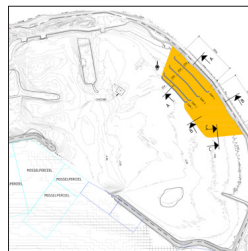





Proef Schelphoek ontwerprapport



Proef Schelphoek ontwerprapport

referentie RW1809-28/winb/064	projectcode RW1809-28	status definitief
projectleider drs. V.J. Coenen	projectdirecteur drs. D.J.F. Bel	datum 10 maart 2011

autorisatie goedgekeurd	naam ir. M. Caljouw	paraaf 
-----------------------------------	-------------------------------	--

Witteveen+Bos
Alexanderstraat 21
Postbus 85948
2508 CP Den Haag
telefoon 070 370 07 00
telefax 070 360 00 98
www.witteveenbos.nl

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit bestek/drukwerk mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V., noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. INLEIDING	1
1.1. Aanleiding	1
1.2. Locatie Schelphoek	1
1.3. Doel van de proef	2
1.4. Proefopzet en ontwerpogave	2
2. PROGRAMMA VAN EISEN	4
3. UITGANGSPUNTEN	11
3.1. Bodemligging	11
3.2. Hydrodynamische uitgangspunten	11
3.2.1. Waterstanden	11
3.2.2. Wind	12
3.2.3. Golfcondities	12
3.2.4. Stromingscondities	15
3.2.5. Bodemverandering tussen 2001 en 2007	16
3.3. Bodem gesteldheid	16
3.3.1. Bodemopbouw Schelphoek	16
3.3.2. Sediment Schelphoek	16
3.3.3. Suppletiemateriaal	17
3.4. Ecologische uