: Resulterende waterstanden bij minimaal schutpeil op de Noordzee

type belasting	Noordzeezijde	sluiskolk	Noordzeekanaalzijde
laagwaterstand (1/100 jaar)	-2,50 m+NAP	-	-0,29 m+NAP
seiche	-0,30 m	-	-
op-/afwaaiing (10 ⁻¹)	-	-	0,20 m
translatiegolf	-	+/- 0,30 m	0,20 m
deining	-	-	-
windgolf (10 ⁻¹)	-	-	0,40 m
waterbeweging t.g.v. overslag	-	-	-

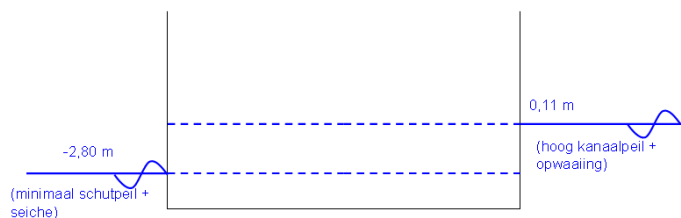
ws Noordzeezijde
-2,80 m+NAP

ws sluiskolk
-

ws Noordzeekanaalzijde
0,11 m+NAP

Noordzee

Noordzeekanaal



Figuur 37: Minimaal schutpeil en resulterend verval

B 4.1.5 Overgangssituatie: schutten – hoogwater keren

Wanneer verwacht wordt dat de waterstand op de Noordzee groter wordt dan het maximale schutpeil, wordt volgens het Draaiboek Hoogwater [Lit. 26] het schutproces gestaakt en worden hoogwatermaatregelen getroffen. Deze situatie kan vanwege het uitblijven van een waterstandverhoging in de sluiskolk (ten gevolge van golfoverslag) leiden tot grotere vervallen over de buitendeur van de sluis en wordt daarom aanvullend beschouwd.

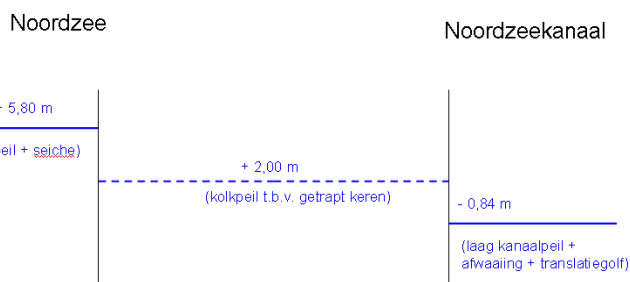
De waterstand bij het beëindigen van het schutten is NAP+3,40 m (1/65 jaar). De maatgevende hoogwaterstand is NAP+5,20 m. Golfoverslag ten gevolge van hoogwater in combinatie met seiches, deining en windgolven begint ergens tussen deze waterstanden. De waterstand in de sluiskolk zal dan stijgen, maar dit gebeurt niet bij een exacte waterstand. Daarom wordt voor deze

situatie (conservatief) uitgegaan van de maatgevende hoogwaterstand inclusief een seiche (NAP+5,80 m). Aan de Noordzeekanaalzijde wordt uitgegaan van een laagwaterstand 1/10 per jaar in combinatie met afwaaiing 1/1 per jaar en een translatiegolf.

Dit leidt tot een waterstandverval over de gehele sluis van (NAP+5,80 m – NAP-0,84 m=) 6,64 m. Het verval over het buitenhoofd is (NAP+5,80 m – NAP+2,00 m=) 3,80 m en het verval over het binnenhoofd is (NAP+2,00 m – NAP-0,84 m=) 2,84 m, zie Figuur 38.

Tabel 58: Resulterende waterstanden bij overschrijding maximaal schutpeil (start hoogwatermaatregelen) op de Noordzee

Aanvullende situatie: overschrijding maximaal schutpeil - start hoogwatermaatregelen			
type belasting	Noordzeezijde	sluiskolk	Noordzeekanaalzijde
hoogwaterstand (toetspeil/10 ⁻¹)	+5,80 m+NAP	-	-0,54 m+NAP
seiche (10 ⁻¹)	-	-	-
op-/afwaaiing (10 ⁻¹)	-	-	-0,30 m
translatiegolf	-	-	-
deining	-	-	-
windgolf (10 ⁻¹)	0,80 m	-	-
waterbeweging t.g.v. overslag	-	-	-



Figuur 38: Overschrijding maximaal schutpeil (start hoogwatermaatregelen) en resulterend verval

B 4.2 Resumé maatgevende waterstandvervallen tijdens normaal sluisbeheer

Uit bovenstaande paragrafen zijn de maatgevende waterstandvervallen voor zowel het buiten- als het binnenhoofd afgeleid, zie Tabel 59. Hierin wordt onderscheid gemaakt in twee richtingen, positief (richting Noordzeekanaal) en negatief (richting Noordzee).

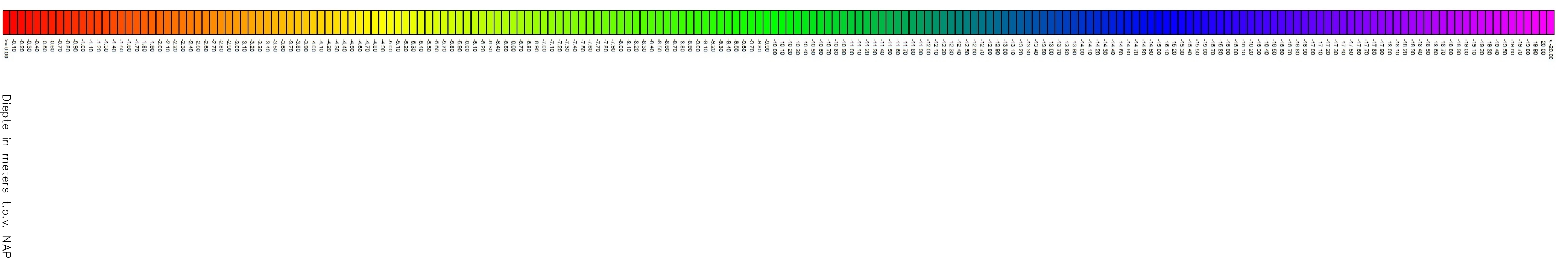
Tabel 59: Maatgevende vervallen over de sluis en de sluishoofden

Toestand	Verval over gehele sluis		Verval over buitenhoofd		Verval over binnenhoofd	
	Positief [m]	Negatief [m]	Positief [m]	Negatief [m]	Positief [m]	Negatief [m]
Schutten maximaal	4,64	-	4,64	-	4,34	-
Schutten minimaal	-	2,91	-	2,91	-	2,91
Overgangsituatie	6,64	-	3,80	-	2,84	-
Hoogwater keren	6,64	-	2,40	-	4,24	-
Laagwater keren	-	3,61	-	3,61	-	0,00 ¹

Opmerking bij tabel:

1. Er wordt van uitgegaan dat het verval over het buitenhoofd gekeerd wordt.

Bijlage 5 Multibeammetingen

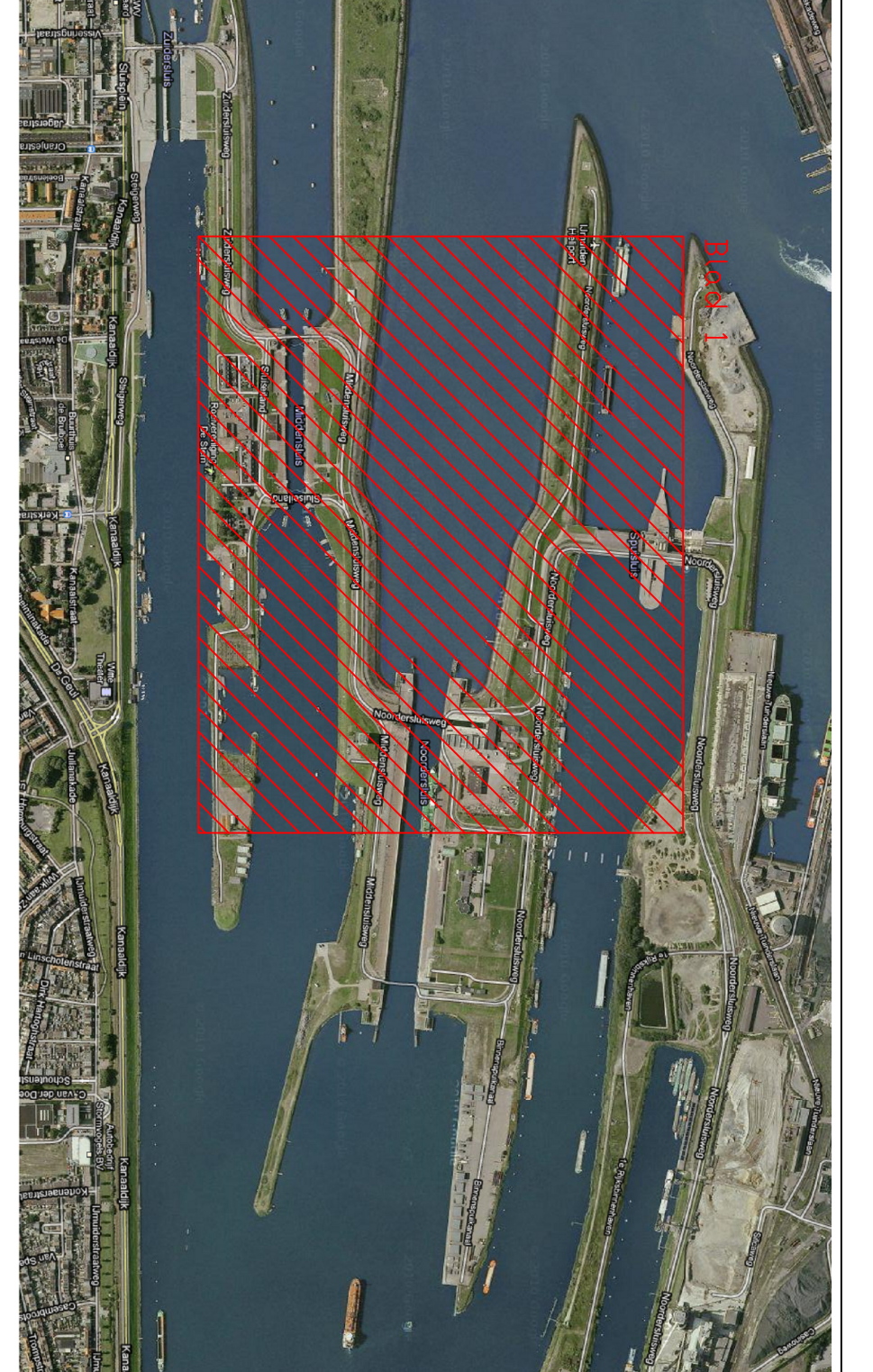


Diepte in meters t.o.v. NAP

Opmerkingen:
 Datum in meters t.o.v. NAP
 NAB: rechte meten Rijkswaterstaat

Gebruikte opmeting:
 Locat.: 1250 00 00
 DPT: 1250 00 00
 SCAALVERHOUDING: 1:5000
 ONTOEGANG: 1:5000

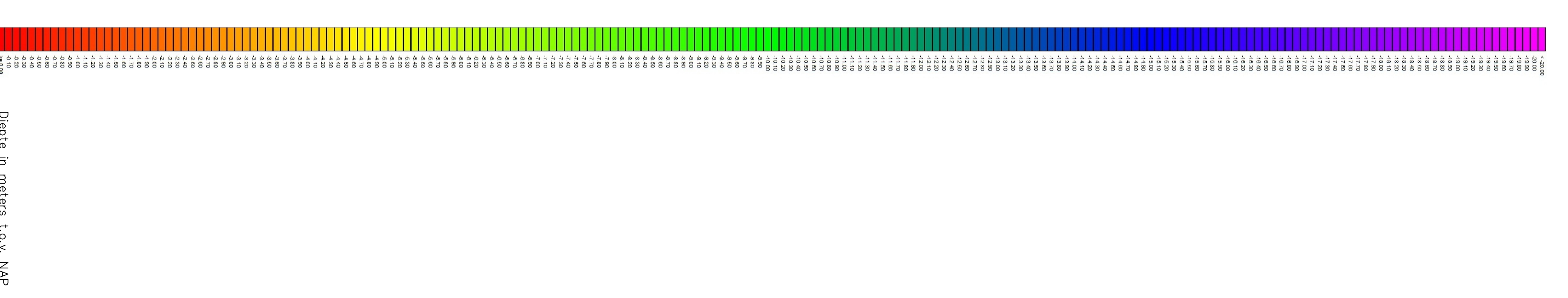
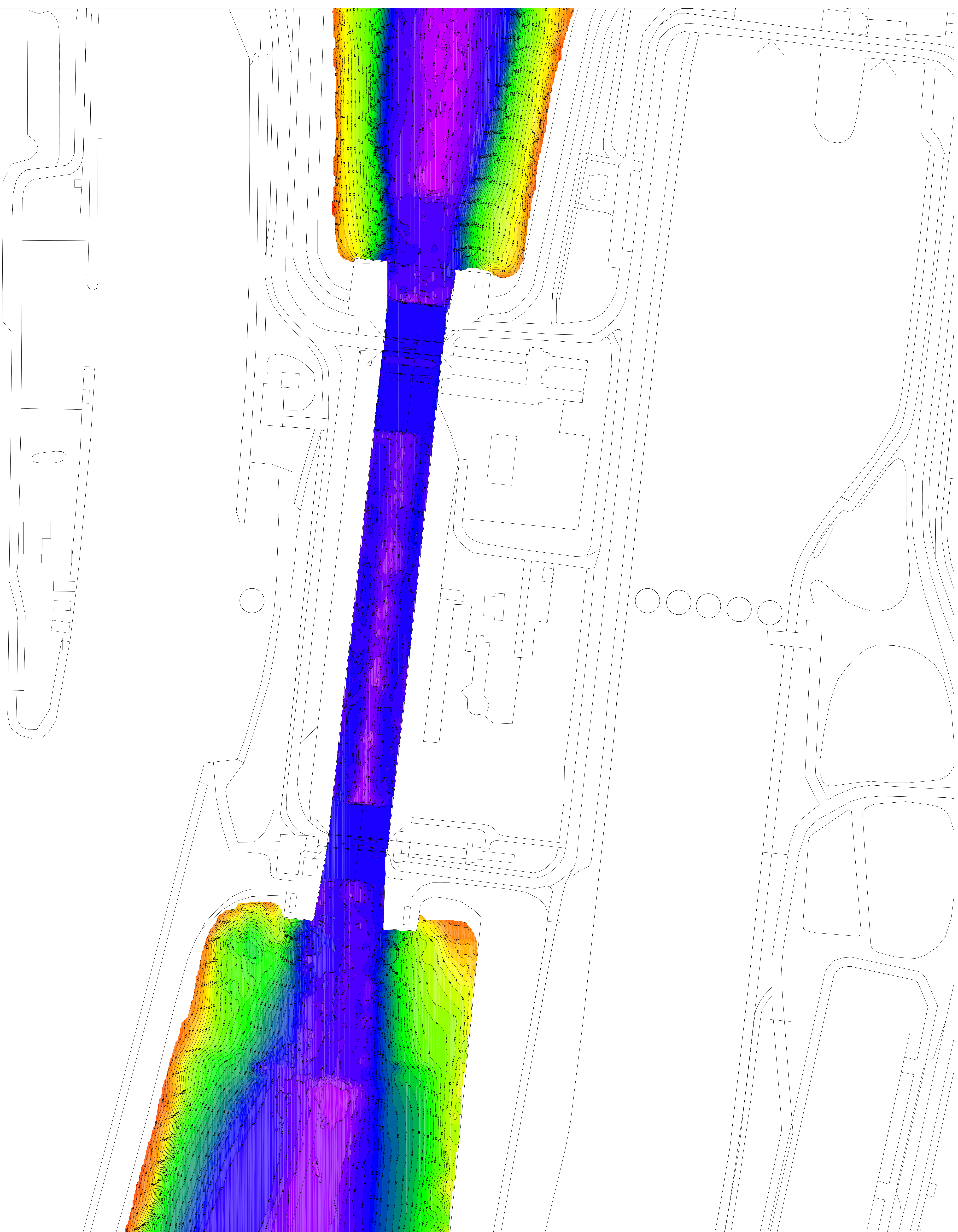
Gebruikte gegevens:
 Datum: 17-06-2011
 Tijd: 10:00
 Locat.: 1250 00 00
 DPT: 1250 00 00
 SCAALVERHOUDING: 1:5000
 ONTOEGANG: 1:5000



Hauvelman Ibis
 Opdrachtgever: **BBWBEST**
 adviesgroep

Project: Pelliwerk IJnuiden
 onderwerp: Contourtekening Noorderzijluis

Titel	Blad 1 van 8	Maat	A0 (210x297) 1:5000
Project	Pellican IJnuiden	Maat	A0 (210x297) 1:5000
Bestand	00_Contourtekening_Noordzijluis	datum	17 Jun 2011
Werk	1:5000	getekend	17 Jun 2011
		getoetst	17 Jun 2011



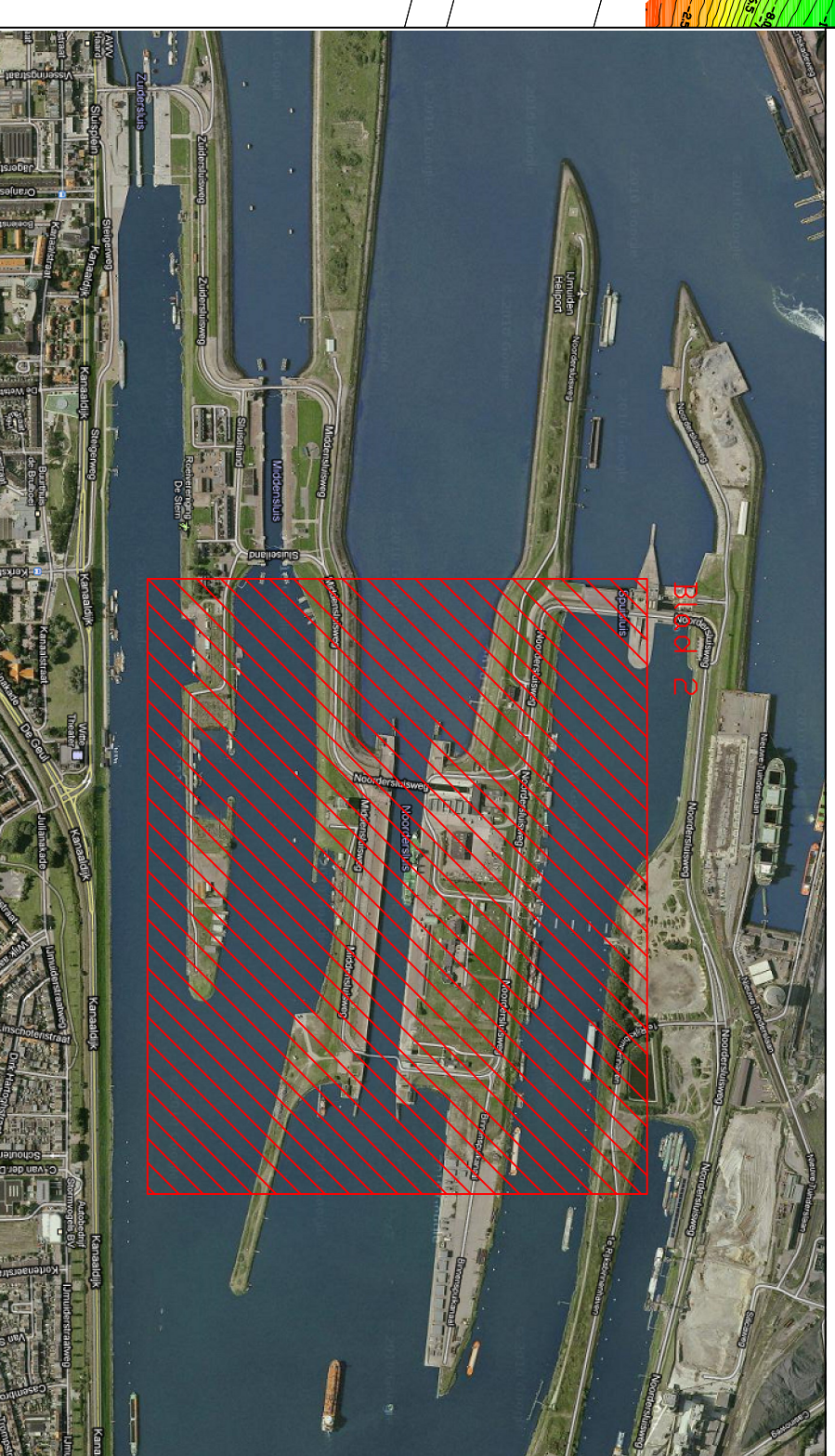
Diepte in meters t.o.v. NAP

Opmerkingen:
 Diepte in meters t.o.v. NAP
 NAF rechte hoeken RIV-keegels

Gebruikte oppervlakte: 1001,100 m² (2,48 ha)
 POORT : 1000,000 m² (2,28 ha)
 SOORTVERVALVING : 0,000 m² (0,00 ha)
 ONVERVALVING : 0,000 m² (0,00 ha)

Gebruikte oppervlakte: 1001,100 m² (2,48 ha)
 POORT : 1000,000 m² (2,28 ha)
 SOORTVERVALVING : 0,000 m² (0,00 ha)
 ONVERVALVING : 0,000 m² (0,00 ha)

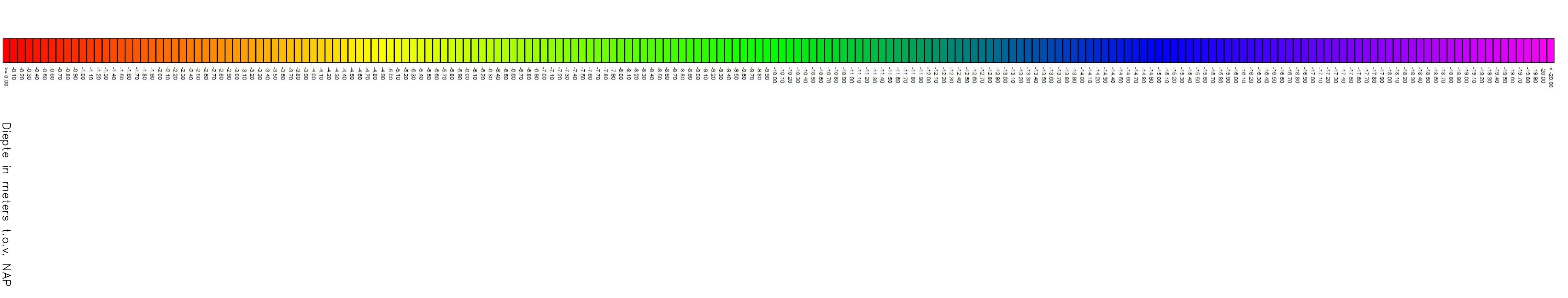
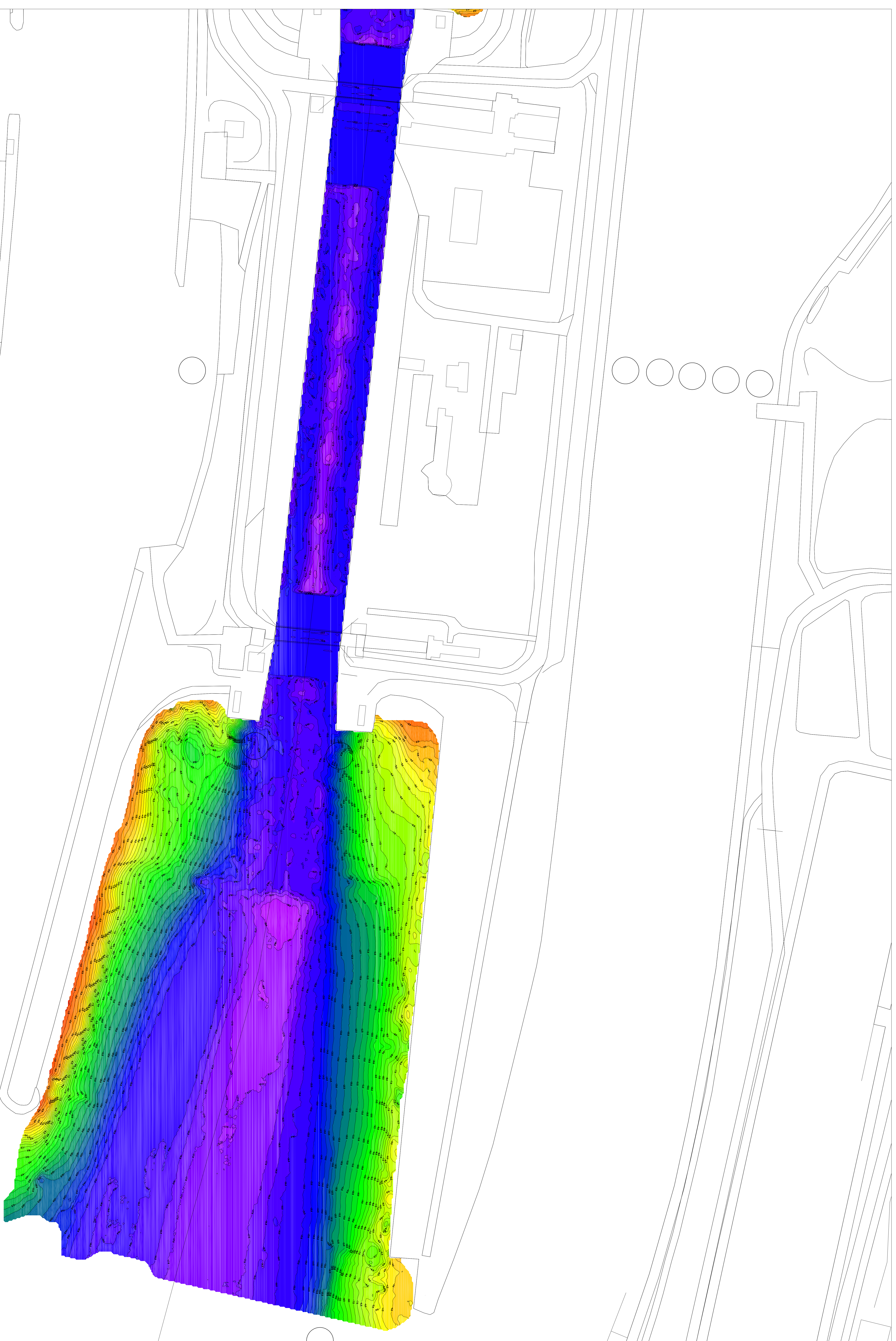
OPMERKINGEN: 1. GEDEELTE RIJST
 2. RIJST
 3. RIJST
 4. RIJST
 5. RIJST
 6. RIJST
 7. RIJST
 8. RIJST
 9. RIJST
 10. RIJST
 11. RIJST
 12. RIJST
 13. RIJST
 14. RIJST
 15. RIJST
 16. RIJST
 17. RIJST
 18. RIJST
 19. RIJST
 20. RIJST
 21. RIJST
 22. RIJST
 23. RIJST
 24. RIJST
 25. RIJST
 26. RIJST
 27. RIJST
 28. RIJST
 29. RIJST
 30. RIJST
 31. RIJST
 32. RIJST
 33. RIJST
 34. RIJST
 35. RIJST
 36. RIJST
 37. RIJST
 38. RIJST
 39. RIJST
 40. RIJST
 41. RIJST
 42. RIJST
 43. RIJST
 44. RIJST
 45. RIJST
 46. RIJST
 47. RIJST
 48. RIJST
 49. RIJST
 50. RIJST
 51. RIJST
 52. RIJST
 53. RIJST
 54. RIJST
 55. RIJST
 56. RIJST
 57. RIJST
 58. RIJST
 59. RIJST
 60. RIJST
 61. RIJST
 62. RIJST
 63. RIJST
 64. RIJST
 65. RIJST
 66. RIJST
 67. RIJST
 68. RIJST
 69. RIJST
 70. RIJST
 71. RIJST
 72. RIJST
 73. RIJST
 74. RIJST
 75. RIJST
 76. RIJST
 77. RIJST
 78. RIJST
 79. RIJST
 80. RIJST
 81. RIJST
 82. RIJST
 83. RIJST
 84. RIJST
 85. RIJST
 86. RIJST
 87. RIJST
 88. RIJST
 89. RIJST
 90. RIJST
 91. RIJST
 92. RIJST
 93. RIJST
 94. RIJST
 95. RIJST
 96. RIJST
 97. RIJST
 98. RIJST
 99. RIJST
 100. RIJST



Hauvelman Ibis
 Adviesgroep

Opdrachtgever: **BOONBEST** adviesgroep
 Project: Peilwerk IJnuiden
 onderwerp: Contourtekening Noorderzijluis

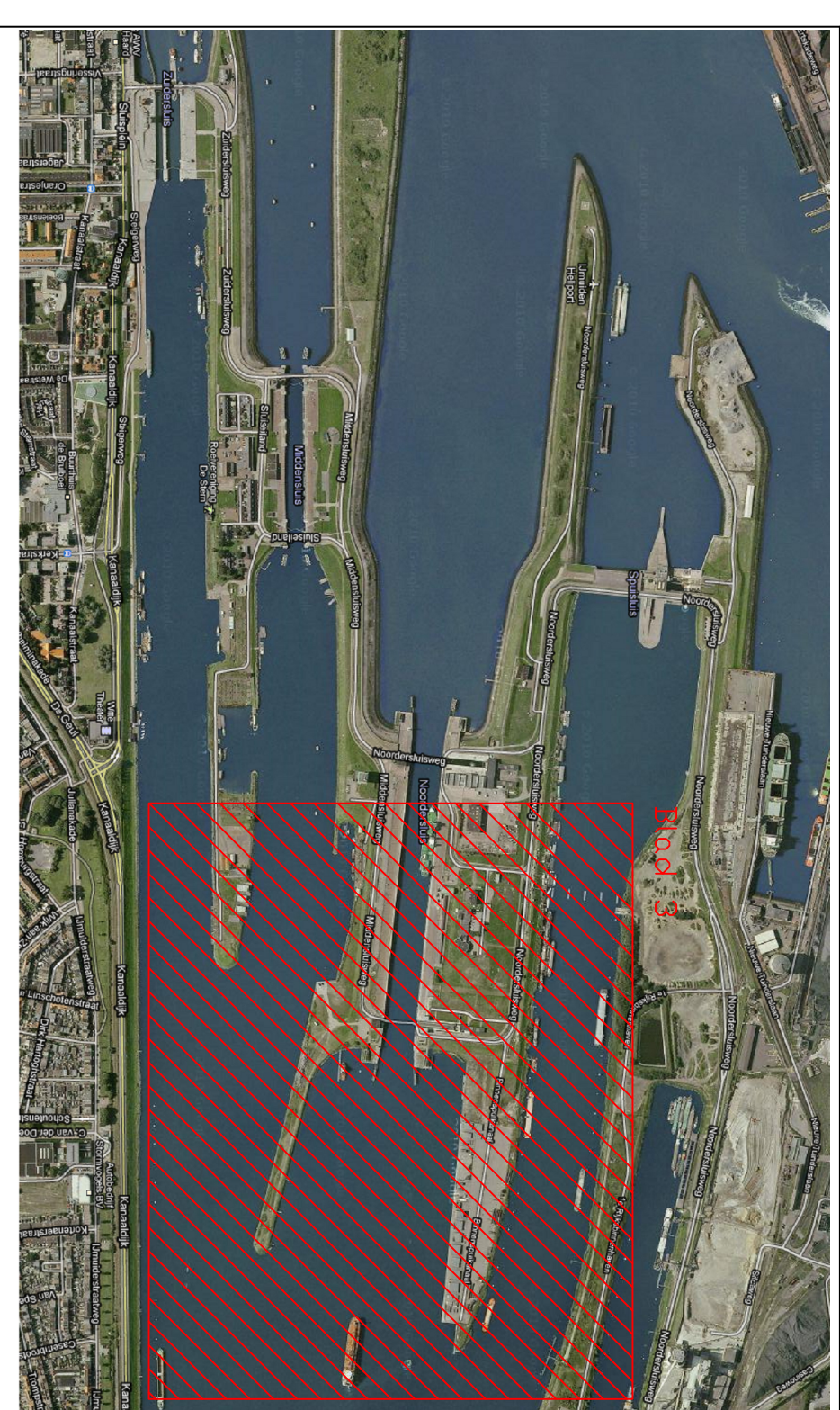
Titel	Blad 2 van 8
Project	Peilwerk IJnuiden
Bestandnummer	00
Bestandnaam	Contourtekening Noorderzijluis
Maatstaf	1:1000
Maat	1000,000 m
Opdrachtgever	BOONBEST adviesgroep
Project	Peilwerk IJnuiden
Onderwerp	Contourtekening Noorderzijluis
Datum	17 mei 2011
Tijd	17:00
Plaats	1000,000 m
Opdrachtgever	BOONBEST adviesgroep
Project	Peilwerk IJnuiden
Onderwerp	Contourtekening Noorderzijluis



Opmerkingen:
 Dit plan is een ontwerp.
 Het is niet bedoeld als bouwplan.
 Het is niet bedoeld als juridisch document.
 Het is niet bedoeld als garantie.
 Het is niet bedoeld als aansprakelijkheid.

Gebruikte opmerkingen:
 1. Het ontwerp is gebaseerd op de bestaande situatie.
 2. Het ontwerp is gebaseerd op de bestaande situatie.
 3. Het ontwerp is gebaseerd op de bestaande situatie.

Opmerkingen:
 Dit plan is een ontwerp.
 Het is niet bedoeld als bouwplan.
 Het is niet bedoeld als juridisch document.
 Het is niet bedoeld als garantie.
 Het is niet bedoeld als aansprakelijkheid.



Hauvelman Ibis
 Adviesgroep

adviesgroep

Project: Peilwerk IJnuiden
 onderwerp: Contourtekening Noorderzijluis

Titel	Blad 3 van 8	Maat	A0
Project	Peilwerk IJnuiden	Maat	A0
Bestand	00	datum	17 mei 2011
versie	1.0000	gemaakt	17 mei 2011
		gewijzigd	17 mei 2011

Bijlage 6 Rekensheets





Rekensheets scheepsgolven



Scheepsgolven aan de Noordzeezijde - maximaal schutpeil

project: Zeetoegang IJmond
 objectnaam: Noordersluis
 objectcode: 25A-001-01
 datum: 5 juli 2011


Maximum-vaarsnelheid en resulterende golfhoogtes in kanaal (Rock manual 4.3.4)
invoer:

L_s	125,00 m	lengte schip	
b_s	21,00 m	breedte schip	
d_s	8,00 m	diepgang schip	
b_k	250,00 m	breedte vaarweg	
h_k	3,40 m+NAP	waterspiegelniveau	
z_d	-15,50 m+NAP	bodemniveau	
talud oeverbescherming bakboord	3,00 -	(1:x)	
talud oeverbescherming stuurboord	3,00 -	(1:x)	
C_m	0,80 -	coëfficiënt doorsnede van schip binnenvaart/zeeschepen	0,9-1,0 / 0,7-0,9
coëfficiënt geladen/ongeladen	0,90 -	geladen/ongeladen	0,75 / 0,9
g	9,81 m/s ²	versnelling zwaartekracht	
y_s	0,00 m	excentriciteit schip tov as van de vaarweg	

hulpparameters:

A_s	134,40 m ²	natte doorsnede schip	
A_k	3653,37 m ²	natte doorsnede kanaalprofiel	OK
A_s/A_k	0,04 -	natte doorsnede schip / doorsnede kanaal	
F_L	0,77 -	factor van de grenssnelheid	
b_k/L_s	2,00 -	breedte kanaal / lengte schip	
A_w^*	0,00 -	excentriciteit	
α_s	1,18 -	coëfficiënt vaarsnelheid tov grenssnelheid	
y_s	114,50 m	afstand schip tot de oever	

uitvoer:
Vaarsnelheid

v_g	9,20 m/s	grenssnelheid
v_s	5,00 m/s	werkelijke vaarsnelheid

Waterspiegeldaling

Δh	0,35 m	gemiddelde waterspiegeldaling
$\Delta \hat{h}$	0,35 m	maximale waterspiegeldaling
u_r	0,19 m/s	gemiddelde retourstroomsnelheid
Δh_f	0,39 m	boeggolf
z_{max}	0,53 m	hekgolf

Secundaire golven als geldt $v_s / \sqrt{gh} < 0,8$ OK

H_i	0,23 m	golfhoogte
L_i	10,70 m	golflengte
T_i	2,60 s	golfperiode

Scheepsgolven aan de Noordzeezijde - maximaal schutpeil

project: Zeetoegang IJmond
 objectnaam: Noordersluis
 objectcode: 25A-001-01
 datum: 5 juli 2011



Maximum-vaarsnelheid en resulterende golfhoogtes in kanaal (Rock manual 4.3.4)

invoer:

L_s	37,40 m	lengte schip	
b_s	11,00 m	breedte schip	
d_s	4,75 m	diepgang schip	
b_k	250,00 m	breedte vaarweg	
h_k	3,40 m+NAP	waterspiegelniveau	
z_d	-15,50 m+NAP	bodemniveau	
talud oeverbescherming bakboord	3,00 -	(1:x)	
talud oeverbescherming stuurboord	3,00 -	(1:x)	
C_m	0,80 -	coëfficiënt doorsnede van schip binnenvaart/zeeschepen	0,9-1,0 / 0,7-0,9
coëfficiënt geladen/ongeladen	0,90 -	geladen/ongeladen	0,75 / 0,9
g	9,81 m/s ²	versnelling zwaartekracht	
y_s	0,00 m	excentriciteit schip tov as van de vaarweg	

hulpparameters:

A_s	41,80 m ²	natte doorsnede schip	
A_k	3653,37 m ²	natte doorsnede kanaalprofiel	OK
A_s/A_k	0,01 -	natte doorsnede schip / doorsnede kanaal	
F_L	0,87 -	factor van de grenssnelheid	
b_k/L_s	6,68 -	breedte kanaal / lengte schip	
A_w^*	0,00 -	excentriciteit	
α_s	1,04 -	coëfficiënt vaarsnelheid tov grenssnelheid	
y_s	119,50 m	afstand schip tot de oever	

uitvoer:

Vaarsnelheid

v_g	7,64 m/s	grenssnelheid
v_s	6,88 m/s	werkelijke vaarsnelheid

Waterspiegeldaling

Δh	0,15 m	gemiddelde waterspiegeldaling
$\Delta \hat{h}$	0,15 m	maximale waterspiegeldaling
u_r	0,08 m/s	gemiddelde retourstroomsnelheid
Δh_f	0,17 m	boeggolf
z_{max}	0,23 m	hekgolf

Secundaire golven als geldt $v_s / \sqrt{gh} < 0,8$ OK

H_i	0,80 m	golfhoogte
L_i	20,25 m	golflengte
T_i	3,58 s	golfperiode

Scheepsgolven aan de Noordzezijde - kanaalpeil

project: Zeetoegang IJmond
 objectnaam: Noordersluis
 objectcode: 25A-001-01
 datum: 5 juli 2011



Maximum-vaarsnelheid en resulterende golfhoogtes in kanaal (Rock manual 4.3.4)

invoer:

L_s	125,00 m	lengte schip	
b_s	21,00 m	breedte schip	
d_s	8,00 m	diepgang schip	
b_k	250,00 m	breedte vaarweg	
h_k	-0,40 m+NAP	waterspiegelniveau	
z_d	-15,50 m+NAP	bodemniveau	
talud oeverbescherming bakboord	3,00 -	(1:x)	
talud oeverbescherming stuurboord	3,00 -	(1:x)	
C_m	0,80 -	coëfficiënt doorsnede van schip binnenvaart/zeeschepen	0,9-1,0 / 0,7-0,9
coëfficiënt geladen/ongeladen	0,90 -	geladen/ongeladen	0,75 / 0,9
g	9,81 m/s ²	versnelling zwaartekracht	
y_s	0,00 m	excentriciteit schip tov as van de vaarweg	

hulpparameters:

A_s	134,40 m ²	natte doorsnede schip	
A_k	3090,97 m ²	natte doorsnede kanaalprofiel	OK
A_s/A_k	0,04 -	natte doorsnede schip / doorsnede kanaal	
F_L	0,75 -	factor van de grenssnelheid	
b_k/L_s	2,00 -	breedte kanaal / lengte schip	
A_w^*	0,00 -	excentriciteit	
α_s	1,16 -	coëfficiënt vaarsnelheid tov grenssnelheid	
y_s	114,50 m	afstand schip tot de oever	

uitvoer:

Vaarsnelheid

v_g	8,25 m/s	grenssnelheid
v_s	5,00 m/s	werkelijke vaarsnelheid

Waterspiegeldaling

Δh	0,34 m	gemiddelde waterspiegeldaling
$\Delta \hat{h}$	0,34 m	maximale waterspiegeldaling
u_r	0,23 m/s	gemiddelde retourstroomsnelheid
Δh_f	0,37 m	boeggolf
z_{max}	0,51 m	hekgolf

Secundaire golven als geldt $v_s / \sqrt{gh} < 0,8$ OK

H_i	0,26 m	golfhoogte
L_i	10,70 m	golflengte
T_i	2,60 s	golfperiode

Scheepsgolven aan de Noordzeekanaalzijde - kanaalpeil

project: Zeetoegang IJmond
 objectnaam: Noordersluis
 objectcode: 25A-001-01
 datum: 5 juli 2011


Maximum-vaarsnelheid en resulterende golfhoogtes in kanaal (Rock manual 4.3.4)
invoer:

L_s	37,40 m	lengte schip	
b_s	11,00 m	breedte schip	
d_s	4,75 m	diepgang schip	
b_k	250,00 m	breedte vaarweg	
h_k	-0,40 m+NAP	waterspiegelniveau	
z_d	-15,50 m+NAP	bodemniveau	
talud oeverbescherming bakboord	3,00 -	(1:x)	
talud oeverbescherming stuurboord	3,00 -	(1:x)	
C_m	0,80 -	coëfficiënt doorsnede van schip binnenvaart/zeeschepen	0,9-1,0 / 0,7-0,9
coëfficiënt geladen/ongeladen	0,90 -	geladen/ongeladen	0,75 / 0,9
g	9,81 m/s ²	versnelling zwaartekracht	
y_s	0,00 m	excentriciteit schip tov as van de vaarweg	

hulpparameters:

A_s	41,80 m ²	natte doorsnede schip	
A_k	3090,97 m ²	natte doorsnede kanaalprofiel	OK
A_s/A_k	0,01 -	natte doorsnede schip / doorsnede kanaal	
F_L	0,86 -	factor van de grenssnelheid	
b_k/L_s	6,68 -	breedte kanaal / lengte schip	
A_w^*	0,00 -	excentriciteit	
α_s	1,04 -	coëfficiënt vaarsnelheid tov grenssnelheid	
y_s	119,50 m	afstand schip tot de oever	

uitvoer:
Vaarsnelheid

v_g	7,64 m/s	grenssnelheid
v_s	6,88 m/s	werkelijke vaarsnelheid

Waterspiegeldaling

Δh	0,17 m	gemiddelde waterspiegeldaling
$\Delta \hat{h}$	0,17 m	maximale waterspiegeldaling
u_r	0,09 m/s	gemiddelde retourstroomsnelheid
Δh_f	0,18 m	boeggolf
z_{max}	0,25 m	hekgolf

Secundaire golven als geldt $v_s / \sqrt{gh} < 0,8$ OK

H_i	0,93 m	golfhoogte
L_i	20,25 m	golflengte
T_i	3,58 s	golfperiode



Rekensheets stabiliteit toplaag bodembescherming



Stabiteit toplaag bodembescherming (stortsteen) - Noordzezijde - scheepvaart

project: Zeetoegang IJmond
 objectnaam: Noordersluis
 objectcode: 25A-001-01
 datum: 15 juli 2011

**1 Dieptegemiddelde stroming (Pilarczyk)****(Ontwerp van schutsluizen)***invoer:*

g	9,81 m/s ²	gravitatiesnelheid	
Δ	1,59 -	relatief gewicht steen	
Ψ	0,032 -	Shields-coefficient	
r	0,30 -	turbulentie-intensiteit	(tussen 0,1 en 0,4)
h	15,60 m	waterdiepte	
D _{n50}	0,34 m	diameter stortebed sluis	(uit inspectie)
K _{sl}	1,00 -	hellingsreductiefactor	zie § 16.5.3
ϕ (continue bescherming)	0,75 -	stabilitetsfactor	(continue bescherming)
ϕ (einde bescherming)	1,50 -	stabilitetsfactor	(einde bescherming)
K _t ²	2,14 -	turbulentiefactor	16.26
K _n	0,46 -	snelheidsprofielfactor	16.26

uitvoer:

U (continue bescherming)	3,61 m/s	stroomsnelheid	16.26
U (einde bescherming)	2,56 m/s	stroomsnelheid	16.26

2a Geconcentreerde stroming (vul- en ledigingsstroming)**Shields aangepast voor stralen***invoer:*

r	-	turbulentie-intensiteit	(Ontwerp van schutsluizen)
---	---	-------------------------	----------------------------

uitvoer:

u	- m/s	stroomsnelheid	16.22
---	-------	----------------	-------

2b Geconcentreerde stroming (retourstroming)**Shields aangepast voor stralen***invoer:*

r	0,25 -	turbulentie-intensiteit	(Ontwerp van schutsluizen)
K _t ²	1,60 -	turbulentiefactor	(The Rock Manual)

uitvoer:

U	3,93 m/s	stroomsnelheid	16.22
U (The Rock Manual)	3,64 m/s	stroomsnelheid	5.226

2c Geconcentreerde stroming ((boeg)schroefstraalstroming)*invoer:*

r	0,40 -	turbulentie-intensiteit	(Ontwerp van schutsluizen)
K _t ²	5,20 -	turbulentiefactor	(The Rock Manual)
K _t ²	4,00 -	turbulentiefactor	(The Rock Manual)

uitvoer:

U (Ontwerp van schutsluizen)	3,12 m/s	stroomsnelheid	16.22
U (The Rock Manual)	2,02 m/s	stroomsnelheid	5.226
U (The Rock Manual)	2,30 m/s	stroomsnelheid	5.226

Stabiteit toplaag bodembescherming (stortsteen) - Noordzezijde - vul-/ledig-/spuistroming

project: Zeetoegang IJmond
 objectnaam: Noordersluis
 objectcode: 25A-001-01
 datum: 15 juli 2011

**1 Dieptegemiddelde stroming (Pilarczyk)****(Ontwerp van schutsluizen)***invoer:*

g	9,81 m/s ²	gravitatiesnelheid	
Δ	1,59 -	relatief gewicht steen	
Ψ	0,032 -	Shields-coefficient	
r	0,30 -	turbulentie-intensiteit	(tussen 0,1 en 0,4)
h	13,50 m	waterdiepte	
D _{n50}	0,34 m	diameter stortebed sluis	(uit inspectie)
K _{sl}	1,00 -	hellingsreductiefactor	zie § 16.5.3
ϕ (continue bescherming)	0,75 -	stabilitetsfactor	(continue bescherming)
ϕ (einde bescherming)	1,50 -	stabilitetsfactor	(einde bescherming)
K _t ²	2,14 -	turbulentiefactor	16.26
K _n	0,48 -	snelheidsprofielfactor	16.26

uitvoer:

U (continue bescherming)	3,56 m/s	stroomsnelheid	16.26
U (einde bescherming)	2,52 m/s	stroomsnelheid	16.26

2a Geconcentreerde stroming (vul- en ledigingsstroming)**Shields aangepast voor stralen***invoer:*

r	0,20 -	turbulentie-intensiteit	(Ontwerp van schutsluizen)
r	0,25 -	turbulentie-intensiteit	(Ontwerp van schutsluizen)
r	0,30 -	turbulentie-intensiteit	(Ontwerp van schutsluizen)
r	0,35 -	turbulentie-intensiteit	(Ontwerp van schutsluizen)
r	0,40 -	turbulentie-intensiteit	(Ontwerp van schutsluizen)

uitvoer:

u (r=0,20)	4,19 m/s	stroomsnelheid	16.22
u (r=0,25)	3,83 m/s	stroomsnelheid	16.22
u (r=0,30)	3,53 m/s	stroomsnelheid	16.22
u (r=0,35)	3,27 m/s	stroomsnelheid	16.22
u (r=0,40)	3,05 m/s	stroomsnelheid	16.22

2b Geconcentreerde stroming (retourstroming)**Shields aangepast voor stralen***invoer:*

r	- -	turbulentie-intensiteit	(Ontwerp van schutsluizen)
K _t ²	- -	turbulentiefactor	(The Rock Manual)

uitvoer:

u	- m/s	stroomsnelheid	16.22
U (The Rock Manual)	- m/s	stroomsnelheid	5.226

2c Geconcentreerde stroming ((boeg)schroefstraalstroming)*invoer:*

r	- -	turbulentie-intensiteit	(Ontwerp van schutsluizen)
K _t ²	- -	turbulentiefactor	(The Rock Manual)

uitvoer:

U (Ontwerp van schutsluizen)	- m/s	stroomsnelheid	16.22
U (The Rock Manual)	- m/s	stroomsnelheid	5.226

Rock Manual (formule 5.219)

Toelaatbare stroomsnelheid bij matten/matrasen

Rekenrelatie: Pylarczyk, met speciale factoren (Izbash/Shields)
Toepassingsgebied: horizontaal liggende matten of gabions, maar ook gewoon breuksteen

<u>Invoerparameter</u>	<u>waarde</u>	<u>eenheid</u>	<u>toelichting</u>
g	9,81	[m/s ²]	gravitatiesnelheid
ρ_w	1010	[kg/m ³]	dichtheid water
ρ_s	2650	[kg/m ³]	dichtheid steen
Δ	1,62	[-]	relatieve steendichtheid
h	15,60	[m]	waterdiepte
β_n	1,86	[-]	parameter voor dimensionering van D_n met de relatie van Izbash
Φ_c	1,50	[-]	stabiliteit-factor (m.n. voor randeffecten); zie 1.
ψ_c	0,07	[-]	kritieke schuifspanningsparameter bij begin van beweging; zie 2.
K_t^2	5,20	[-]	factor voor turbulentie of aanpassing van schuifspanning; zie 3.
K_n	0,48	[-]	factor voor ruwheid of stroomsnelheidsprofiel
D_{50}	0,40	[m]	dikte van de blokkenmat of nominale steendiameter; zie 4.

<u>Uitvoer</u>	<u>waarde</u>	<u>eenheid</u>	<u>toelichting</u>
u	2,61	[m/s]	toelaatbare stroomsnelheid

1. Stabiliteit-factor: randen/overgangen (1,0-1,5); continue bodembescherming (0,50-0,75); breuksteen (0,75)
2. 0,05-0,07 voor blokkenmatten en matrassen; 0,07 is aangehouden
3. De turbulentiefactoren uit de Rock Manual worden aangehouden. De relatieve turbulentie-intensiteit van 0,40 is omgerekend m.b.v. formule 5.119
4. Bij losse stenen geldt voor de nominale diameter: $D_n=0,84 \times D_{50}$; voor matten geldt $D=D_{50}$

Toelaatbare stroomsnelheid per belastingsituatie

K_t^2	u [m/s]	toelichting
5,20	2,61	Schroef- en boegschroefstraal
1,60	4,71	Retourstroming
2,86	3,52	Vul-, ledig- en spuistroming





Rekensheets schroefstraalbelasting



Schroefstraal - ZLV (25% vermogen)

project: Zeetoeegang IJmond
objectnaam: Noordersluis
objectcode: 25A-001-01
datum: 15 augustus 2011



1 Eigenschappen uittredende straal

invoer:

P_d	17367,00 kW	aangewend vermogen per schroef
D_p	8,00 m	echte schroefdiameter
ρ	1,022 t/m ³	dichtheid water

Keuzemogelijkheid. Eén 1 toekennen bij de keuze, de overige vakken 0 invullen hulpparameter:

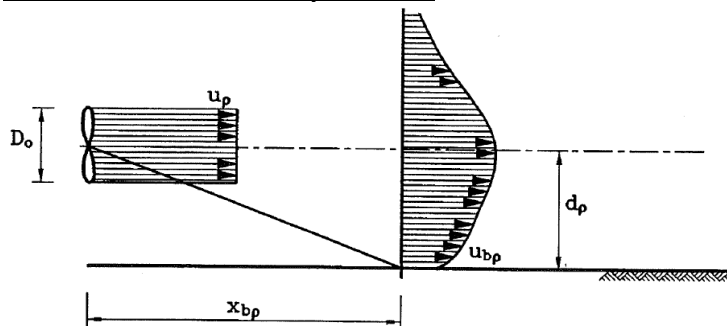
1	zonder straalbuis	0,70
0	schroef in straalbuis	1,00
0	schroef/straalbuis/combinatie	0,85

uitvoer:

D_o	5,60 m	effectieve schroefdiameter	Schutsluizen 16.6abc
u_p	9,38 m/s	stroomsnelheid achter schroef	Rock Manual 4.187

2 Plaats en grootte van maximum-bodemsnelheid

Plaats maximum-snelheid bij de bodem



invoer:

d_p	5,85 m	verticale afstand straalas tot bodem
-------	--------	--------------------------------------

uitvoer:

x_{bp}	32,76 m	horizontale afstand schroef tot plaats	Schutsluizen 16.8
----------	---------	--	-------------------

Grootte van maximum-snelheid bij de bodem

invoer:

n	1,00 -	aantal schroeven
---	--------	------------------

uitvoer:

u_{bp}	2,69 m/s	maximale snelheid boven de bodem	Rock manual	4.190
----------	----------	----------------------------------	-------------	-------

controle:

$U_{bp} \leq U_p$	OK
-------------------	----

3 Grootte snelheid in de straal (boegschroef)

invoer

P_d	2500,00 kW	aangewend boegschroef
-------	------------	-----------------------

D_o	2,90 m	effectieve boegschroefdiameter
-------	--------	--------------------------------

x	20 m	horizontale afstand vanaf de schroef
---	------	--------------------------------------

z	0 m	verticale afstand vanaf de straalas
---	-----	-------------------------------------

uitvoer

u_p	7,62 m/s	stroomsnelheid achter schroef	Rock Manual	4.187
-------	----------	-------------------------------	-------------	-------

$u_p(x)$	3,09 m/s	snelheid langs straalas op afstand x	Rock Manual	4.188
----------	----------	--------------------------------------	-------------	-------

$u_p(x,r)$	3,09 m/s	snelheid op punt (x,z)	Rock Manual	4.189
------------	----------	------------------------	-------------	-------

Schroefstraal - HV (50% vermogen)

project: Zeetoeegang IJmond
objectnaam: Noordersluis
objectcode: 25A-001-01
datum: 5 juli 2011



1 Eigenschappen uittredende straal

invoer:

P_d	34734,00 kW	aangewend vermogen per schroef
D_p	8,00 m	echte schroefdiameter
ρ	1,022 t/m ³	dichtheid water

Keuzemogelijkheid. Eén 1 toekennen bij de keuze, de overige vakken 0 invullen hulpparameter:

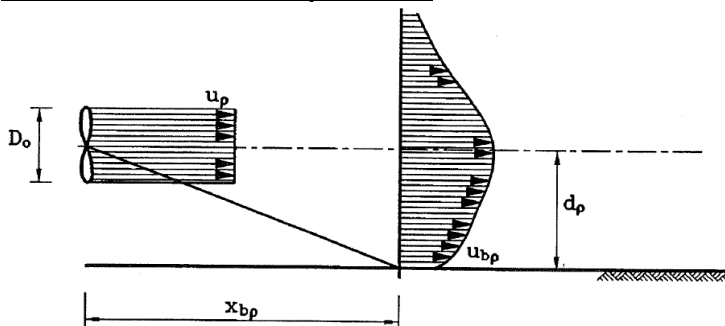
1	zonder straalbuis	0,70
0	schroef in straalbuis	1,00
0	schroef/straalbuis/combinatie	0,85

uitvoer:

D_o	5,60 m	effectieve schroefdiameter	Schutsluizen 16.6abc
u_p	11,81 m/s	stroomsnelheid achter schroef	Rock Manual 4.187

2 Plaats en grootte van maximum-bodemsnelheid

Plaats maximum-snelheid bij de bodem



invoer:

d_p	5,85 m	verticale afstand straalas tot bodem
-------	--------	--------------------------------------

uitvoer:

x_{bp}	32,76 m	horizontale afstand schroef tot plaats	Schutsluizen 16.8
----------	---------	--	-------------------

Grootte van maximum-snelheid bij de bodem

invoer:

n	1,00 -	aantal schroeven
---	--------	------------------

uitvoer:

u_{bp}	3,39 m/s	maximale snelheid boven de bodem	Rock manual	4.190
----------	----------	----------------------------------	-------------	-------

controle:

$U_{bp} \leq U_p$	OK
-------------------	----

3 Grootte snelheid in de straal (boegschroef)

invoer

P_d	2500,00 kW	aangewend boegschroef
D_o	2,90 m	effectieve boegschroefdiameter
x	20 m	horizontale afstand vanaf de schroef
z	0 m	verticale afstand vanaf de straalas

uitvoer

u_p	7,62 m/s	stroomsnelheid achter schroef	Rock Manual	4.187
$u_p(x)$	3,09 m/s	snelheid langs straalas op afstand x	Rock Manual	4.188
$u_p(x,r)$	3,09 m/s	snelheid op punt (x,z)	Rock Manual	4.189

Schroefstraal - ZLV (25% vermogen)

project: Zeetoeegang IJmond
objectnaam: Noordersluis
objectcode: 25A-001-01
datum: 21 oktober 2011



1 Eigenschappen uittredende straal

invoer:

P_d	17367,00 kW	aangewend vermogen per schroef
D_p	8,00 m	echte schroefdiameter
ρ	1,022 t/m ³	dichtheid water

Keuzemogelijkheid. Eén 1 toekennen bij de keuze, de overige vakken 0 invullen hulpparameter:

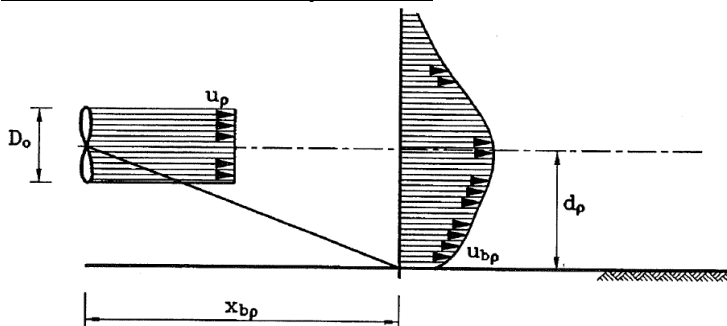
1	zonder straalbuis	0,70
0	schroef in straalbuis	1,00
0	schroef/straalbuis/combinatie	0,85

uitvoer:

D_o	5,60 m	effectieve schroefdiameter	Schutsluizen 16.6abc
u_p	9,38 m/s	stroomsnelheid achter schroef	Rock Manual 4.187

2 Plaats en grootte van maximum-bodemsnelheid

Plaats maximum-snelheid bij de bodem



invoer:

d_p	7,85 m	verticale afstand straalas tot bodem
-------	--------	--------------------------------------

uitvoer:

x_{bp}	43,96 m	horizontale afstand schroef tot plaats	Schutsluizen 16.8
----------	---------	--	-------------------

Grootte van maximum-snelheid bij de bodem

invoer:

n	1,00 -	aantal schroeven
---	--------	------------------

uitvoer:

u_{bp}	2,01 m/s	maximale snelheid boven de bodem	Rock manual	4.190
----------	----------	----------------------------------	-------------	-------

controle:

$U_{bp} \leq U_p$	OK
-------------------	----

3 Grootte snelheid in de straal (boegschroef)

invoer

P_d	2500,00 kW	aangewend boegschroef
-------	------------	-----------------------

D_o	2,90 m	effectieve boegschroefdiameter
-------	--------	--------------------------------

x	20 m	horizontale afstand vanaf de schroef
---	------	--------------------------------------

z	0 m	verticale afstand vanaf de straalas
---	-----	-------------------------------------

uitvoer

u_p	7,62 m/s	stroomsnelheid achter schroef	Rock Manual	4.187
-------	----------	-------------------------------	-------------	-------

$u_p(x)$	3,09 m/s	snelheid langs straalas op afstand x	Rock Manual	4.188
----------	----------	--------------------------------------	-------------	-------

$u_p(x,r)$	3,09 m/s	snelheid op punt (x,z)	Rock Manual	4.189
------------	----------	------------------------	-------------	-------

Schroefstraal - HV (50% vermogen)

project: Zeetogang IJmond
objectnaam: Noordersluis
objectcode: 25A-001-01
datum: 21 oktober 2011



1 Eigenschappen uittredende straal

invoer:

P_d	34734,00 kW	aangewend vermogen per schroef
D_p	8,00 m	echte schroefdiameter
ρ	1,022 t/m ³	dichtheid water

Keuzemogelijkheid. Eén 1 toekennen bij de keuze, de overige vakken 0 invullen hulpparameter:

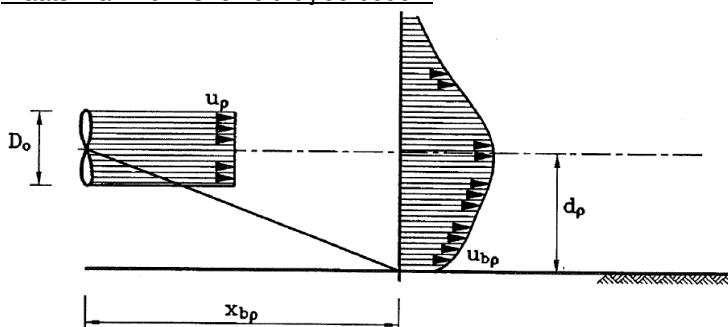
1	zonder straalbuis	0,70
0	schroef in straalbuis	1,00
0	schroef/straalbuis/combinatie	0,85

uitvoer:

D_o	5,60 m	effectieve schroefdiameter	Schutsluizen 16.6abc
u_p	11,81 m/s	stroomsnelheid achter schroef	Rock Manual 4.187

2 Plaats en grootte van maximum-bodemsnelheid

Plaats maximum-snelheid bij de bodem



invoer:

d_p	9,85 m	verticale afstand straalas tot bodem
-------	--------	--------------------------------------

uitvoer:

x_{bp}	55,16 m	horizontale afstand schroef tot plaats	Schutsluizen 16.8
----------	---------	--	-------------------

Grootte van maximum-snelheid bij de bodem

invoer:

n	1,00 -	aantal schroeven
---	--------	------------------

uitvoer:

u_{bp}	2,01 m/s	maximale snelheid boven de bodem	Rock manual	4.190
----------	----------	----------------------------------	-------------	-------

controle:

$U_{bp} \leq U_p$	OK
-------------------	----

3 Grootte snelheid in de straal (boegschroef)

invoer

P_d	2500,00 kW	aangewend boegschroef
-------	------------	-----------------------

D_o	2,90 m	effectieve boegschroefdiameter
-------	--------	--------------------------------

x	20 m	horizontale afstand vanaf de schroef
---	------	--------------------------------------

z	0 m	verticale afstand vanaf de straalas
---	-----	-------------------------------------

uitvoer

u_p	7,62 m/s	stroomsnelheid achter schroef	Rock Manual	4.187
-------	----------	-------------------------------	-------------	-------

$u_p(x)$	3,09 m/s	snelheid langs straalas op afstand x	Rock Manual	4.188
----------	----------	--------------------------------------	-------------	-------

$u_p(x,r)$	3,09 m/s	snelheid op punt (x,z)	Rock Manual	4.189
------------	----------	------------------------	-------------	-------

Schroefstraal - 10,5% vermogen

project: Zeetoeegang IJmond
objectnaam: Noordersluis
objectcode: 25A-001-01
datum: 21 oktober 2011



1 Eigenschappen uittredende straal

invoer:

P_d	7250,00 kW	aangewend vermogen per schroef
D_p	8,00 m	echte schroefdiameter
ρ	1,022 t/m ³	dichtheid water

Keuzemogelijkheid. Eén 1 toekennen bij de keuze, de overige vakken 0 invullen hulpparameter:

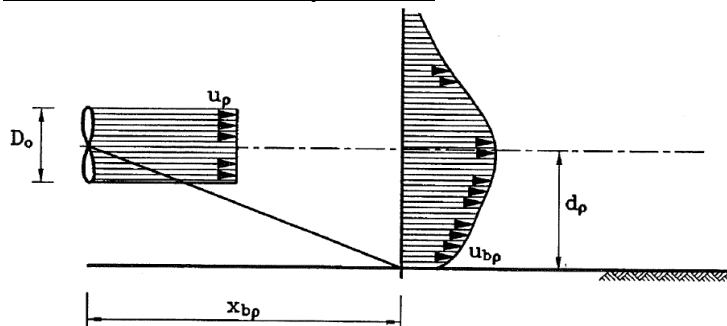
1	zonder straalbuis	0,70
0	schroef in straalbuis	1,00
0	schroef/straalbuis/combinatie	0,85

uitvoer:

D_o	5,60 m	effectieve schroefdiameter	Schutsluizen 16.6abc
u_p	7,01 m/s	stroomsnelheid achter schroef	Rock Manual 4.187

2 Plaats en grootte van maximum-bodemsnelheid

Plaats maximum-snelheid bij de bodem



invoer:

d_p	5,85 m	verticale afstand straalas tot bodem
-------	--------	--------------------------------------

uitvoer:

x_{bp}	32,76 m	horizontale afstand schroef tot plaats	Schutsluizen 16.8
----------	---------	--	-------------------

Grootte van maximum-snelheid bij de bodem

invoer:

n	1,00 -	aantal schroeven
---	--------	------------------

uitvoer:

u_{bp}	2,01 m/s	maximale snelheid boven de bodem	Rock manual	4.190
----------	----------	----------------------------------	-------------	-------

controle:

$U_{bp} \leq U_p$	OK
-------------------	----

3 Grootte snelheid in de straal (boegschroef)

invoer

P_d	2500,00 kW	aangewend boegschroef
D_o	2,90 m	effectieve boegschroefdiameter
x	20 m	horizontale afstand vanaf de schroef
z	0 m	verticale afstand vanaf de straalas

uitvoer

u_p	7,62 m/s	stroomsnelheid achter schroef	Rock Manual	4.187
$u_p(x)$	3,09 m/s	snelheid langs straalas op afstand x	Rock Manual	4.188
$u_p(x,r)$	3,09 m/s	snelheid op punt (x,z)	Rock Manual	4.189

Schroefstraal - ZLV (25% vermogen)

project: Zeetoeegang IJmond
objectnaam: Noordersluis
objectcode: 25A-001-01
datum: 15 augustus 2011



1 Eigenschappen uittredende straal

invoer:

P_d	17367,00 kW	aangewend vermogen per schroef
D_p	8,00 m	echte schroefdiameter
ρ	1,010 t/m ³	dichtheid water

Keuzemogelijkheid. Eén 1 toekennen bij de keuze, de overige vakken 0 invullen hulpparameter:

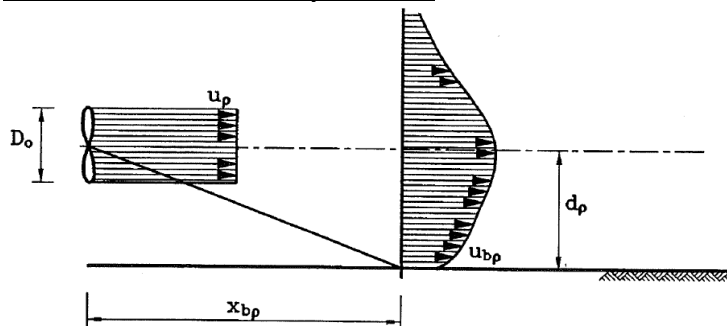
1	zonder straalbuis	0,70
0	schroef in straalbuis	1,00
0	schroef/straalbuis/combinatie	0,85

uitvoer:

D_o	5,60 m	effectieve schroefdiameter	Schutsluizen 16.6abc
u_p	9,41 m/s	stroomsnelheid achter schroef	Rock Manual 4.187

2 Plaats en grootte van maximum-bodemsnelheid

Plaats maximum-snelheid bij de bodem



invoer:

d_p	5,85 m	verticale afstand straalas tot bodem
-------	--------	--------------------------------------

uitvoer:

x_{bp}	32,76 m	horizontale afstand schroef tot plaats	Schutsluizen 16.8
----------	---------	--	-------------------

Grootte van maximum-snelheid bij de bodem

invoer:

n	1,00 -	aantal schroeven
---	--------	------------------

uitvoer:

u_{bp}	2,70 m/s	maximale snelheid boven de bodem	Rock manual	4.190
----------	----------	----------------------------------	-------------	-------

controle:

$U_{bp} \leq U_p$	OK
-------------------	----

3 Grootte snelheid in de straal (boegschroef)

invoer

P_d	2500,00 kW	aangewend boegschroef
-------	------------	-----------------------

D_o	2,90 m	effectieve boegschroefdiameter
-------	--------	--------------------------------

x	20 m	horizontale afstand vanaf de schroef
---	------	--------------------------------------

z	0 m	verticale afstand vanaf de straalas
---	-----	-------------------------------------

uitvoer

u_p	7,65 m/s	stroomsnelheid achter schroef	Rock Manual	4.187
-------	----------	-------------------------------	-------------	-------

$u_p(x)$	3,11 m/s	snelheid langs straalas op afstand x	Rock Manual	4.188
----------	----------	--------------------------------------	-------------	-------

$u_p(x,r)$	3,11 m/s	snelheid op punt (x,z)	Rock Manual	4.189
------------	----------	------------------------	-------------	-------

Schroefstraal - HV (50% vermogen)

project: Zeetogang IJmond
objectnaam: Noordersluis
objectcode: 25A-001-01
datum: 5 juli 2011



1 Eigenschappen uittredende straal

invoer:

P_d	34734,00 kW	aangewend vermogen per schroef
D_p	8,00 m	echte schroefdiameter
ρ	1,010 t/m ³	dichtheid water

Keuzemogelijkheid. Eén 1 toekennen bij de keuze, de overige vakken 0 invullen hulpparameter:

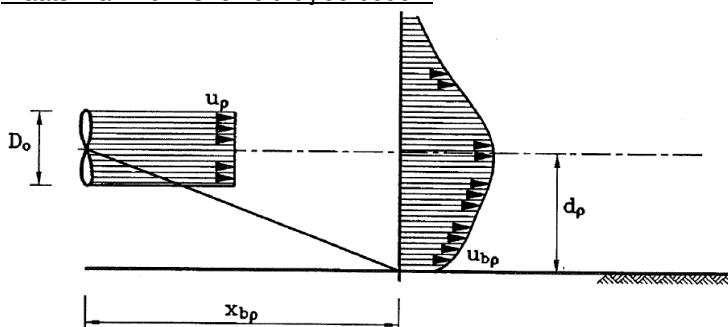
1	zonder straalbuis	0,70
0	schroef in straalbuis	1,00
0	schroef/straalbuis/combinatie	0,85

uitvoer:

D_o	5,60 m	effectieve schroefdiameter	Schutsluizen 16.6abc
u_p	11,86 m/s	stroomsnelheid achter schroef	Rock Manual 4.187

2 Plaats en grootte van maximum-bodemsnelheid

Plaats maximum-snelheid bij de bodem



invoer:

d_p	5,85 m	verticale afstand straalas tot bodem
-------	--------	--------------------------------------

uitvoer:

x_{bp}	32,76 m	horizontale afstand schroef tot plaats	Schutsluizen 16.8
----------	---------	--	-------------------

Grootte van maximum-snelheid bij de bodem

invoer:

n	1,00 -	aantal schroeven
---	--------	------------------

uitvoer:

u_{bp}	3,41 m/s	maximale snelheid boven de bodem	Rock manual	4.190
----------	----------	----------------------------------	-------------	-------

controle:

$U_{bp} \leq U_p$	OK
-------------------	----

3 Grootte snelheid in de straal (boegschroef)

invoer

P_d	2500,00 kW	aangewend boegschroef
-------	------------	-----------------------

D_o	2,90 m	effectieve boegschroefdiameter
-------	--------	--------------------------------

x	20 m	horizontale afstand vanaf de schroef
---	------	--------------------------------------

z	0 m	verticale afstand vanaf de straalas
---	-----	-------------------------------------

uitvoer

u_p	7,65 m/s	stroomsnelheid achter schroef	Rock Manual	4.187
-------	----------	-------------------------------	-------------	-------

$u_p(x)$	3,11 m/s	snelheid langs straalas op afstand x	Rock Manual	4.188
----------	----------	--------------------------------------	-------------	-------

$u_p(x,r)$	3,11 m/s	snelheid op punt (x,z)	Rock Manual	4.189
------------	----------	------------------------	-------------	-------



Rekensheet retourstroming



Retourstroming - Noordzezijde

project: Zeetogang IJmond
objectnaam: Noordersluis
objectcode: 25A-001-01
datum: 5 juli 2011



1 Maximum-vaarsnelheid in sluismond

invoer:

b_s	42,80 m	breedte schip
d_s	13,75 m	diepgang schip
b_k	50,00 m	breedte kolk
h_k	-0,40 m+NAP	waterspiegelniveau
z_d	-16,00 m+NAP	niveau kolkdrempel
g	9,81 m/s ²	versnelling zwaartekracht

hulpparameter:

A_s	588,50 m ²	doorsnede schip
A_k	780,00 m ²	doorsnede sluisprofiel
A_s/A_k	0,75 -	

uitvoer:

v_g	0,97 m/s	grenssnelheid	16.10
-------	----------	---------------	-------

invoer:

Keuzemogelijkheid. Eén 1 toekennen bij de keuze, de overige vakken 0 invullen of leeglaten.

0	$v_{sMAX} = 1 v_g$
1	$v_{sMAX} = 1,5 v_g$
0	$v_{sMAX} = 2 v_g$

hulpparameter:

1,00	0,20	0,60
1,50	0,25	0,45
2,00	0,35	0,30

uitvoer:

v_{sMAX}	1,46 m/s	maximum-vaarsnelheid	16.11
------------	----------	----------------------	-------

2 Retourstroomsnelheid in sluismond

eerdere in/uitvoer benodigd voor deze berekening:

A_s	588,50 m ²	doorsnede schip
A_k	780,00 m ²	doorsnede sluisprofiel
A_s/A_k	0,75 -	
V_{sMAX}	1,46 m/s	maximum-vaarsnelheid
$V_{smax}=1,5 Vg$		

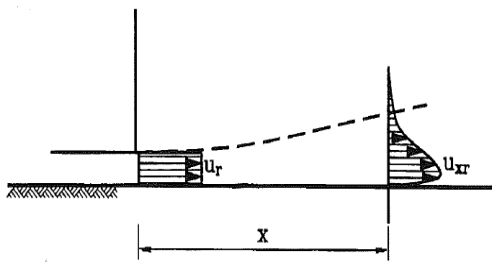
hulpparameter:

β	0,67 -	coefficient
---------	--------	-------------

uitvoer:

u_r	3,03 m/s	retourstroomsnelheid	16.12
-------	----------	----------------------	-------

3 Maximum-snelheid aan de bodem



invoer:

x	100 m	afstand tot sluismond
eerdere in-/uitvoer benodigd voor deze berekening:		
u_r	3,03 m/s	retourstroomsnelheid
h_k	-0,40 m+NAP	waterspiegelniveau
z_d	-16,00 m+NAP	niveau kolkdempel
d_s	13,75 m	diepgang schip

uitvoer:

u_{xr}	1,44 m/s	maximale bodemsnelheid	16.13
----------	----------	------------------------	-------

controle:

$U_{xr} \leq U_r$	OK
-------------------	----



Rekensheets stabiliteit steenzetting op oevers



Stabiliteit steenzetting - Noordzeezijde; basaltzuilen - windgolven

project: Zeetoegang IJmond
 objectnaam: Noordersluis
 objectcode: 25A-001-01
 datum: 15 augustus 2011

**UITDRUKKEN**

$$\frac{H_s}{\Delta D} \leq 6 \xi^{-2/3}$$

Algemene bovengrens van stabiliteit

TR 25 c blz 64

invoer:

ρ_{water}	1022 kg/m ³	dichtheid water
ρ_{steen}	2900 kg/m ³	dichtheid steen
g	9,81 m/s ²	gravitatiesnelheid
y_v	1,5 -	veiligheidsfactor ugt = 1,5 (bgt = 1,0)
H_s	1,45 m	significante golfhoogte
T_p	2,70 s	golf piekperiode
α	26,60 °	lokale taludhelling

uitvoer:

D_{bgt}	0,16 m	dikte toplaag bgt
D_{ugt}	0,25 m	dikte toplaag ugt

hulpparameters:

Δ	1,84 -	relatieve dichtheid steen in water
L_0	11,4 m	golflengte
ξ	1,40 -	brekerparameter
α	0,46 rad	lokale taludhelling in radialen

AFSCHUIVEN

$$\Delta D + b_f + b_k > \min\{0.16 H_s^{0.2} T_p^{1.6} (\tan \alpha)^{0.8}; 1.5 H_s\} - 1334 * (1 - 1.19 * \tan \alpha) D_{15} \sqrt{T_p}$$

TR 25 b blz 92

invoer:

b_f	0,00 m	dikte van de granulaire laag
b_k	0,50 m	dikte van de kleilaag
D_{15}	0,0003 m	representatieve korrelgrootte van het onderliggende zand

eerdere in/uitvoer benodigd voor deze berekening:

D	0,25 m	dikte steenzetting toplaag
Δ	1,84 -	relatieve dichtheid steen in water

uitvoer:

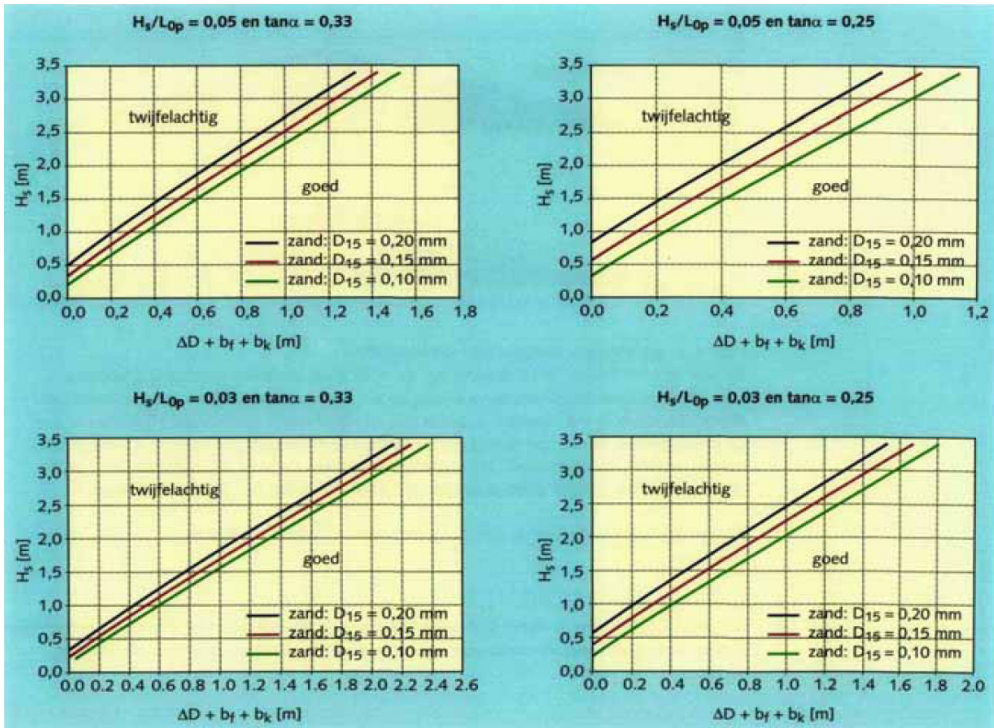
toetsoordeel	goed -	bij ingevoerde dikte van de steenzetting toplaag
D_{benodigd}	-0,13 m	benodigde dikte steenzetting toplaag

hulpparameter:

"rechter lid" 0,26 m

controle:

taludhelling 1: 2,0 mag voor afschuiving niet steiler dan 1:2,7



LANGSSTROMEN

$$\Delta d = (6r + 9r^2) \frac{u^2}{2g}$$

invoer:

D	0,25 m	dikte steenzetting toplaag
u	1,50 m/s	watersnelheid langsstroming
r	0,40 -	turbulentie intensiteit

eedere in/uitvoer benodigd voor deze berekening:

Δ	1,84 -	relatieve dichtheid steen in water
g	9,81 m/s ²	gravitatiesnelheid

uitvoer:

toetsoordeel	goed -	bij ingevoerde dikte van de steenzetting toplaag
D _{benodigd}	0,24 m	benodigde dikte steenzetting toplaag

Stabiliteit steenzetting - Noordzezijde; basaltzuilen - scheepsgolven

project: Zeetoegang IJmond
 objectnaam: Noordersluis
 objectcode: 25A-001-01
 datum: 15 augustus 2011

**UITDRUKKEN**

$$\frac{H_s}{\Delta D} \leq 6 \xi^{-2/3}$$

Algemene bovengrens van stabiliteit

TR 25 c blz 64

invoer:

ρ_{water}	1022 kg/m ³	dichtheid water
ρ_{steen}	2900 kg/m ³	dichtheid steen
g	9,81 m/s ²	gravitatiesnelheid
y_v	1,5 -	veiligheidsfactor ugt = 1,5 (bgt = 1,0)
H_s	1,10 m	significante golfhoogte
T_p	3,58 s	golf piekperiode
α	26,60 °	lokale taludhelling

uitvoer:

D_{bgt}	0,17 m	dikte toplaag bgt
D_{ugt}	0,25 m	dikte toplaag ugt

hulpparameters:

Δ	1,84 -	relatieve dichtheid steen in water
L_0	20,0 m	golflengte
ξ	2,14 -	brekerparameter
α	0,46 rad	lokale taludhelling in radialen

AFSCHUIVEN

$$\Delta D + b_f + b_k > \min \{ 0.16 H_s^{0.2} T_p^{1.6} (\tan \alpha)^{0.8}; 1.5 H_s \} - 1334 * (1 - 1.19 * \tan \alpha) D_{15} \sqrt{T_p}$$

TR 25 b blz 92

invoer:

b_f	0,00 m	dikte van de granulaire laag
b_k	0,50 m	dikte van de kleilaag
D_{15}	0,0003 m	representatieve korrelgrootte van het onderliggende zand

eerdere in/uitvoer benodigd voor deze berekening:

D	0,25 m	dikte steenzetting toplaag
Δ	1,84 -	relatieve dichtheid steen in water

uitvoer:

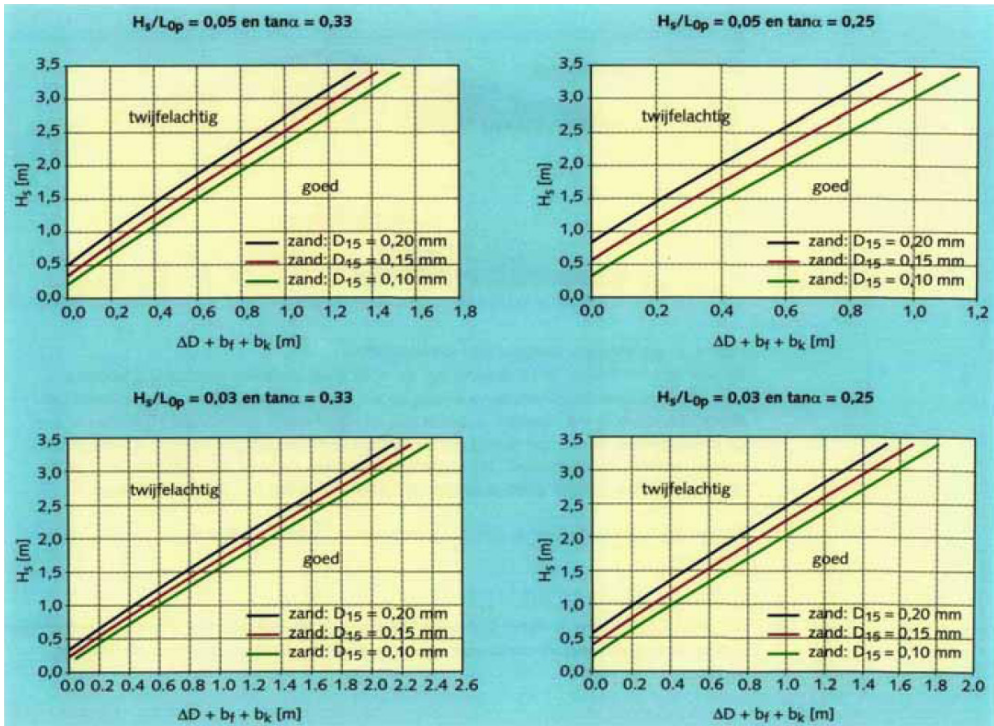
toetsoordeel	goed -	bij ingevoerde dikte van de steenzetting toplaag
D_{benodigd}	-0,02 m	benodigde dikte steenzetting toplaag

hulpparameter:

"rechter lid" 0,47 m

controle:

taludhelling 1: 2,0 mag voor afschuiving niet steiler dan 1:2,7



LANGSSTROMEN

$$\Delta d = (6r + 9r^2) \frac{u^2}{2g}$$

invoer:

D	0,25 m	dikte steenzetting toplaag
u	1,50 m/s	watersnelheid langsstroming
r	0,40 -	turbulentie intensiteit

eerdere in/uitvoer benodigd voor deze berekening:

Δ	1,84 -	relatieve dichtheid steen in water
g	9,81 m/s ²	gravitatiesnelheid

uitvoer:

toetsoordeel	goed -	bij ingevoerde dikte van de steenzetting toplaag
D _{benodigd}	0,24 m	benodigde dikte steenzetting toplaag

Stabiliteit steenzetting - Noordzezijde; basaltzuilen - deining

project: Zeetoegang IJmond
 objectnaam: Noordersluis
 objectcode: 25A-001-01
 datum: 15 juli 2011

**UITDRUKKEN**

$$\frac{H_s}{\Delta D} \leq 6 \xi^{-2/3}$$

Algemene bovengrens van stabiliteit

TR 25 c blz 64

invoer:

ρ_{water}	1022 kg/m ³	dichtheid water
ρ_{steen}	2900 kg/m ³	dichtheid steen
g	9,81 m/s ²	gravitatieversnelling
y_v	1,5 -	veiligheidsfactor ugt = 1,5 (bgt = 1,0)
H_s	0,32 m	significante golfhoogte
T_p	12,50 s	golf piekperiode
α	26,60 °	lokale taludhelling

uitvoer:

D_{bgt}	0,17 m	dikte toplaag bgt
D_{ugt}	0,25 m	dikte toplaag ugt

hulpparameters:

Δ	1,84 -	relatieve dichtheid steen in water
L_0	244,0 m	golflengte
ξ	13,83 -	brekerparameter
α	0,46 rad	lokale taludhelling in radialen

AFSCHUIVEN

$$\Delta D + b_f + b_k > \min\{0.16 H_s^{0.2} T_p^{1.6} (\tan \alpha)^{0.8}; 1.5 H_s\} - 1334 * (1 - 1.19 * \tan \alpha) D_{15} \sqrt{T_p}$$

TR 25 b blz 92

invoer:

b_f	0,00 m	dikte van de granulaire laag
b_k	0,50 m	dikte van de kleilaag
D_{15}	0,0003 m	representatieve korrelgrootte van het onderliggende zand

eerdere in/uitvoer benodigd voor deze berekening:

D	0,25 m	dikte steenzetting toplaag
Δ	1,84 -	relatieve dichtheid steen in water

uitvoer:

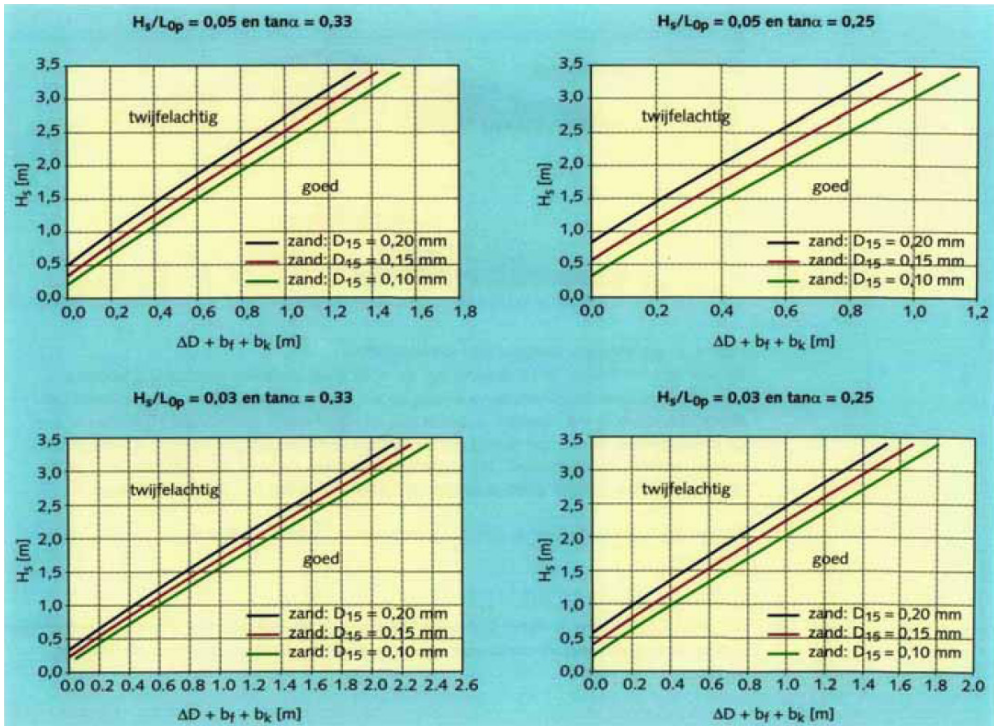
toetsoordeel	goed -	bij ingevoerde dikte van de steenzetting toplaag
D_{benodigd}	-0,27 m	benodigde dikte steenzetting toplaag

hulpparameter:

"rechter lid" 0,00 m

controle:

taludhelling 1: 2,0 mag voor afschuiving niet steiler dan 1:2,7



LANGSSTROMEN

$$\Delta d = (6r + 9r^2) \frac{u^2}{2g}$$

invoer:

D	0,25 m	dikte steenzetting toplaag
u	1,50 m/s	watersnelheid langsstroming
r	0,40 -	turbulentie intensiteit

eedere in/uitvoer benodigd voor deze berekening:

Δ	1,84 -	relatieve dichtheid steen in water
g	9,81 m/s ²	gravitatiesnelheid

uitvoer:

toetsoordeel	goed -	bij ingevoerde dikte van de steenzetting toplaag
$D_{benodigd}$	0,24 m	benodigde dikte steenzetting toplaag

Stabiliteit steenzetting - Noordzezijde; basaltzuilen - windgolven

project: Zeetoegang IJmond
 objectnaam: Noordersluis
 objectcode: 25A-001-01
 datum: 15 augustus 2011

**UITDRUKKEN**

$$\frac{H_s}{\Delta D} \leq 6 \xi^{-2/3}$$

Algemene bovengrens van stabiliteit

TR 25 c blz 64

invoer:

ρ_{water}	1022 kg/m ³	dichtheid water
ρ_{steen}	2300 kg/m ³	dichtheid steen
g	9,81 m/s ²	gravitatiesnelheid
y_v	1,5 -	veiligheidsfactor ugt = 1,5 (bgt = 1,0)
H_s	1,05 m	significante golfhoogte
T_p	2,70 s	golf piekperiode
α	21,80 °	lokale taludhelling

uitvoer:

D_{bgt}	0,17 m	dikte toplaag bgt
D_{ugt}	0,25 m	dikte toplaag ugt

hulpparameters:

Δ	1,25 -	relatieve dichtheid steen in water
L_0	11,4 m	golflengte
ξ	1,32 -	brekerparameter
α	0,38 rad	lokale taludhelling in radialen

AFSCHUIVEN

$$\Delta D + b_f + b_k > \min\{0.16 H_s^{0.2} T_p^{1.6} (\tan \alpha)^{0.8}; 1.5 H_s\} - 1334 * (1 - 1.19 * \tan \alpha) D_{15} \sqrt{T_p}$$

TR 25 b blz 92

invoer:

b_f	0,00 m	dikte van de granulaire laag
b_k	0,50 m	dikte van de kleilaag
D_{15}	0,0003 m	representatieve korrelgrootte van het onderliggende zand

eerdere in/uitvoer benodigd voor deze berekening:

D	0,25 m	dikte steenzetting toplaag
Δ	1,25 -	relatieve dichtheid steen in water

uitvoer:

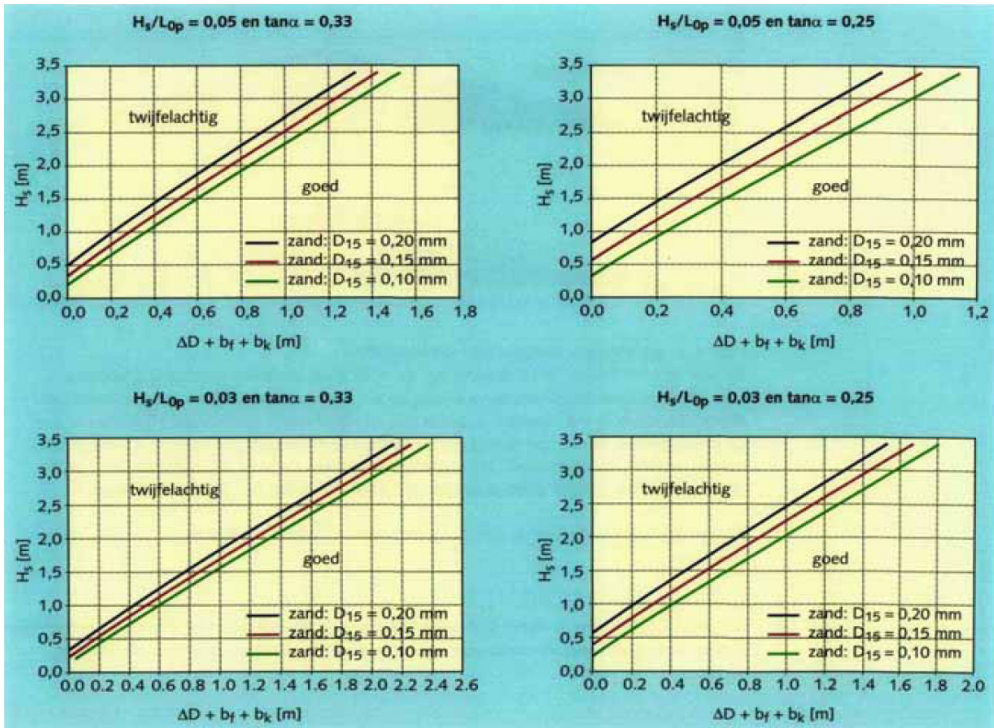
toetsoordeel	goed -	bij ingevoerde dikte van de steenzetting toplaag
D_{benodigd}	-0,33 m	benodigde dikte steenzetting toplaag

hulpparameter:

"rechter lid" 0,09 m

controle:

taludhelling 1: 2,5 mag voor afschuiving niet steiler dan 1:2,7



LANGSSTROMEN

$$\Delta d = (6r + 9r^2) \frac{u^2}{2g}$$

invoer:

D	0,25 m	dikte steenzetting toplaag
u	1,50 m/s	watersnelheid langsstroming
r	0,40 -	turbulentie intensiteit

eerdere in/uitvoer benodigd voor deze berekening:

Δ	1,25 -	relatieve dichtheid steen in water
g	9,81 m/s ²	gravitatiesnelheid

uitvoer:

toetsoordeel	onvoldoende -	bij ingevoerde dikte van de steenzetting toplaag
$D_{benodigd}$	0,35 m	benodigde dikte steenzetting toplaag

Stabiliteit steenzetting - Noordzezijde; basaltzuilen - scheepsgolven

project: Zeetoegang IJmond
 objectnaam: Noordersluis
 objectcode: 25A-001-01
 datum: 15 augustus 2011



UITDRUKKEN

$$\frac{H_s}{\Delta D} \leq 6 \xi^{-2/3}$$

Algemene bovengrens van stabiliteit

TR 25 c blz 64

invoer:

ρ_{water}	1022 kg/m ³	dichtheid water
ρ_{steen}	2300 kg/m ³	dichtheid steen
g	9,81 m/s ²	gravitatiesnelheid
y_v	1,5 -	veiligheidsfactor ugt = 1,5 (bgt = 1,0)
H_s	0,80 m	significante golfhoogte
T_p	3,58 s	golf piekperiode
α	21,80 °	lokale taludhelling

uitvoer:

D_{bgt}	0,17 m	dikte toplaag bgt
D_{ugt}	0,25 m	dikte toplaag ugt

hulpparameters:

Δ	1,25 -	relatieve dichtheid steen in water
L_0	20,0 m	golflengte
ξ	2,00 -	brekerparameter
α	0,38 rad	lokale taludhelling in radialen

AFSCHUIVEN

$$\Delta D + b_f + b_k > \min \{ 0.16 H_s^{0.2} T_p^{1.6} (\tan \alpha)^{0.8}; 1.5 H_s \} - 1334 * (1 - 1.19 * \tan \alpha) D_{15} \sqrt{T_p}$$

TR 25 b blz 92

invoer:

b_f	0,00 m	dikte van de granulaire laag
b_k	0,50 m	dikte van de kleilaag
D_{15}	0,0003 m	representatieve korrelgrootte van het onderliggende zand

eerdere in/uitvoer benodigd voor deze berekening:

D	0,25 m	dikte steenzetting toplaag
Δ	1,25 -	relatieve dichtheid steen in water

uitvoer:

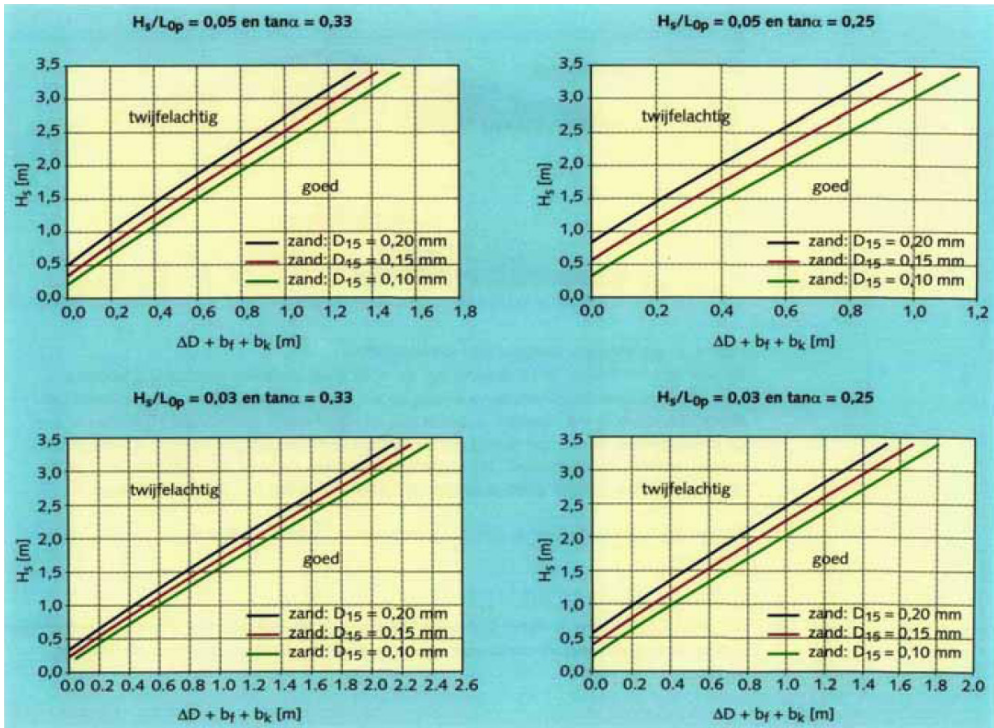
toetsoordeel	goed -	bij ingevoerde dikte van de steenzetting toplaag
D_{benodigd}	-0,21 m	benodigde dikte steenzetting toplaag

hulpparameter:

"rechter lid" 0,24 m

controle:

taludhelling 1: 2,5 mag voor afschuiving niet steiler dan 1:2,7



LANGSSTROMEN

$$\Delta d = (6r + 9r^2) \frac{u^2}{2g}$$

invoer:

D	0,25 m	dikte steenzetting toplaag
u	1,50 m/s	watersnelheid langsstroming
r	0,40 -	turbulentie intensiteit

eerdere in/uitvoer benodigd voor deze berekening:

Δ	1,25 -	relatieve dichtheid steen in water
g	9,81 m/s ²	gravitatiesnelheid

uitvoer:

toetsoordeel	onvoldoende -	bij ingevoerde dikte van de steenzetting toplaag
$D_{benodigd}$	0,35 m	benodigde dikte steenzetting toplaag

Stabiliteit steenzetting - Noordzezijde; basalt - deining

project: Zeetoegang IJmond
 objectnaam: Noordersluis
 objectcode: 25A-001-01
 datum: 15 juli 2011

**UITDRUKKEN**

$$\frac{H_s}{\Delta D} \leq 6 \xi^{-2/3}$$

Algemene bovengrens van stabiliteit

TR 25 c blz 64

invoer:

ρ_{water}	1022 kg/m ³	dichtheid water
ρ_{steen}	2300 kg/m ³	dichtheid steen
g	9,81 m/s ²	gravitatieversnelling
γ_v	1,5 -	veiligheidsfactor ugt = 1,5 (bgt = 1,0)
H_s	0,22 m	significante golfhoogte
T_p	12,50 s	golf piekperiode
α	21,80 °	lokale taludhelling

uitvoer:

D_{bgt}	0,16 m	dikte toplaag bgt
D_{ugt}	0,25 m	dikte toplaag ugt

hulpparameters:

Δ	1,25 -	relatieve dichtheid steen in water
L_0	244,0 m	golflengte
ξ	13,32 -	brekerparameter
α	0,38 rad	lokale taludhelling in radialen

AFSCHUIVEN

$$\Delta D + b_f + b_k > \min\{0.16 H_s^{0.2} T_p^{1.6} (\tan \alpha)^{0.8}; 1.5 H_s\} - 1334 * (1 - 1.19 * \tan \alpha) D_{15} \sqrt{T_p}$$

TR 25 b blz 92

invoer:

b_f	0,00 m	dikte van de granulaire laag
b_k	0,50 m	dikte van de kleilaag
D_{15}	0,0003 m	representatieve korrelgrootte van het onderliggende zand

eerdere in/uitvoer benodigd voor deze berekening:

D	0,25 m	dikte steenzetting toplaag
Δ	1,25 -	relatieve dichtheid steen in water

uitvoer:

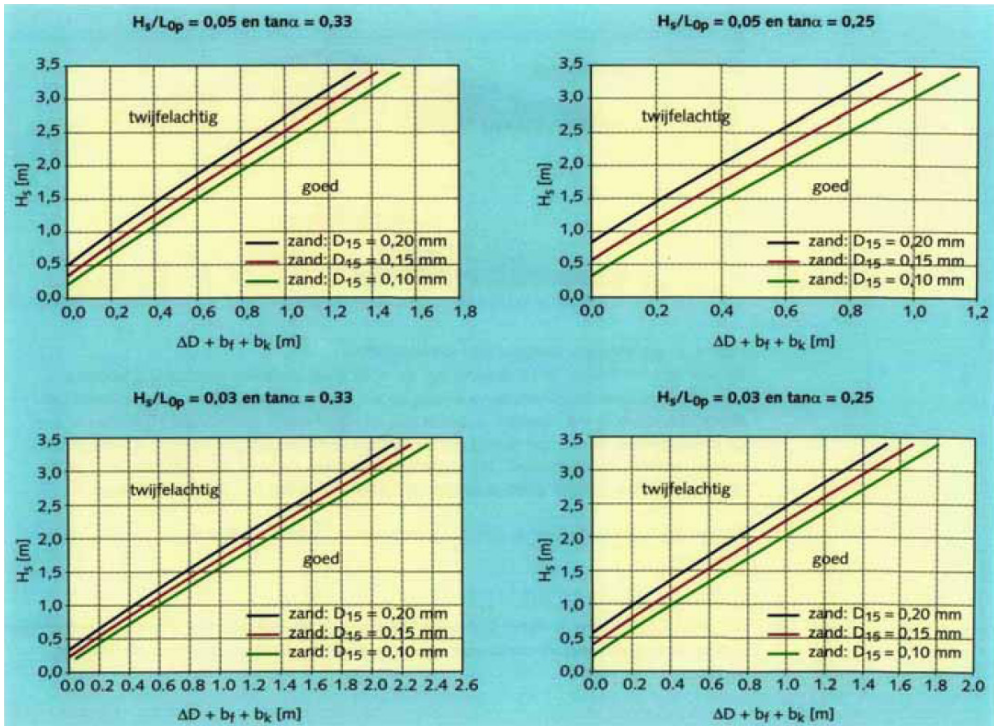
toetsoordeel	goed -	bij ingevoerde dikte van de steenzetting toplaag
D_{benodigd}	-0,63 m	benodigde dikte steenzetting toplaag

hulpparameter:

"rechter lid" -0,29 m

controle:

taludhelling 1: 2,5 mag voor afschuiving niet steiler dan 1:2,7



LANGSSTROMEN

$$\Delta d = (6r + 9r^2) \frac{u^2}{2g}$$

invoer:

D	0,25 m	dikte steenzetting toplaag
u	1,50 m/s	watersnelheid langsstroming
r	0,40 -	turbulentie intensiteit

eedere in/uitvoer benodigd voor deze berekening:

Δ	1,25 -	relatieve dichtheid steen in water
g	9,81 m/s ²	gravitatiesnelheid

uitvoer:

toetsoordeel	onvoldoende -	bij ingevoerde dikte van de steenzetting toplaag
$D_{benodigd}$	0,35 m	benodigde dikte steenzetting toplaag



Rekensheets stabiliteit stortsteen op oevers



Stabiliteit Van der Meer - Noordzeezijde - windgolven

project: Zeetoeegang IJmond
objectnaam: Noordersluis
objectcode: 25A-001-01
datum: 15 augustus 2011



Stabiliteit tegen sloopgolven

vergelijking 5.143 van The Rock Manual

$$\frac{H_{2\%}}{\Delta D_{n50}} = 8,2 P^{0,18} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0,2} \xi^{-0,5}$$

invoer:

$H_{2\%}$	2,50 m	golfhoogte
T	2,70 s	golfperiode
ρ_{water}	1022 kg/m ³	dichtheid water
ρ_{steen}	2650 kg/m ³	dichtheid steen toplaag
D_{n50}	0,34 m	nominale steendiameter
P	0,1 -	fictieve doorlatendheid 0,1 - 0,6, zie figuur 5.39 van The Rock Manual
S_d a priori	8 -	schadegetal, zie tabel 5.23 van The Rock Manual
N	2000 -	aantal golven zie § 5.2.2.2 van The Rock Manual
$\cot(\alpha)$	3,0 -	taludhelling
g	9,81 m/s ²	valversnelling

uitvoer:

D_{n50} benodigd	0,34 m	benodigde nominale dikte breuksteen obv S_d
--------------------	--------	---

hulpparameter:

Δ	1,59 -	relatieve dichtheid
ξ	0,71	Iribarren getal

Stabiliteit Van der Meer - Noordzeezijde - scheepsgolven

project: Zeetoeegang IJmond
objectnaam: Noordersluis
objectcode: 25A-001-01
datum: 15 augustus 2011



Stabiliteit tegen scheepsgolven

vergelijking 5.143 van The Rock Manual

$$\frac{H_{2\%}}{\Delta D_{n50}} = 8,2 P^{0,18} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0,2} \xi^{-0,5}$$

invoer:

H _{2%}	2,00 m	golfhoogte
T	3,58 s	golfperiode
ρ _{water}	1022 kg/m ³	dichtheid water
ρ _{steen}	2650 kg/m ³	dichtheid steen toplaag
D _{n50}	0,34 m	nominale steendiameter
P	0,1 -	fictieve doorlatendheid 0,1 - 0,6, zie figuur 5.39 van The Rock Manual
S _{d a priori}	8 -	schadegetal, zie tabel 5.23 van The Rock Manual
N	2000 -	aantal golven zie § 5.2.2.2 van The Rock Manual
cot(α)	3,0 -	taludhelling
g	9,81 m/s ²	valversnelling

uitvoer:

D _{n50} benodigd	0,34 m	benodigde nominale dikte breuksteen obv S _d
---------------------------	--------	--

hulpparameter:

Δ	1,59 -	relatieve dichtheid
ξ	1,05	Iribarren getal

Stabiliteit Van der Meer - Noordzeezijde - deining

project: Zeetoeegang IJmond
objectnaam: Noordersluis
objectcode: 25A-001-01
datum: 15 augustus 2011



Stabiliteit tegen scheepsgolven

vergelijking 5.143 van The Rock Manual

$$\frac{H_{2\%}}{\Delta D_{n50}} = 8,2 P^{0,18} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0,2} \xi^{-0,5}$$

invoer:

H _{2%}	0,90 m	golfhoogte
T	12,50 s	golfperiode
ρ _{water}	1022 kg/m ³	dichtheid water
ρ _{steen}	2650 kg/m ³	dichtheid steen toplaag
D _{n50}	0,34 m	nominale steendiameter
P	0,1 -	fictieve doorlatendheid 0,1 - 0,6, zie figuur 5.39 van The Rock Manual
S _{d a priori}	8 -	schadegetal, zie tabel 5.23 van The Rock Manual
N	2000 -	aantal golven zie § 5.2.2.2 van The Rock Manual
cot(α)	3,0 -	taludhelling
g	9,81 m/s ²	valversnelling

uitvoer:

D _{n50} benodigd	0,34 m	benodigde nominale dikte breuksteen obv S _d
---------------------------	--------	--

hulpparameter:

Δ	1,59 -	relatieve dichtheid
ξ	5,49	Iribarren getal

Stabiliteit Van der Meer - Noordzeekanaalzijde - wind

project: Zeetoeegang IJmond
objectnaam: Noordersluis
objectcode: 25A-001-01
datum: 24 oktober 2011



Stabiliteit tegen scheepsgolven

vergelijking 5.143 van The Rock Manual

$$\frac{H_{2\%}}{\Delta D_{n50}} = 8,2 P^{0,18} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0,2} \xi^{-0,5}$$

invoer:

H _{2%}	1,30 m	golfhoogte
T	2,30 s	golfperiode
ρ _{water}	1000 kg/m ³	dichtheid water
ρ _{steen}	2650 kg/m ³	dichtheid steen toplaag
D _{n50}	0,23 m	nominale steendiameter
P	0,10 -	fictieve doorlatendheid 0,1 - 0,6, zie figuur 5.39 van The Rock Manual
S _{d a priori}	8 -	schadegetal, zie tabel 5.23 van The Rock Manual
N	2000 -	aantal golven zie § 5.2.2.2 van The Rock Manual
cot(α)	2,0 -	taludhelling
g	9,81 m/s ²	valversnelling

uitvoer:

D _{n50 benodigd}	0,23 m	benodigde nominale dikte breuksteen obv S _d
---------------------------	--------	--

hulpparameter:

Δ	1,65 -	relatieve dichtheid
ξ	1,26	Iribarren getal

Stabiliteit Van der Meer - Noordzeekanaalzijde - schepen

project: Zeetoeegang IJmond
objectnaam: Noordersluis
objectcode: 25A-001-01
datum: 24 oktober 2011



Stabiliteit tegen scheepsgolven

vergelijking 5.143 van The Rock Manual

$$\frac{H_{2\%}}{\Delta D_{n50}} = 8,2 P^{0,18} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0,2} \xi^{-0,5}$$

invoer:

H _{2%}	0,99 m	golfhoogte
T	3,58 s	golfperiode
ρ _{water}	1000 kg/m ³	dichtheid water
ρ _{steen}	2650 kg/m ³	dichtheid steen toplaag
D _{n50}	0,23 m	nominale steendiameter
P	0,10 -	fictieve doorlatendheid 0,1 - 0,6, zie figuur 5.39 van The Rock Manual
S _{d a priori}	8 -	schadegetal, zie tabel 5.23 van The Rock Manual
N	2000 -	aantal golven zie § 5.2.2.2 van The Rock Manual
cot(α)	2,0 -	taludhelling
g	9,81 m/s ²	valversnelling

uitvoer:

D _{n50} benodigd	0,23 m	benodigde nominale dikte breuksteen obv S _d
---------------------------	--------	--

hulpparameter:

Δ	1,65 -	relatieve dichtheid
ξ	2,25	Iribarren getal



Bijlage 7 Specificaties werkzaamheden NOMO AOV



34.1

NOORDERSLUIS te IJMUIDEN

34.1.1 *Algemeen*

1. De werkzaamheden betreffen conservering van zowel het inwendige (zoals drijfkisten, afgesloten compartimenten) als uitwendige onderdelen van de sluisdeuren van de Noordersluis te IJmuiden, in aanmerking nemende dat:
 - Een wisseling van de sluisdeuren Binnenhoofd Oost en Buitenhoofd West plaatsvindt in 2012
 - Roldeur 1 in bedrijf is op het Buitenhoofd West en voor het laatst is geconserveerd in 2005, conserveringssysteem DTM;
 - Roldeur 2 droog staat in het deurendok, Buitenhoofd Oost Deze is schoongespoten en in 2003/2004 voor het laatst is geconserveerd, conserveringssysteem DTM;
 - Roldeur 3 in bedrijf is op het Binnenhoofd. Deze is in 2007 voor het laatst geconserveerd, conserveringssysteem Sigmacover;
 - Roldeur 4 niet behoort tot de scope van dit contract;
 - Rolwagens 1 en 2 in bedrijf zijn in het Buitenhoofd West en in 2003 geconserveerd, conserveringssysteem DTM;
 - Rolwagens 3 en 4 in bedrijf zijn op het Binnenhoofd en in 2002 geconserveerd, conserveringssysteem DTM;
 - Rolwagens 5, 6, 7 en 8 op de deurenberging staan en in 2008 zijn geconserveerd, conserveringssysteem Sigmacover.

Uitgaande van het aanbrengen van 3 conserveringslagen op roldeur 2 en 1 herstelling op roldeur 3.

2. De sluisbodem van de Noordersluis dient te worden hersteld conform de eisen gesteld in deze specificatie.
3. De schotbalkkering dient te functioneren conform de eisen gesteld in deze specificatie.
4. Tijdens de werkzaamheden dient de functionaliteit van de Noordersluis als hoogwaterkering te allen tijde te worden gegarandeerd.
5. Het sluisencomplex dient te allen tijde als doorgaande route toegankelijk te zijn voor fiets-, auto- en voetgangersverkeer.
6. De schutsluizen dienen buiten de aangevraagde stremming altijd het scheepvaartverkeer te kunnen schutten.

34.1.2 *Adviesrapport nulsituatie sluisbodem, roldeuren en rolwagens*

De aannemer dient onderzoek te verrichten naar de bestaande toestand van de sluisbodem, van de schotbalkkering, van de roldeuren 2 en 3, van de rolwagens 5, 6, 7 en 8 staande op de deurenbergplaats en van de rolwagens 1, 2, 3 en 4 na wisselen. De resultaten daarvan dienen vastgelegd te worden in een rapport met hersteladvies en aanbevelingen waarin tenminste de

hierna genoemde aspecten worden behandeld.

Bestaande situatie:

- de verstoring van de sluisbodem: de mate van verhoging en verdieping ten opzichte van het gewenste peil van -15,50 m. N.A.P.;
- de toestand van de ophangingen/bevestigingen van de roldeuren;
- de algemene toestand van de roldeuren, inclusief de toestand van de conservering en de kathodische bescherming, afsluiters en tanks;
- de aanwezige aanvaarschades (vervorming inclusief maatvoering);
- de algemene toestand van de rolwagens, inclusief de toestand van de conservering en de kathodische bescherming;
- de slijtage van de draaiende onderdelen van de rolwagens en roldeuren;
- de inzetbaarheid van de schotbalkkering en vastleggen van toestand van conservering.

Op stellen hersteladvies:

In het hersteladviesrapport dient rekening te worden gehouden met het uitvoeren van de volgende werkzaamheden:

1. herstellen constructieve staalschade aan de deuren;
2. conserveren van roldeuren 2 en 3, inclusief kathodische bescherming;
3. reviseren van de bewegende delen van de rolwagens (lagers en assen van de loopwielen, loopwielen, draaipunten van hefboomen en inspecties van de opleggingen);
4. conserveren (vervangen of overlagen) inclusief kathodische bescherming en het herstellen van schades aan de rolwagens;
5. reinigen van de aan- en afvoerleidingen van de watertanks van de roldeuren;
6. schoonmaken/schoonspuiten van de roldeuren die na het wisselen in het deurendok worden geplaatst.

34.1.3 Ontwerpeisen uitvoeringswerkzaamheden Noordersluis

1. Op basis van een integrale aanpak volgens artikel 34.1.2 en het uitvoeringsontwerp, het weer inzetbaar maken en functioneel houden van de sluisdeuren inclusief de rolwagens voor een onderhoudsvrije periode van zes jaar.
2. Er dient rekening te worden gehouden met de volgende volgorde van werken:
 1. Het conserveren van roldeur 2 in het deurendok;
 2. Roldeur 2 dient voorzien te worden van twee peilbuizen (deze worden verstrekt door het Waterdistrict te IJmuiden). De doorvoerkanalen van deur 2 dienen daarvoor te worden aangepast;
 3. Het wisselen van roldeur 3 uit het Binnenhoofd met roldeur 2 uit het deurendok inclusief wisselen rolwagens;
 4. Het schoonmaken (oppervlakken van aangehecht vuil, aangroei (sealife), gecorrodeerd materiaal en andere verontreinigingen) en conserveren (bijplekken) van roldeur 3 in het deurendok;
 5. Het wisselen van roldeur 1 uit het Buitenhoofd West met roldeur 3 uit het deurendok inclusief wisselen rolwagens;
 6. Het schoonmaken van roldeur 1 in het deurendok;
 7. Reviseren, conserveren wisselen van 4 stuks rolwagens (lagers, assen van loopwielen, loopwielen, draaipunten van hefboomen en inspectie van de oplegging), loopwagens 1, 2, 3 en 4;

8. Gebruiksklaar maken van de rolwagens op de deurenbergplaats (4 stuks).
3. In de eindsituatie:
 - a. staat roldeur 3 geconserveerd in het Buitenhoofd West;
 - b. staat roldeur 1 schoongemaakt in het deurendok;
 - c. staat roldeur 2 geconserveerd in het Binnenhoofd Oost;
 - d. staat roldeur 4 in de Velserkom (zonder verder enige actie);
 - e. staan vier volledig onderhouden rolwagens gereed op de deurenbergplaatsen zijn stand-by om direct inzetbaar te zijn;
 - f. is roldeur 2 voorzien van twee functionerende peilbuizen (leverantie Waterdistrict IJmuiden);
 - g. is de schotbalkkering geplaatst in de sponning van het deurendok en functioneel inzetbaar voor de komende twee jaar.
 - a. voldoet de sluisbodem weer aan de ontwerpeisen voor het Nautische Profiel (-14.50m N.A.P.) en het Profiel van Vrije Ruimte (-15.50 N.A.P.). Daaronder bevindt zich het filtermateriaal.
4. Eisen aan het rijdek:

Op basis van een integrale aanpak onderhouden en functioneel houden van het houten rijdek en de slijtlaag waarbij deze aantoonbaar onderhoudsvrij dienen te zijn gedurende 6 jaar na oplevering.

De eisen daarbij:

 - wegdek conform roldeur 3;
 - de wrijvingscoëfficiënt slijtlaag rijdek roldeuren dient groter te zijn dan 0,45;
 - de slijtlaag van het dek dient een ontwerplevensduur te hebben van minimaal 10 jaar;
 - het vervangen van het houten rijdek inclusief slijtlaag van roldeur 2, het rijdek heeft circa een oppervlakte van 400 m².
5. Eisen aan de schotbalkkering:

Op basis van een integrale aanpak onderhouden en functioneel houden van de schotbalkkering waarbij deze aantoonbaar onderhoudsvrij dient te zijn gedurende 2 jaar na oplevering.

De eisen daarbij:

 - het water keren om het deurendok droog te kunnen zetten;
 - het mogelijk maken om door middel van een afsluiter het deurendok te kunnen vullen;
 - de schotbalkkering dient binnen 8 uur na wisseling van een roldeur stabiel en functioneel kerend te zijn.
6. Reparatie-eisen kolkbodem:

Het verwijderen van overhoogte in de Noordersluis en het opvullen van het profiel en herstellen van de filteropbouw van de sluisbodem.

34.2.4 *Uitvoeringseisen roldeuren en rolwagens Noordersluis*

1. De aannemer die werkzaamheden uitvoert op de locatie Noordersluis te

IJmuiden is gedurende zijn werkzaamheden verantwoordelijk voor het EM van de Noordersluis. De aannemer dient met de vaste EM onderhoudsaannemer en eventueel met de aannemer die op dat moment op het sluizencomplex werkzaamheden verricht, zijn werkzaamheden af te stemmen die impact hebben op de EM installaties.

Tijdens de werkzaamheden dient de aannemer storings op te lossen in overleg met de vaste EM onderhoudsaannemer en eventueel met de aannemer die op dat moment op het sluizencomplex werkzaamheden verricht.

Voordat de werkzaamheden aanvangen en nadat de werkzaamheden zijn afgerond dient de aannemer de overdracht van de EM installaties te regelen naar de vaste EM onderhoudsaannemer en eventueel met de aannemer die op dat moment op het sluizencomplex werkzaamheden verricht.

2. De opdrachtgever stelt hijs- hef- en hulpmiddelen en hulpconstructies ter beschikking die specifiek zijn voor de Noordersluis (zie bijlage 4). De aannemer voert bij opdracht een controle uit om vast te stellen of deze materialen beschikbaar zijn en voldoen aan wet- en regelgeving.

De aannemer is verantwoordelijk voor de afstemming met de aannemer van het civiele onderhoudscontract opdat de hijs- hef- en hulpmiddelen en hulpconstructies beschikbaar zijn op het daarvoor benodigde tijdstip.

3. De laatste deurenwisseling dient uiterlijk voor 1 september 2012 te zijn uitgevoerd.
4. De deurwisseling van deur 1 in het Buitenhoofd West mag niet in het stormseizoen, van 1 oktober tot en met 15 april, plaatsvinden.
5. In geval van een schadevaring aan één van de in bedrijf zijnde roldeuren dient de aannemer binnen 12 uur na aanzegging door de directie, de roldeur weer gebruiksgereed beschikbaar te stellen.
6. Indien de in lid 5 van dit artikel bedoelde aanzegging plaatsvindt, zullen de daaruit voortvloeiende kosten op basis van nacalculatie worden verrekend.
7. De sluis mag ten behoeve van sluisdeurenwisselingen maximaal 18 uur aaneengesloten gestremd zijn.

34.2.5 Uitvoeringseisen herstel bodembescherming Noordersluis

1. Op een aantal locaties dient de aannemer de bodembescherming te herstellen met behulp van basaltstortsteen of gelijkwaardig waarbij:
 - de aannemer gaten dieper dan NAP -17,50 m. dient op te vullen met stortsteen 5-40 kg;
 - de aannemer dient vanaf NAP -17,50 m. tot NAP -16,50 m. een toplaag aan te brengen van stortsteen 300-1000 kg (toplaag).

Eisen stortsteen:

- de door de aannemer toe te passen stortsteen dient een soortelijk gewicht te hebben van 2800 tot 3050 kg/m³;

- maximaal 10% van de stortsteen mag een grotere lengte/breedte verhouding hebben dan 1:3;
 - bij de vormkeuze van de stortsteen dient de aannemer rekening te houden met de maximale holle ruimte percentage tussen de stenen.
2. De aannemer dient een nadere uitwerking te geven door middel van een uitvoeringsontwerp en uitvoeringsmethode. En dient bij het uitvoeren maatregelen te nemen dat:
- de stortsteen 5-40 kg, die dient ter bescherming van de filtermat, na aanbrengen niet kan uittreden;
 - de stortsteen 300-1000 kg zo aangebracht wordt, dat er een optimaal beschermingsprofiel ontstaat, zodat de vrije ruimte tussen de stenen kleiner is dan de D50 van de onderlaag;
 - de stortsteen niet hoger aangebracht wordt dan NAP -16.50 m.;
 - na de werkzaamheden er geen stenen achterblijven op de betonvloer nabij de roldeuren.

De aannemer dient uit te gaan van de volgende eisen die aan de bodembescherming worden gesteld:

- de bodembescherming moet stabiel zijn bij maximale stroomsnelheden van 3.61 m/s met turbulentie met een relatieve intensiteit van $r_0 = 0.35$, die nabij de kolkbodem in de Noordersluis op kunnen treden;
 - de bodembescherming moet stabiel zijn bij waterdrukverschillen boven en onder de bekleding;
 - het niveau van de bovenkant van de bodembescherming is NAP -16.50 m.
3. De aannemer dient na het uitvoeren van de werkzaamheden herstel bodembescherming, aantoonbaar te maken dat het werk voldoet aan de gestelde eisen en de sluis weer voldoet aan de functionaliteit.
4. De sluis mag ten behoeve van het aanbrengen van de bodembescherming maximaal 18 uur aaneengesloten gestremd zijn.
5. Uitvoeringsactiviteiten dienen te zijn opgenomen in het uitvoeringsplan en integraal te zijn afgestemd met de sluisbeheerder. Met name waar het gaat om stremmingen. Zie hiervoor ook de procedures uit artikel 35 omgevingsmanagement.



Bijlage 8 Resultaten Lockfill

In deze bijlage worden de resultaten van de Lockfill berekeningen in de vorm van een memo gepresenteerd. Aan de hand van de eerste versie van de memo (een voorlopige versie) zijn door RWS vragen gesteld en opmerkingen geplaatst. De antwoorden op de gestelde vragen en de omgang met de opmerkingen op de van de memo (van Deltares) zijn hieronder opgesomd. Wanneer nodig zijn de opmerkingen daadwerkelijk in de memo verwerkt.

In de memo wordt hier en daar gesproken over 'voorlopige resultaten'. De term 'voorlopig' moet niet verkeerd geïnterpreteerd worden. Er wordt bedoeld dat de (resultaten van de) uitgevoerde berekeningen slechts indicatief zijn. Eigenlijk is meer onderzoek gewenst om op een gedetailleerde wijze iets te zetten over de optredende langskrachten. De resultaten in de memo kunnen in het kader van dit project echter als definitief beschouwd worden.

(39) Lockfill, hoofdstuk 1:

Wat zijn aannemelijke waarden voor het troskrachtcriterium en het dichtheidsverschil, op basis van literatuur en expert judgement.

De voor Deltares aannemelijke waarden zijn toegepast in de voorlopige versie. De waarden zijn in de definitieve versie niet gewijzigd, dus de resultaten zijn ook niet gewijzigd. De keuze van de waarden is verder onderbouwd en de memo is compleet gemaakt.

(40) Lockfill, hoofdstuk 1:

Vanwege de minder slanke vorm, uitgaande van dezelfde hoofdafmetingen, kunnen bulk carriers maatgevend zijn bij de bepaling van de maximale troskrachten.

Deze opmerking is toegevoegd op pagina 3, waar het maatgevende schip wordt beschreven.

(41) Lockfill, hoofdstuk 1:

De waterstanden en schutpeilen opgesteld door Iv-Infra voor de huidige situatie van de Noordersluis zijn het uitgangspunt.

Dit is expliciet vermeld in de memo, op pagina 5.

(42) Lockfill, hoofdstuk 1:

Zoals aangegeven, worden in de huidige praktijk de trossen dubbel gebruikt en de springlijnen enkel. Wat is hiervoor de verklaring?

Hiervoor is contact opgenomen met de vletterlieden van de Noordersluis. De toelichting is opgenomen in de memo op pagina 4.

(43) Lockfill, hoofdstuk 1:

Wat is het exacte criterium voor het einde van het nivelleerproces. Restdrukverschil ter hoogte van de riolen?

Dit klopt. Er is ter hoogte van de nivelleeropeningen een borrelbuis aanwezig.

(44) Lockfill, hoofdstuk 1:

Welke hefsnelheid wordt in de praktijk aangehouden, 11 mm/s?

Dit klopt. Volgens de meest recente informatie is de huidige hefsnelheid 11 m/s, zie ook pagina 5.

Memo

Aan
r.nooij@iv-infra.nl

Datum 13 oktober 2011	Kenmerk 1205020-000-HYE-0004	Aantal pagina's 21
Van Otto Weiler	Doorkiesnummer +31 (0)88 33 58 358	E-mail otto.weiler@deltares.nl

Onderwerp
Lockfill-berekeningen Noordersluis, TO-onderzoek IJmond




Geachte heer Nooij,

Hierbij sturen wij u de voorlopige resultaten van de Lockfill-berekeningen voor de Noordersluis te IJmuiden. In dit memo wordt een beschrijving gegeven van de opzet en kalibratie van het model, en worden enkele verkennende berekeningen gepresenteerd.

De beschouwing en analyse van de beschikbare gegevens leidt tot een aantal vragen die nader overlegd zouden moeten worden met de opdrachtgever, en afstemming vereisen met de werkzaamheden voor de nieuwe sluis. Op deze punten hebben wij nu aannamen gedaan en beschreven.

Met vriendelijke groet,

Otto Weiler

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
Voorlopig	11 aug. '11	O.M. Weiler					
Final	13 okt '11	O.M. Weiler		R.J. de Jong		K.J. Bos	

1 Inleiding en modelopzet

Algemeen

Ter bepaling van de langskrachten op schepen tijdens het schutproces in schutsluizen kan het ééndimensionale rekenprogramma Lockfill worden gebruikt voor situaties waarbij vullen en ledigen via de sluishoofden plaatsvindt. In het geval van de Noordersluis gebeurt het nivelleren via korte omloopriolen in de sluishoofden, een optie waarin Lockfill voorziet.

De bestudeerde schutsluis bestaat uit een kolk begrensd door roldeuren. In het buitenhoofd zijn twee roldeuren aangebracht. De maximale lengte van de kolk (tot aan de buitenste van de roldeuren in het buitenhoofd) bedraagt 400 m, de breedte is 50 m en de bodem ligt op NAP -15,0 m bij de sluishoofden en NAP -15,5 m in het centrale deel van de kolk, dat een lengte heeft van 306,50 m. De maximale scheepsafmetingen bedragen 325 x 42 x 13,1 m (lengte x breedte x diepgang in zout water), waarbij op de beide drempels een minimale kielspeling van 1,0 m geeist wordt. Onder voorwaarden zijn grotere maten toegestaan, namelijk 350 x 45 x 13,75 m, en dus ook een kleinere kielspeling.

Het nivelleren vindt plaats via korte omloopriolen opgenomen in de sluishoofden. Deze riolen, in beide sluishoofden en aan beide kanten van de kolk (noord- en zuidzijde) zijn dubbel uitgevoerd.

Toegeleverde informatie

Naast tekeningen van de sluis bestaat de belangrijkste informatiebron zoals gebruikt voor het opstellen van de Lockfill-schematisatie uit een rapportage in drie delen van een analyse door het Waterloopkundig Laboratorium van de Noordersluis. Het betreft een gecombineerde verslaggeving van een numerieke studie (R1758) en een schaalmodel-studie (M1859) uit 1983.

Andere toegeleverde informatie bestaat uit een memo van Iv-Infra 'Hydraulische randvoorwaarden Noordersluis' d.d. 20 juni 2011, het document 'Werkafspraken RWS-CNB' (Centraal Nautisch Beheer Noordzeekanaalgebied) d.d. 1 december 2010 en een ingevuld spreadsheet met enkele belangrijke parameters voor de berekeningen .

Het modelonderzoek zoals uitgevoerd in 1983 geeft aankopingspunten voor de kalibratie, zowel voor de vultijd van de kolk, als voor de krachten op het schip. In dat modelonderzoek is gewerkt met water van verschillende dichtheden; een zeer belangrijk aspect in de troskrachten tijdens nivelleren. Aan deze kalibratie wordt relatief veel aandacht besteed. Op basis van de bevindingen worden vervolgens de nivelleerkrachten op de huidige grotere schepen bepaald.

Verschillen in dichtheid van zout- en zoetwater

Een belangrijke parameter voor de berekening van de troskrachten is de dichtheid van het water aan beide zijden van de sluis. Het memo van Iv-Infra meldt de grote spreiding in de dichtheden aan weerszijden van de sluis. Het extreme verschil in dichtheid is 22 kg/m³, volgend uit 1000 kg/m³ aan de kanaal zijde 1022 kg/m³ aan de zeezijde.

In de proeven door WL in 1983 (R1758/M1859) is een verschil van 20 kg/m³ aangehouden. Een dichtheidsmeting in datzelfde rapport geeft een verschil van 15 kg/m³. Ten behoeve van



de studies voor de nieuwe sluis is gekeken naar meetdata van de saliniteit in het Noordzeekanaal zoals gerapporteerd door Alkyon ("Data-analyse voor simulaties Noordzeekanaal model". A1524, 2005). Voor de nivelleringsberekeningen is specifiek gekeken naar de saliniteit dicht bij de sluis en ter hoogte van riolen. De minimale zoutconcentratie in de metingen bedraagt hier 0 - 5 ppt. De gemiddelde waarde is 5 - 10 ppt. Als aangehouden wordt een dichtheid van 5 ppt aan de kanaalzijde en 30 ppt aan de zeezijde volgt een dichtheidsverschil van 20 kg/m³ (dichtheid berekend met de zgn. UNESCO-formulering; hierbij is de temperatuur aangenomen op 10° voor de zeezijde en 15° voor de kanaalzijde).

Op basis van deze overwegingen is een dichtheidsverschil van 20 kg/m³ aangehouden; dit is welliswaar een groot verschil, maar toch niet onrealistisch. Dit dichtheidsverschil zal een significante bijdrage leveren aan de troskrachten op het schip in de sluis tijdens het nivelleren.

Het dichtheidsverschil leidt er ook toe dat aan het eind van het nivelleringsproces, de waterstand niet gelijk is. In sommige situaties zal de uiteindelijke waterstand in de kolk hoger zijn (zoeter water in de kolk dan in de voorhaven), soms lager (zouter water in de kolk dan in de voorhaven). Het kan daarbij zijn dat er tijdens het nivelleren een moment van gelijke waterstand optreedt, waarna het vullen of ledigen nog doorgaat. Het kan echter ook zijn dat de situatie van een gelijke waterstand juist niet wordt bereikt. In dat geval is de nivelleertijd (de tijd tot een gelijke waterstand is bereikt) niet meer gedefinieerd. Voor zulke situaties kan de tijd tot aan het moment dat het debiet nul is geworden daarvoor in de plaats komen.

Naast een impact op het nivelleren heeft het dichtheidsverschil ook een grote impact op het schip in de sluis bij het openen van de roldeuren. Door het dichtheidsverschil ontstaat er rest-veral over de deur, en komt er een uitwisselingsstroming op gang zodra de deur wordt geopend. Aan dit aspect wordt ook aandacht besteed in de rapporten van 1983 (R1758/M1859). Daarbij blijkt dat de krachten die dan op de schepen optreden van dezelfde orde van grootte zijn als de niveleerkrachten. Aan dit fenomeen wordt in de huidige studie geen aandacht besteed, hoewel dat wel op zijn plaats zou zijn.

troskracht-criteria

Criteria voor troskrachten worden in het algemeen gesteld op een promillage van de waterverplaatsing of displacement van het beschouwde schip in geladen toestand, dus van het gewicht van het schip plus lading uitgedrukt in tonnen. Zeegaande schepen worden (als categorie) vaak aangeduid aan de hand van hun laadvermogen, uitgedrukt in 'dwt' (deadweight ton), een parameter die het gewicht van de lading (incl. de brandstof) aanduidt, exclusief het gewicht van het lege schip. Als gevolg hiervan ontstaat gemakkelijk de verwarring dat de troskrachten gerelateerd worden aan het deadweight tonnage. Deze verwarring komt ook voor de rapporten uit 1983 (R1758/M1859).

In deze rapporten wordt voor de criteria verwezen naar een WL- rapport van 1981 "Troskrachtcriteria van zeeschepen in sluisen", R673-I (A. Vrijer). Hierin worden criteria gegeven voor stalen en voor nylon trossen, afhankelijk van de toegepaste voorspanning op de lijnen. Uit deze referentie blijken ongeveer de volgende waarden, voor situaties met voldoende voorspanning:

- voor schepen van 40.000 dwt: ca. 0.25 ‰
- voor schepen van 80.000 dwt: ca. 0.21 ‰
- voor schepen van 100.000 dwt: ca. 0.20 ‰

De studie uit '83 hanteert uiteindelijk de volgende criteria, die grotere krachten toelaten dan volgens de Nederlandse literatuur:

- voor schip van 45.000 ton ('Rupel'): 0,30 ‰
- voor schip van 90.000 ton ('Alfredo'): 0,25 ‰

(Uit de modelafmetingen en –gewichten blijkt dat de getallen slaan op de waterverplaatsing, terwijl in de tekst deze getallen worden aangeduid met 'dwt'.)

Het rapport geeft geen toelichting waarom criteria groter worden gekozen dan de literatuur; mogelijk op instructie van de opdrachtgever. Het rapport geeft ook aan (als tegen-argument?) dat criteria in de V.S. (nog) strenger zijn dan volgens de Nederlandse literatuur.

Verder stelt het rapport dat bij gebruik van dubbele afmeerlijnen (zowel de trossen als de springlijnen) het criterium ook kan worden verdubbeld. Voor de huidige situatie op de Noordersluis geldt hierbij een gemengd beeld: volgens de vletterlieden in IJmuiden (info verkregen van RWS via Iv-Infra) is de huidige praktijk dat grote schepen afmeren met dubbele trossen, maar met enkele springlijnen. In extreme gevallen kunnen ook de springlijnen dubbel worden uitgezet. In normale omstandigheden is dit echter niet nodig.

Het dubbel uitzetten van de trossen duidt eerder op grote dwarskrachten, mogelijk het gevolg van dichtheidsstromen bij openen deuren, dan op grote langskrachten. Deze dwarskrachten worden in het kader van deze studie niet beschouwd. (De dubbele trossen dragen ook enigszins bij aan het opvangen van de langskrachten, maar dat is maar beperkt.)

Voor de nieuwe sluis, met schepen met een aanzienlijk groter laadvermogen dan beschouwd in 1983, wordt als criterium een waarde van 0.20 ‰ van de waterverplaatsing gehanteerd. Voor de huidige analyse van de Noordersluis wordt nu dezelfde waarde voorgesteld; dit sluit goed aan bij de aanbevelingen uit de Nederlandse literatuur gezien de scheepsafmetingen (zie hieronder). Bij overschrijding van die waarde zou te overwegen zijn in hoeverre het dubbel uitzetten van de springlijnen mag leiden tot het verhogen van het criterium.

afmetingen schepen:

In de WL studie uit 1983 (R1758/M1859) worden twee scheepsmodellen gebruikt:

- model genaamd 'Rupel' (45.000 ton waterverplaatsing):
L x B x T = 210,67 x 31,67 x 8,33
- model genaamd 'Alfredo' (90.000 ton waterverplaatsing):
L x B x T = 250 x 34,58 x 13,75

(N.B.: de scheepsmodellen in gebruik bij WL hadden destijds een eigen naam; als zo'n scheepsmodel in verschillende projecten met een andere schaal werd toegepast, stond hetzelfde model dus voor verschillende afmetingen op ware grootte.)

In de huidige praktijk van de Noordersluis gelden de volgende maximale afmetingen:

- L x B x T = 325 x 42 x 13,1 m (diepgang in zoutwater van 1,026 kg/ltr) en een kielspeling van 1.00 m,
- onder voorwaarden: 350 x 45 x 13,75 (in zoutwater) met een kleinere kielspeling

Datum
13 oktober 2011

Ons kenmerk
1205020-000-HYE-0004

Pagina
5/21

Door Iv-Infra is, ten behoeve van de evaluatie van de bodemverdediging, het volgende schip beschouwd:

- OOCL Shenzen: 323 x 42,8 x 14,53 m en een waterverplaatsing van 133.843 ton (een geschat deadweight ca. 100.000 tot 110.000 dwt)

Dit zelfde schip wordt ook in deze studie beschouwd. Gezien de maximale afmetingen in de praktijk van de Noordersluis wordt de diepgang gecorrigeerd naar 13,75 m.

afmetingen sluis en riolen:

De basis-afmetingen van de sluis zijn als volgt:

- lengte tussen de deuren 400 m
- breedte 50 m
- kolkbodem op NAP -15,5 m

Aan weerszijden van elk sluishoofd zijn dubbele riolen gebouwd. Deze riolen zijn paarsgewijs geschematiseerd. De afmetingen en coëfficiënten zijn hiertoe overgenomen uit de WL rapporten (R1758/M1859). De belangrijkste maten in prototype staan hieronder:

- noordzijde (om de deurkassen heen):
 - doorsnede: 2x 13,73 m²
 - lengte ca. 220 m
- zuidzijde:
 - doorsnede: 2x 12,70 m²
 - lengte ca. 70 resp. 90 m

De hefsnelheid van de rioolschuiven is 11 mm/s. Oorspronkelijk, en ook in de WL rapporten (R1758/M1859), bedroeg deze 10 mm/s.

waterstanden:

De voor de huidige situatie te beschouwen waterstanden zijn overgenomen uit de memo toegeleverd door IV-Infra:

- Zee-zijde:
 - maximum schutpeil NAP +3,40 m
 - minimum schutpeil NAP -2,50 m
- Kanaal-zijde
 - nominaal peil van NAP -0,4 m

De waarden aan de zee-zijde hebben een kans van voorkomen van 1/65 jaar resp. 1/100 jaar en zijn daarmee 'extreem' te noemen. Het dubbel uitzetten van de springlijnen, en daarmee het verhogen van het criterium, zou op basis daarvan te verdedigen zijn.

2 Kalibratie

Bij het opzetten van het model is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van gegevens uit de rapporten uit 1983. Dit betreft o.a. de lengte van de riolen (in het buitenhoofd), de doorsnede oppervlakken en de verliescoëfficiënten van de riolen (intree-, wrijvings- en uittree-verliezen). De verliescoëfficiënten over de deels-geopende schuif zijn niet beschreven in het rapport. Daarvoor zijn schattingen gedaan.

De kalibratie is in eerste instantie gericht op een juiste weergave van de vul-kromme zoals gepresenteerd in de rapporten uit 1983. Dit is een meting in prototype, waarover helaas slechts zeer weinig is gerapporteerd. Wat wel is genoteerd is dat het vullen gebeurde door 3 van de 4 riolen. De achtergrond daarvan staat niet beschreven. De geregistreeerde nivelleertijd, (de tijd tot het moment dat de waterstand in de kolk gelijk is aan de waterstand in de voorhaven) bij een verval van 1,5 m is gelijk aan iets meer dan 13 minuten, ca. 800 s. Dit is aangenomen als richttijd voor de kalibratie.

N.B.: Door de traagheid van het water in de riolen treedt het verschijnsel van 'overtravel' op: het debiet in de riolen heeft nog een positieve waarde op moment dat de waterstand in kolk en voorhaven gelijk is geworden. De waterstand in de kolk loopt daarom nog iets op, en zakt daarna weer terug. Uiteindelijk dempt deze heen en weer gaande stroming uit. Daarnaast kan, in geval van dichtheidsverschillen, het nivelleren eindigen met een ongelijke waterstand tussen kolk en voorhaven.

Opzet schematisatie

In eerste instantie is de schematisatie opgezet voor de vier riolen van het buitenhoofd. De lengten, doorsnede oppervlakken en verliescoëfficiënten zijn overgenomen uit de WL-rapporten (R1758/M1859, deel II, p. 54). Daarin zijn, ten behoeve van berekeningen van destijds met het programma VLKOLK, de twee riolen per kant geschematiseerd tot een riool. Dit is ook nu gedaan, aangezien ook Lockfill maximaal 2 riolen kan beschrijven. De in het rapport genoemde verliescoëfficiënt voor het zuidelijke riool $\xi = 1,43$ is wel een erg lage waarde. Deze waarde zou de intree-, bocht-, wrijvings- en uittreeverliezen moeten beschrijven. Een waarde in de buurt van 2,5 zou te verwachten zijn.

De schuiven hebben een in breedte verlopend gedeelte, waardoor bij het heffen van de schuiven het debiet door de riolen langzaam op gang komt, ook bij een constante hefsnelheid. Dit laat zich (voor riolen) in Lockfil niet beschrijven. In de schematisatie is daarom een constante riool-breedte aangehouden (met hetzelfde totaal oppervlak) en is in het begin een langzaam toenemende hefsnelheid toegepast, zodanig dat het oppervlak op dezelfde manier toeneemt als in werkelijkheid.

Vervolgens is een verliescoëfficiënt geschat over de rioolschuiven. Deze is gekozen op 0,67 aan het begin van heffen, verlopend naar 0,97 als de schuif helemaal open staat. Het verloop van de coëfficiënt is aangenomen evenredig te zijn met de schuifopening. De aldus bepaalde gedeeltelijke opening en de verliescoëfficiënt over de schuif is vervolgens (ten behoeve van de

beschrijving in Lockfill) omgewerkt naar een verliesfactor (ξ) betrokken op het doorsnedeoppervlak van het riool.¹

Met deze schematisatie van het buitenhoofd is een berekening gedaan voor het nivelleren over een verval van 1,5 m. In aansluiting op de rapporten uit 1983 is de waterstand op het kanaal aangenomen op NAP -0,5 m en is dus de waterstand aan de zeezijde NAP +1,0 m. Deze berekening, aangeduid als K1, zie ook de bijgevoegde berekening, leidt tot een nivelleertijd van 592 s, ofwel bijna 10 minuten. Deze berekening geeft dus de situatie weer van het nivelleren (sluis vullen) over het buitenhoofd, gebruik makend van alle vier de riolen. Er is daarbij nog geen rekening gehouden met dichtheidsverschillen tussen kolk- en buitenwater.

Kalibratie vultijd

Ter vergelijking met de gemeten vulkromme (zie WL-rapport R1758/M1859 deel III, figuur 12) moet het aantal riolen worden teruggebracht van 4 naar 3. Dit kan door het oppervlak van een van de geschematiseerde riolen te halveren (alle overige parameters mogen daarbij onveranderd blijven.).

In eerste instantie is een van de Noordelijke riolen als gesloten aangenomen. De berekening wordt getoond van case K2. De nivelleertijd bedraagt nu 693 s, aanzienlijk korter dan de gemeten tijd van ca. 800 s.

Er zijn een aantal redenen te bedenken waarom de berekende en de gemeten nivelleertijd nog niet overeenkomen. Deze zijn nagegaan met berekeningen met Lockfill (niet gepresenteerd).

1. Het sluiten van een van de Zuidelijke riolen i.p.v. een van de Noordelijke riolen forceert meer water door het langere riool, met een grotere weerstand; het blijkt dat dit de vergelijking enigszins verbetert: de nivelleertijd wordt nu 706 s.
2. Een belangrijk aspect is dat een dichtheidsverschil tussen voorhaven en kolk nog niet is beschouwd; als we de dichtheid in de voorhaven op 1020 kg/m^3 instellen, en de kolk handhaven op 1000 kg/m^3 , blijken er twee belangrijke verschillen op te treden:
 - a. de nivelleertijd wordt aanzienlijk korter (607 s),
 - b. er treedt een veel grotere 'overtravel' op dan gemeten.

Het lijkt er dus op dat het nivelleren is gemeten zonder dichtheidsverschil. Dit kan het geval zijn als de meting als volgt is verlopen. Het laatste schip vertrekt naar de noordzee, de deuren zijn open aan de zeezijde en de kolk wordt daardoor zout, de deuren gaan dicht, er is geen schip in de kolk, er wordt water afgelaten naar het kanaal, de deuren aan de kanaalzijde blijven dicht, de kolk wordt dan opnieuw gevuld vanaf de zeezijde, en deze vultijd wordt gemeten: de kolk is dus al 'zout' en is dus met water van gelijke dichtheid gevuld. Op basis van de huidige berekeningen en de vergelijking met de meting nemen we dit scenario aan als het meest waarschijnlijke.

¹ Deze verlies-factor wordt in Lockfill opgegeven in een tabel als functie van de (relatieve) schuifopening. Lockfill interpoleert tussen de opgegeven waarden. Om tot een gladde debietkromme te komen, en zodoende de berekening van oneigenlijke kleine translatiegolven te beperken, is het noodzakelijk gebleken om vooral in het begin van openen, kleine stappen aan te houden in deze tabel. Ondanks een zorgvuldige beschrijving in kleine stapjes zien de krommen van de troskrachten er soms niet glad uit.



Datum
13 oktober 2011

Ons kenmerk
1205020-000-HYE-0004

Pagina
8/21

3. Zoals al eerder is gesteld is de waarde van de restweerstandscoefficient voor de zuidelijke riolen in het WL-rapport uit 1983 erg laag. De waarde is verhoogd van 1,43 naar 2,43; een meer waarschijnlijk waarde. Onder de aanname dat een van de zuidelijke riolen is gesloten (zie onder 1. hierboven), en zonder dichtheidsverschil blijkt deze verandering de nivelleertijd te verhogen van 706 naar 726 s. Deze nivelleertijd is ongeveer 9% korter dan de gemeten waarde.
4. Tenslotte kan een rol spelen het bergend oppervlak van de kassen van de roldeuren. In de berekening tot op heden is ervan uit gegaan dat de buitenste van de twee deuren in het buitenhoofd werd gebruikt. Door het verval (hogere waterstand aan de zeezijde) worden de deuren richting het kanaal geduwd. Hiermee zullen de deur-kassen van de binnenste deur van het buitenhoofd en de deur van het binnenhoofd verbonden zijn met de kolk. Het extra bergend oppervlak van de deuren komt daarmee overeen met een extra kolk lengte van 33 m (22 m voor de kas in het buiten hoofd, en 11 m voor de kas in het binnenhoofd). Met deze extra lengte toegevoegd aan de kolk wordt de nivelleertijd gelijk aan 766 s. Dit begint in de buurt te komen van de gemeten waarde van 800 s, hoewel nog altijd ruim 4% te snel.

De nivelleertijd wordt dus het best benaderd door aan te nemen dat:

- de meting van de vulkromme is uitgevoerd toen een van de zuidelijke riolen gesloten was,
- dat er geen sprake was van een dichtheidsverschil tussen voorhaven en kolk,
- dat de weerstandscoefficient hoger moet zijn dan afgeleid in 1983 (2,43 i.p.v. 1,43).

Deze aannamen zullen worden meegenomen in de berekeningen van de troskrachten.

Het extra bergend oppervlak van de deuren wordt niet meegenomen. Dit is omdat de correctie van het oppervlak middels het aanpassen van de kolk lengte leidt tot een onjuiste voorspelling van het gedrag (looptijd) van translatie-golven en interne golven (zout/zoet).

Het definitieve resultaat van de kalibratie van het model naar de vultijd is weergegeven in de figuur van case K3. De nivelleertijd bedraagt dus 726 s, tegenover een gemeten waarden van 800 s.

Kalibratie troskrachten

In de rapporten wordt beschreven dat voor de bepaling van de troskrachten gebruik gemaakt is van een geschematiseerd schaalmodel: het schaalmodel heeft sterk vereenvoudigde omloopriolen. De verbinding tussen de nivelleermeting in prototype en het schaalmodel is gemaakt via het destijds gebruikte rekenkundig model VLKOLK. Daarbij is verder gegaan op de ingeslagen weg, namelijk dat de afregeling van dat model aan de prototype meting (met 3 riolen) ook is toegepast voor de schaalmodelproeven. Het schaalmodel is vervolgens zodanig afgeregeld dat, voor de te beschouwen vervallen, de vultijd in het schaalmodel overeenkomt met de berekende vultijd volgens VLKOLK. Dit impliceert ons inziens dat de schaalmodel-resultaten gelden voor het vullen met 3 riolen, hetgeen vreemd te noemen is.

Met de in Lockfill opgebouwde schematisatie (3 riolen) zijn twee van de modelproeven nagerekend ten behoeve van een vergelijking van nivelleertijden, en de troskrachten. In beide gevallen is gekeken naar het grootste schip destijds gebruikt, de 'Alfredo', een schip met een waterverplaatsing van 90.000 ton.

Het eerste geval, case K4, betreft een verval van 3,80 m (NAP +3,3 m in de voorhaven, NAP -0,5 m op het kanaal), waarbij er geen dichtheidsverschil is. In het tweede geval, case K5, bedraagt het dichtheidsverschil 20 kg/m³. De berekende waarden en de referentie-waarden uit het schaalmodel zijn als volgt:

Case	nivelleertijd		max. positieve langskracht		max. negatieve langskracht	
	schaalmodel	Lockfill	schaalmodel	Lockfill	schaalmodel	Lockfill
K4	onbekend	1041 s	0,14 ‰	0,123 ‰	onbekend	-0,037 ‰
K5	onbekend	928 s	onbekend	0,248 ‰	-0,30‰	-0,249‰

De nivelleertijd van het model wordt gepresenteerd in Figuur 13, en bedraagt voor het verval van 3,80 m ca. 14 minuten (840 s). De overeenkomstige berekening met VLKOLK geeft een nivelleertijd van 12,5 minuten (750 s) (zie WL-rapporten R1758/M1859, Figuur 13). De rapportage geeft niet aan of de nivelleertijd hierbij met- of zonder dichtheidsverschil is bepaald.

Uit de vergelijking tussen de resultaten van Lockfill met het schaalmodel blijkt dat Lockfill tot lagere krachten komt. Vergelijking van het verloop van de berekende krommen van de krachten (de figuren van cases K4 en K5) met de metingen (Figuur 14 uit het WL-rapport R1758/M1859, deel III) geven wel aan dat het verloop van de krommen redelijk goed overeenkomt.

Extra berekeningen (niet gepresenteerd) geven aan dat met een kortere nivelleertijd in het rekenmodel (Lockfill) de krachten toenemen, en dat de extreme waarden dan beter overeenkomen met de metingen. Dit is echter strijdig met de kalibratie naar de vultijd, die aangeeft dat de modelopzet nu al een te korte nivelleertijd oplevert.

Voorlopige conclusies

Op basis van deze resultaten, met name het verschil in de troskrachten bij K4 en K5, is het duidelijk dat het aan te nemen dichtheidsverschil van cruciaal belang is voor de te berekenen krachten. De nu door Lockfill berekende waarden zijn dus wel lager dan in het schaalmodel gemeten, maar hoger dan de criteria volgens de nu gangbare literatuur. Merk op dat het verval van 3,80 m nu ook geldt als zijnde het verval tussen het maximale schutpeil van NAP +3,40 m naar het nominale kanaalpeil van NAP -0,40 m.

Verder is het zo dat wanneer in de huidige situatie geschut wordt met 4 riolen (i.p.v. 3) en bovendien met een hogere hefsnelheid, het nivelleren sneller gaat en de troskrachten nog sterk zullen toenemen. Een groter schip zal ook leiden tot grotere troskrachten. Het oordeel over de (naar verwachting) grote troskrachten zal daarmee worden bepaald door de te hanteren criteria.

3 Voorlopige resultaten

Op basis van de schematisatie zoals opgebouwd en hierboven besproken zijn enkele voorlopige berekeningen gedaan voor het door Iv-Infra voorgestelde maatgevende schip (containerschip de OOCL Shenzen).

In deze voorlopige berekeningen worden de volgende 4 gevallen beschouwd:

nr.	case	kanaalpeil [m NAP]	waterstand Zeezijde [m NAP]	hef- snelheid [mm/s]	schip	troskracht criterium [‰]
V1	Buitenhoofd, vullen, dichtheidsverschil 20 kg/m ³	-0,4	3,4	11	T = 13,75	0,2
V2	Buitenhoofd, ledigen, dichtheidsverschil 20 kg/m ³	-0,4	-2,5	11	T = 12,0 m	0,2
V3	Binnenhoofd, vullen, dichtheidsverschil 20 kg/m ³	-0,4	-2,5	11	T = 12,0 m	0,2
V4	Binnenhoofd, ledigen, dichtheidsverschil 20 kg/m ³	-0,4	3,4	11	T = 13,75	0,2

Voor de berekeningen van het nivelleren over het binnenhoofd is geen aparte schematisatie opgezet. Het belangrijkste verschil tussen de beide sluishoofden is het volgende: in het buitenhoofd zijn de noordelijke riolen (om de deurkassen heen) erg lang, wat leidt tot een hogere weerstand. In het binnenhoofd zijn de noordelijke riolen korter gemaakt, door de nivelleerstream door de deurkas te laten lopen. Dit geeft dus welliswaar korter leidingen (lagere verliezen) maar leidt anderzijds tot extra uittree- en intreeverliezen. Deze verschillen zijn voor deze voorlopige berekeningen niet verder uitgewerkt.

In alle gevallen wordt genivelleerd met 4 riolen (i.p.v. 3), en een hefsnelheid van 11 mm/s (i.p.v. 10 mm/s). Bij zowel het vullen als het ledigen van de kolk wordt een dichtheidsverschil van 20 kg/m³ aangenomen (zie hiervoor ook de behandeling van de berekende gevallen hieronder). Het schip wordt aangenomen op 25 m van de deur te liggen; hiermee is het enigszins gecentreerd in de kolk. (Een positie dicht bij de deur zou tot groter krachten leiden, maar lijkt voor zo'n groot schip in de praktijk minder waarschijnlijk.)

Voor de berekeningen met een waterstand aan de zeezijde van NAP -2,5 m is de diepgang van het schip gereduceerd naar 12,0 m. Bij die diepgang resteert in het sluishoofd aan de zeezijde nog een kielspeling van 0,5 m. (De reductie in waterverplaatsing is evenredig gehouden aan de reductie van de diepgang; dit leidt voor een containerschip tot een iets te grote waterverplaatsing.)

De resultaten van deze berekeningen zijn als weergegeven in onderstaande tabel en de aangehangen figuren.

nr.	case	troskracht criterium [‰]	totale nivelleertijd [s]	nivelleertijd tot 0,1 m verval [s]	tijd tot debiet is nul [m]	restverval bij debiet is nul [m]	max. totale langskracht positief [‰]	max. totale langskracht negatief [‰]
V1	Buitenhoofd, vullen, dichtheidsverschil 20 kg/m ³	0,2	740	714		0,32	0,249	-0,570
V2	Buitenhoofd, ledigen, dichtheidsverschil 20 kg/m ³	0,2		-	723	0,13	0,228	-0,197
V3	Binnenhoofd, vullen, dichtheidsverschil 20 kg/m ³	0,2		-	722	0,14	0,457	0,000
V4	Binnenhoofd, ledigen, dichtheidsverschil 20 kg/m ³	0,2	742	715		0,31	0,229	-0,211

Voor alle berekeningen geldt dat de nivelleertijden nu aanzienlijk korter zijn. Dit is een gecombineerd effect van het gebruik van 4 i.p.v. 3 riolen, en de grotere hefsnelheid van de schuiven. De overige bevindingen worden hieronder besproken.

V1: De totale negatieve langskracht is in dit geval veel groter dan de resultaten uit het schaalmodel van 1985 (bij hetzelfde verval en hetzelfde dichtheidsverschil), en veel groter dan het criterium, zelfs meer dan het dubbele daarvan. Deze negatieve langskracht wordt gedomineerd door het dichtheidsverschil. Het verschil met de resultaten uit 1985 zijn te verklaren door de grotere afmetingen van het schip, en door het snellere nivelleren.

Opgemerkt moet worden dat de totale troskrachten, met name ten gevolge van de dichtheidsverschillen, nog rond hoge waarden variëren lang nadat het nivelleren is afgelopen. In de praktijk zullen de deuren inmiddels open gaan, en dus zijn de uitkomsten van Lockfill voor deze periode niet van praktische betekenis. Het geeft echter wel aan hoe verraderlijk de dichtheidseffecten kunnen zijn.

V2: De totale krachten blijven in dit geval in de buurt van het criterium. In de krachten is de invloed van het dichtheidsverschil niet zichtbaar aanwezig, maar indirect toch wel: het dichtheidsverschil is mede-bepalend voor de snelheid van het nivelleren. Verder is het dichtheidsverschil er de oorzaak van dat (in Lockfill) er geen gelijke waterstand wordt bereikt: door het verschil in dichtheid is de waterstand aan beide zijden verschillend terwijl het debiet nul geworden is. Het waterstandsverschil aan het eind lijkt echter groter dan te verwachten gezien de verticale positie van de riolen; kennelijk houdt Lockfill daar geen rekening mee, maar wordt er een drukvergelijking gemaakt ter hoogte van de bodem van het sluishoofd (dit is de enige variabele die Lockfill daarvoor ter beschikking heeft).

V3: Bij het vullen richting het kanaal (dus het vullen van een zoute kolk met zoet water) leiden de krachten t.g.v. de dichtheidverschil tot een bijdrage aan de positieve langskrachten (van de deur af), i.p.v. tot negatieve langskrachten. Dit leidt tot een grote maximale positieve waarde en tot een verloop waarbij de totale langskracht nooit negatief wordt. De maximale waarde is ook in dit geval ruim twee keer de waarde van het criterium. Ook in dit geval wordt geen gelijke waterstand bereikt, en vertonen de troskrachten nog hoge waarden als (in de praktijk) de deuren al zullen open gaan.

V4: In dit geval is er relatief weinig bijzonders aan de hand. De krachten blijven in de buurt van de criteria.

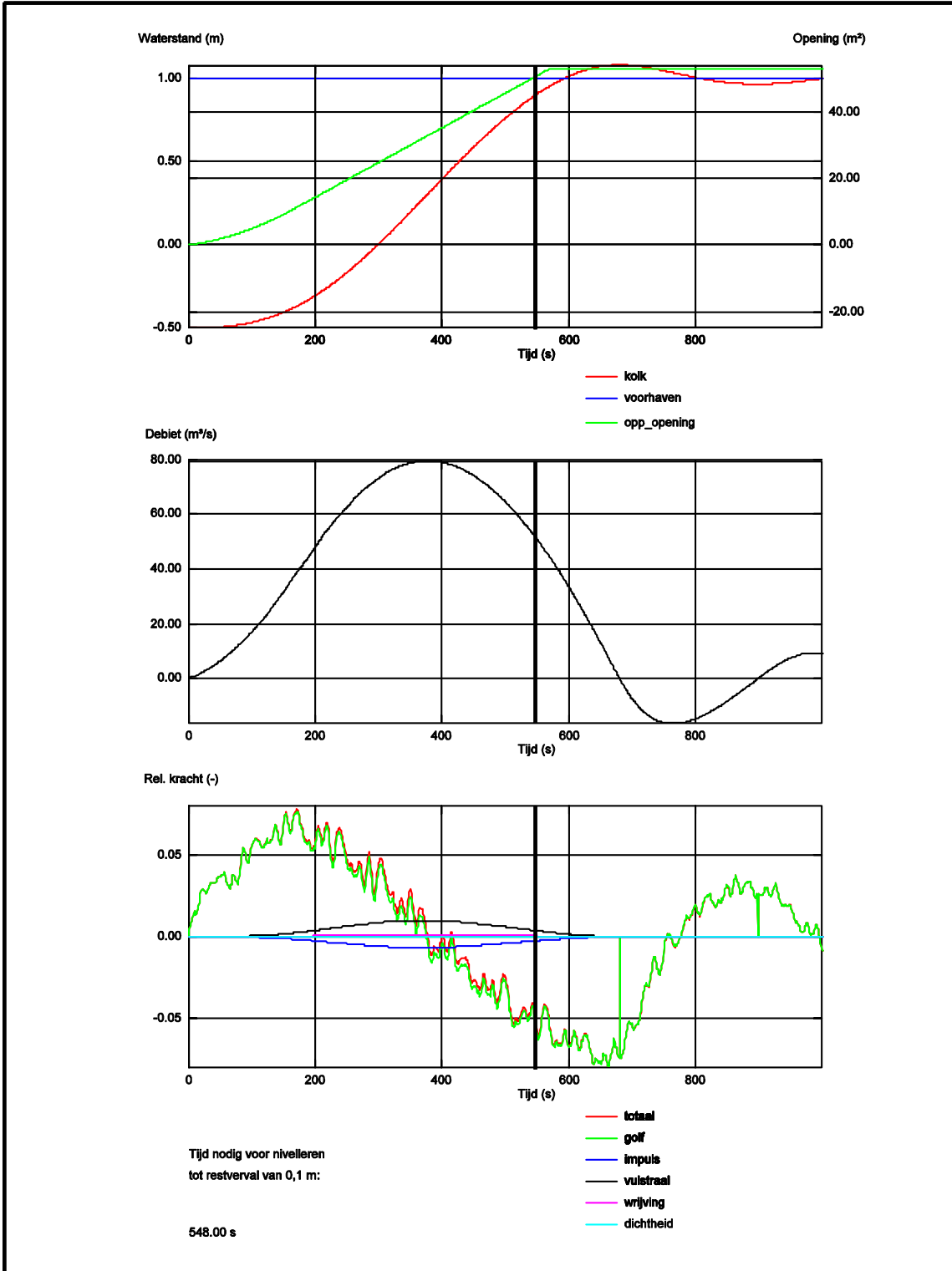
4 Conclusies

Er zijn nog veel vragen te stellen omtrent de aan te houden waarden voor o.a. de dichtheidsverschillen en de criteria. Ook blijkt de modellering van het stelsel van riolen van de Noordersluis tot veel vragen te leiden, waarvoor het beschikbare validatie-materiaal geen afdoende antwoorden geeft.

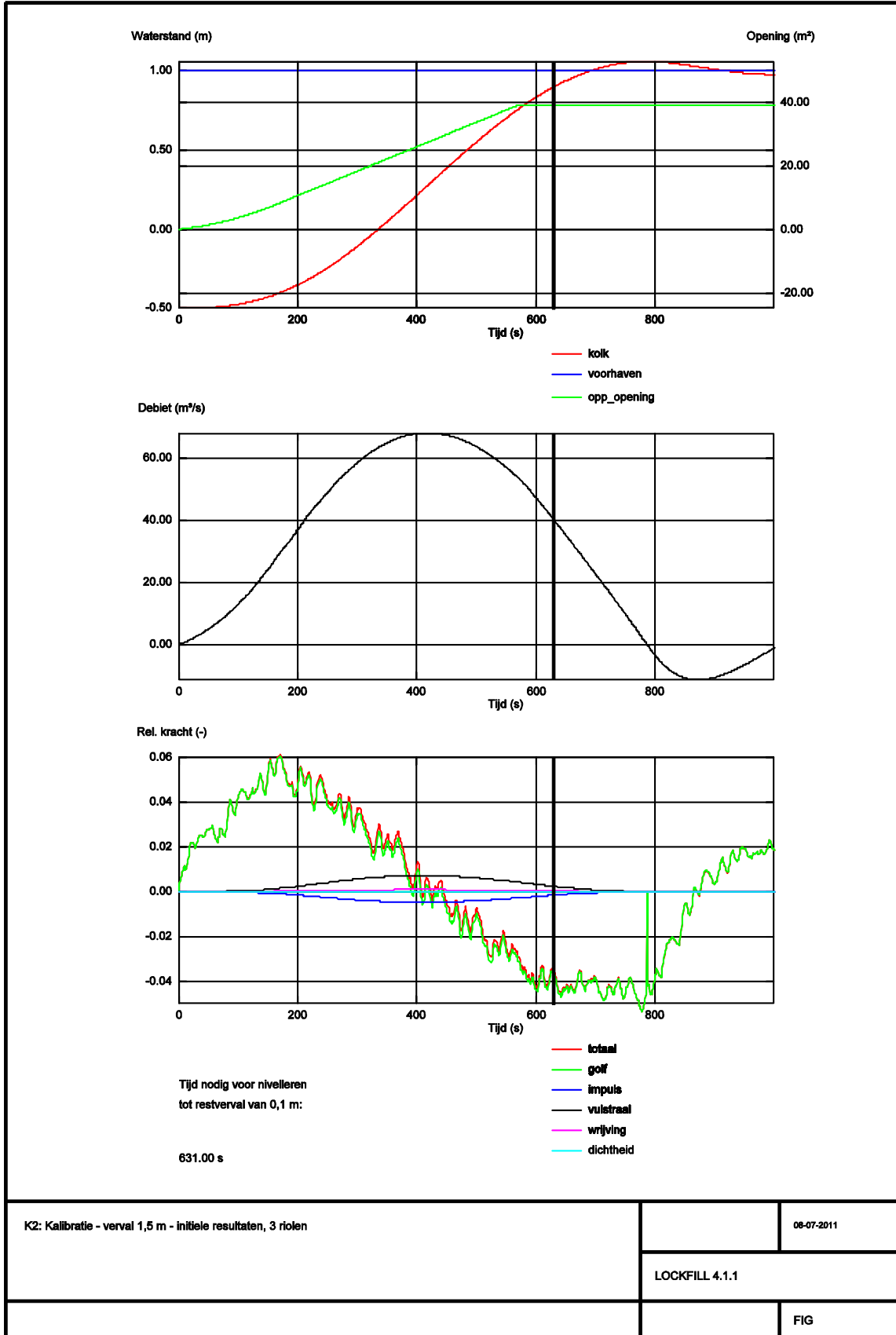
Ondanks deze vragen omtrent de schematisatie en de invoer-parameters zijn voor enkele typische gevallen berekeningen gedaan van de nivelleertijd en de troskrachten. Hieruit blijkt dat de troskrachten bij het vullen van de sluis worden gedomineerd door de dichtheidsverschillen, en dat de troskrachten veel groter zijn dan het nu gangbare criterium van 0,2 ‰. De krachten zijn zelfs groter dan het dubbele daarvan. Deze dubbele waarde van 0,4 ‰, zou overwogen kunnen worden voor extreme condities (zoals hier beschouwd), waarbij de springlijnen dubbel worden uitgezet. Een beter alternatief zou echter zijn om in zo'n geval slechts 2 van de 4 riolen te gebruiken (één aan weerszijden van het sluishoofd).

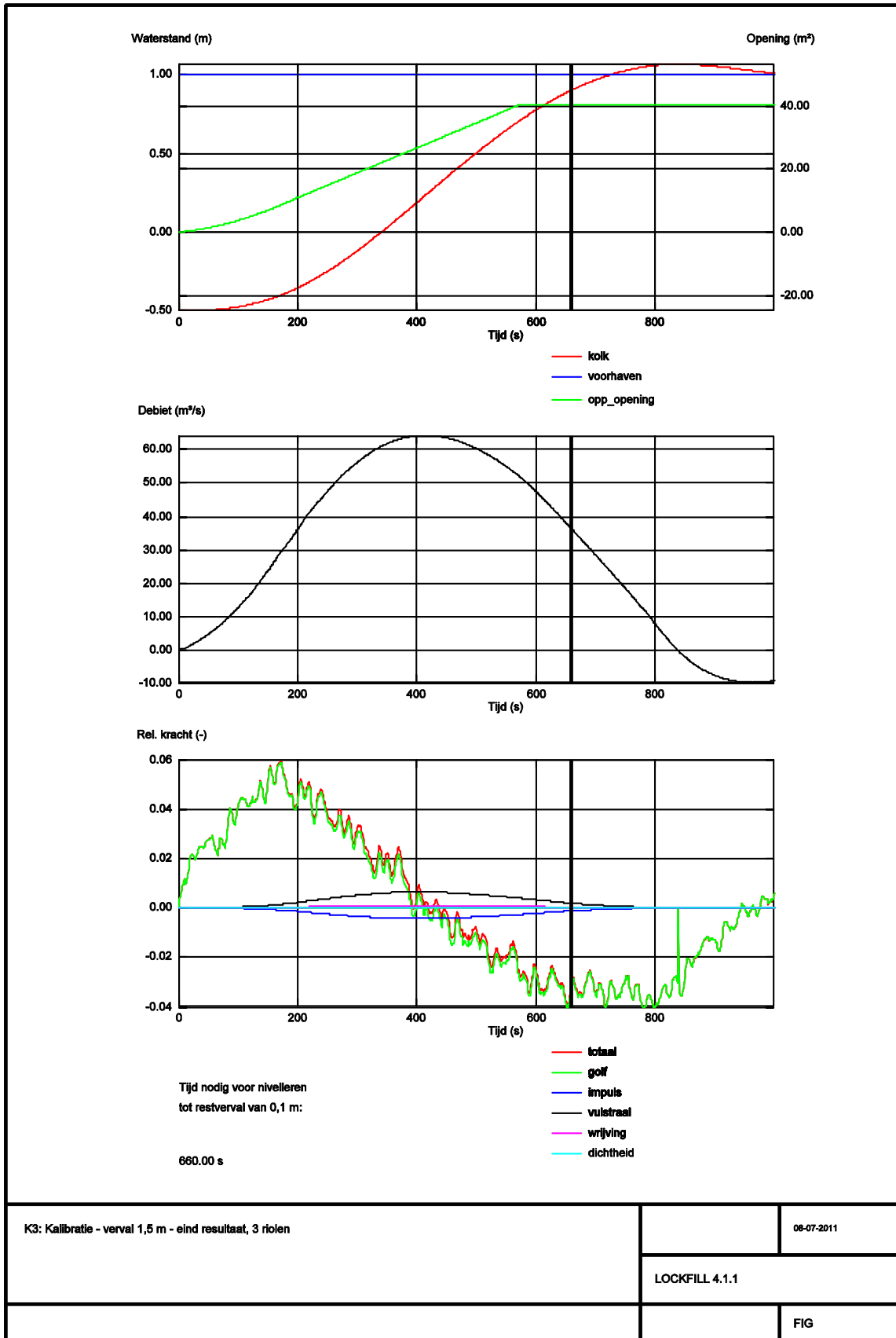
In deze evaluatie is geen aandacht besteed aan de troskrachten op de schepen in de sluis die optreden als de deuren open gaan. Op basis van de WL-rapporten uit 1983 (R1758/M1859) mag verwacht worden dat deze van dezelfde orde van grootte zullen zijn als de krachten tijdens het nivelleren.

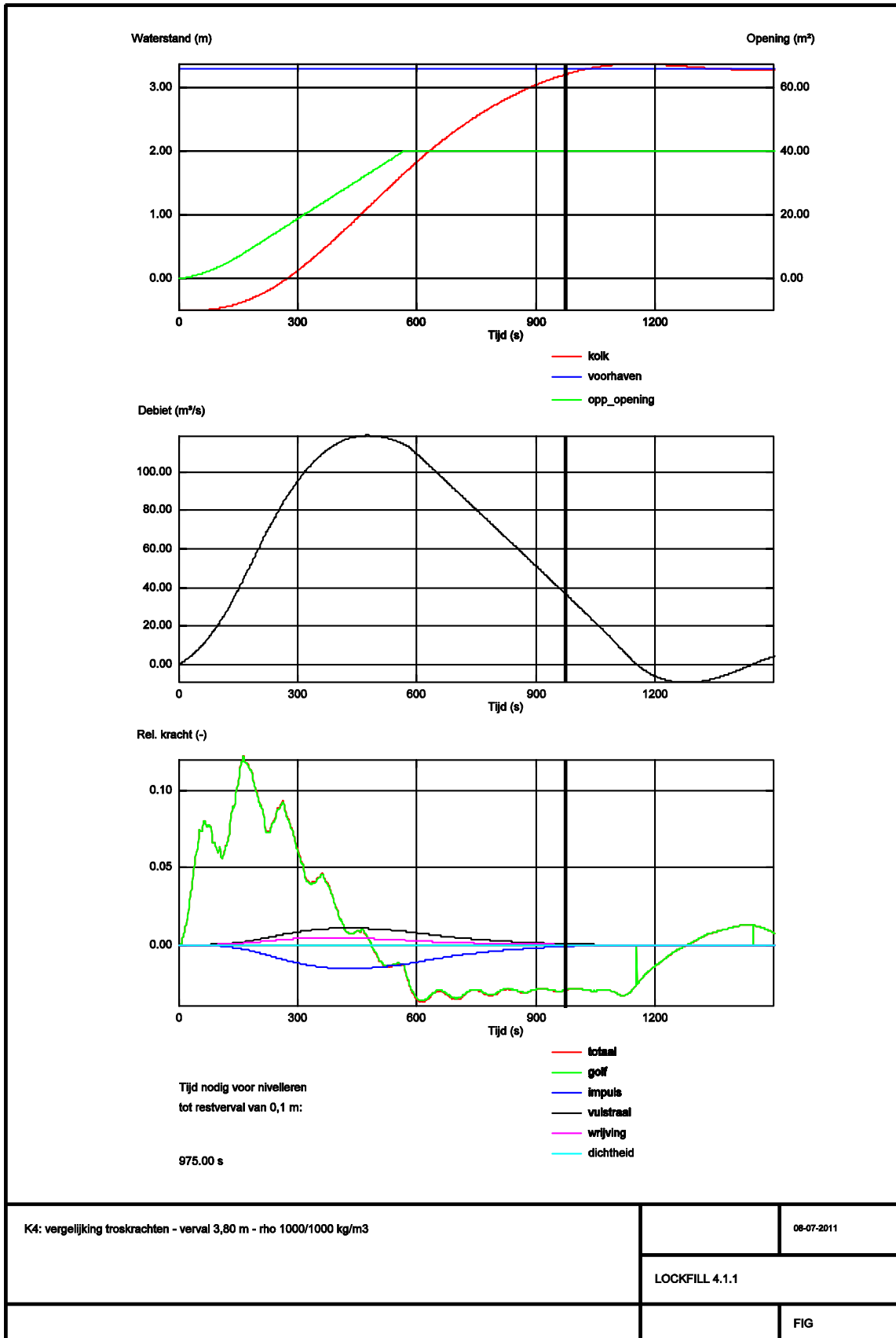
Tenslotte is gebleken dat het nivelleren in het geval van een dichtheidsverschil in Lockfill waarschijnlijk niet geheel juist wordt weergegeven: het waterstandsverschil aan het eind lijkt geen rekening te houden met de verticale positie van de nivelleer-openingen, waardoor het waterstandsverschil aan het einde groter is dan te verwachten. Lockfill zou (o.a.) op dit punt verbeterd moeten worden.

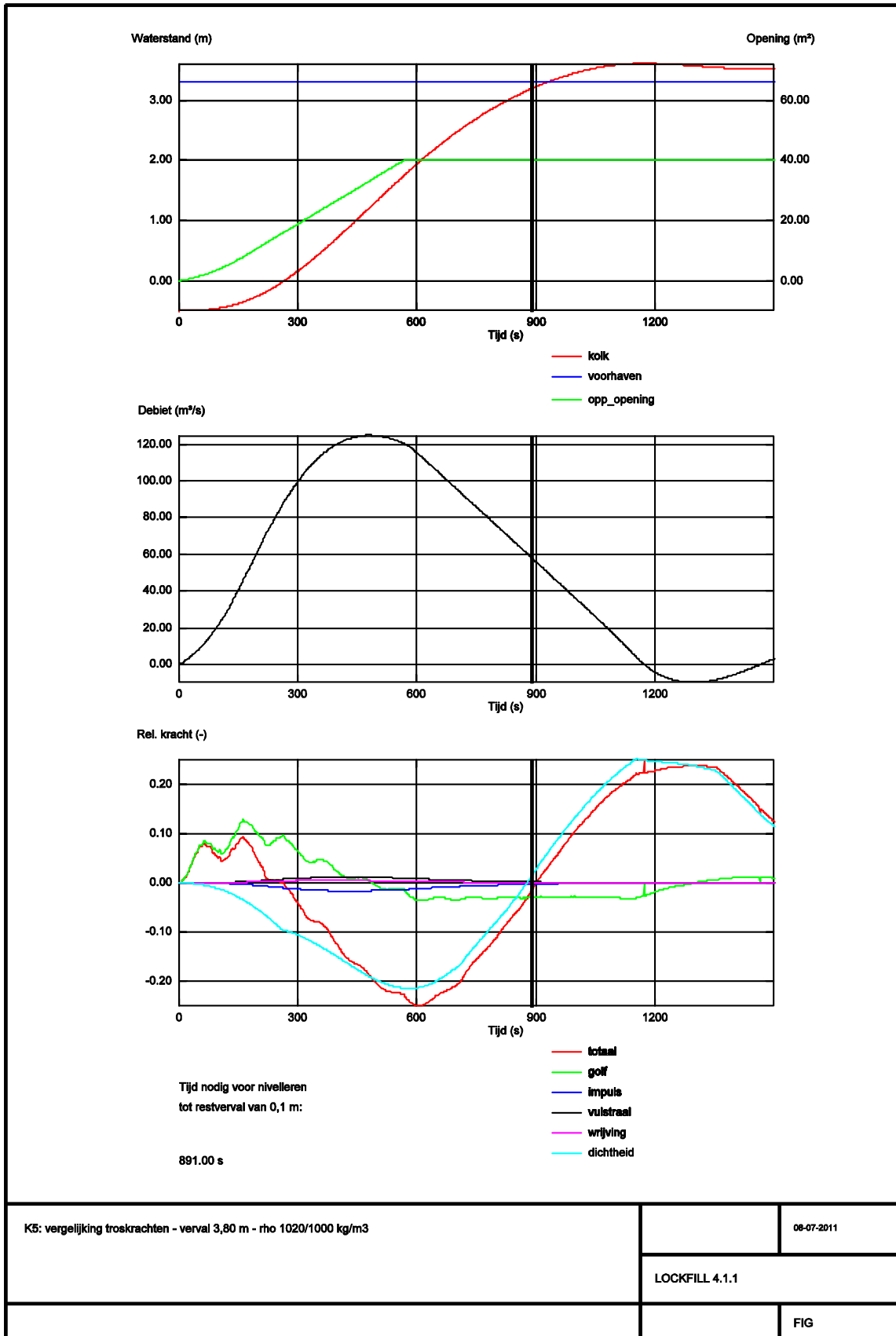


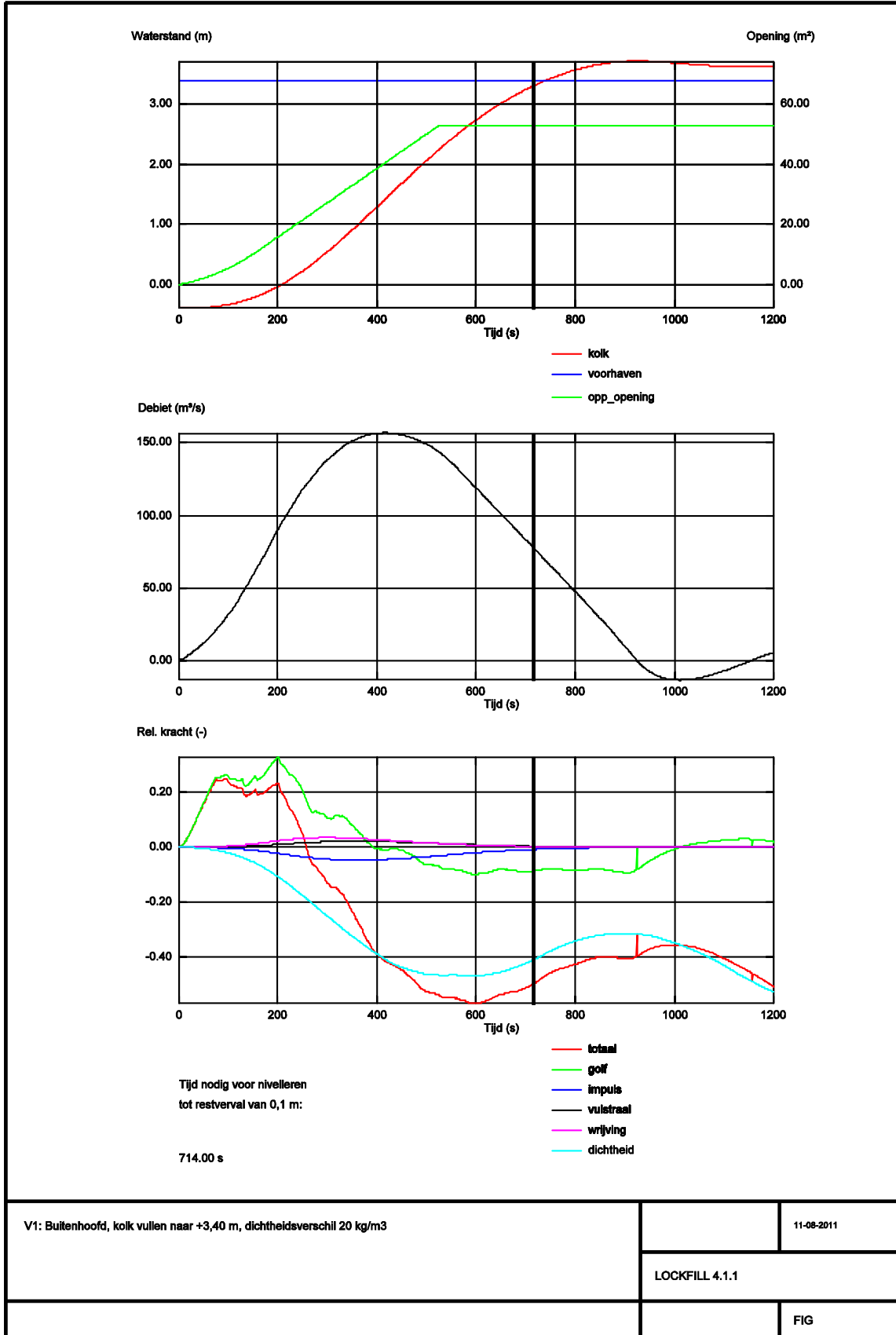
K1: Kalibratie - verval 1,5 m - initiële resultaten, 4 rollen		08-07-2011
	LOCKFILL 4.1.1	
		FIG

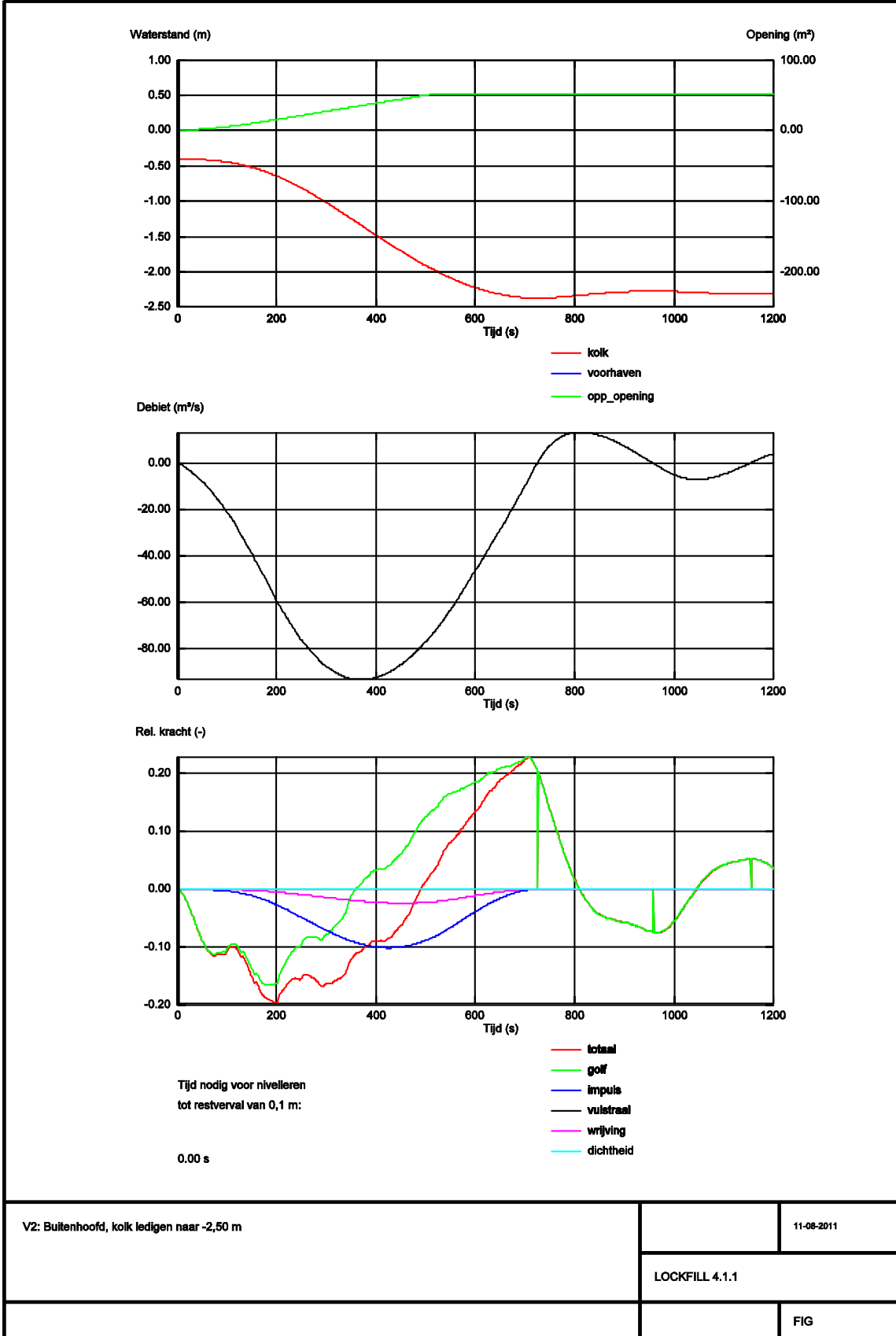


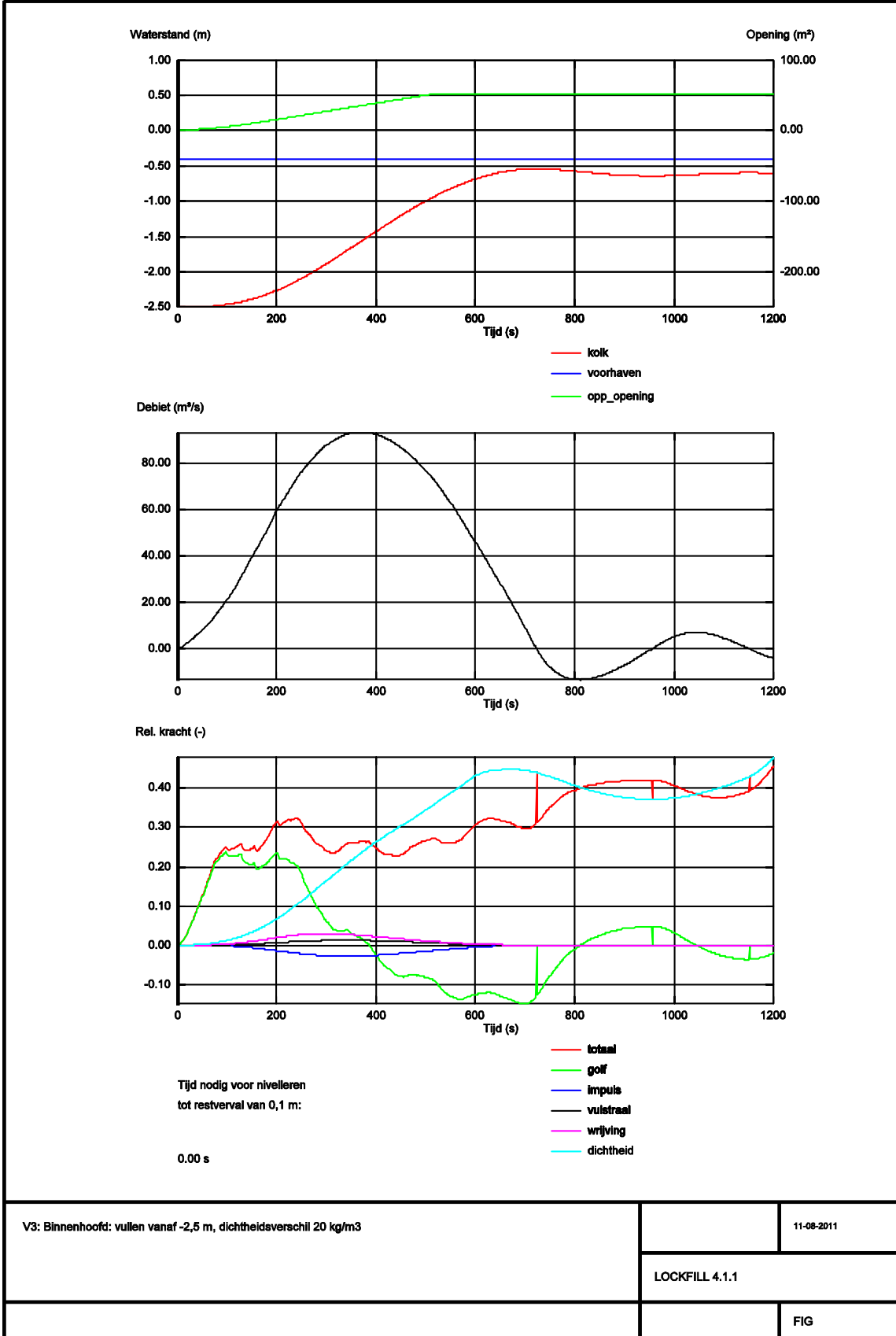


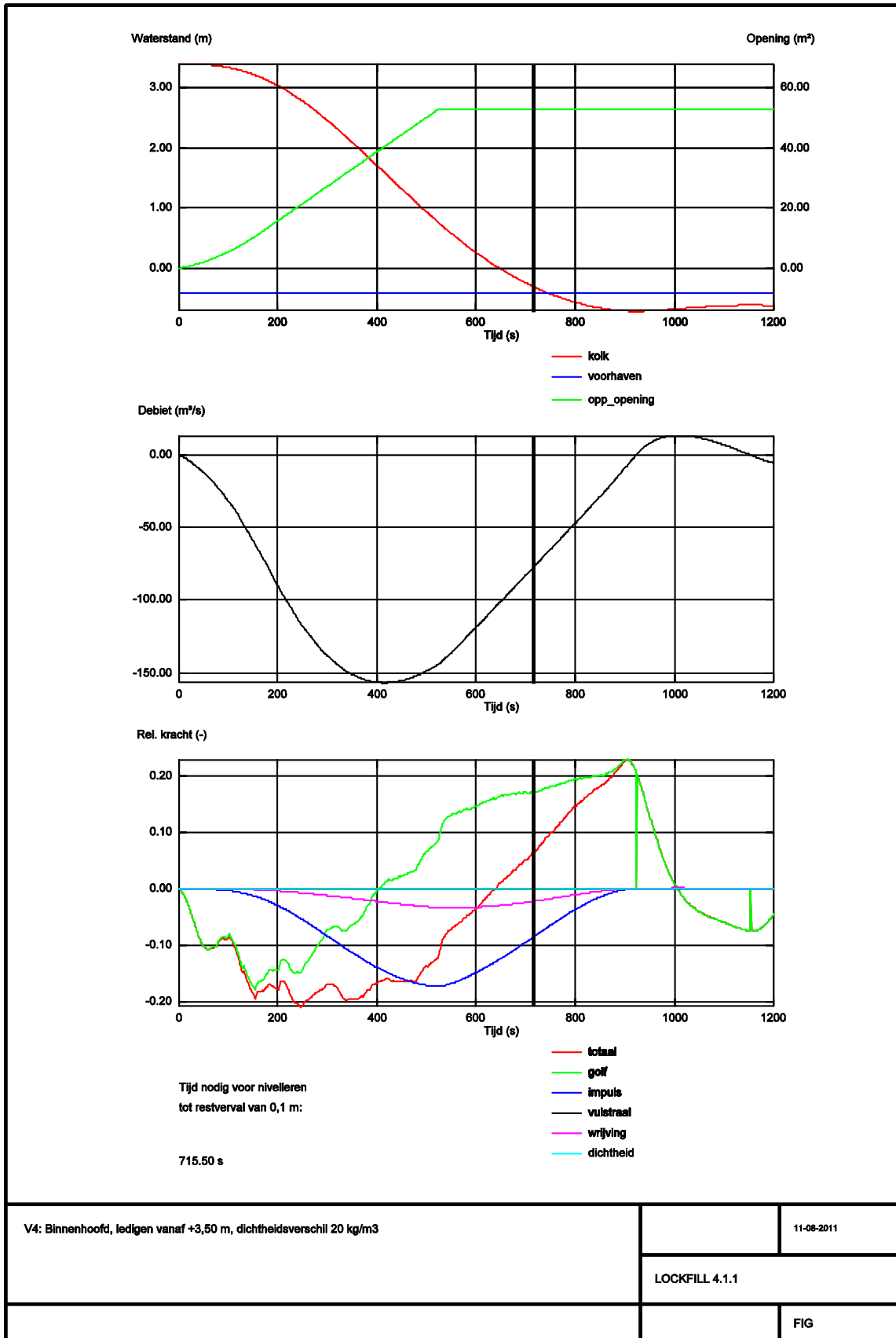














DHV b.v.

Laan 1914 nr. 35
3818 EX Amersfoort
Postbus 1132
3800 BC Amersfoort
Nederland
Telefoon +31 (0)33 468 20 00
Fax +31 (0)33 468 28 01
www.dhv.nl

iv-Infra b.v.

Noordhoek 37
3351 LD Papendrecht
Postbus 1155
3350 CD Papendrecht
Nederland
Telefoon +31 (0)78 644 81 11
Fax +31 (0)78 644 81 12
www.iv-infra.nl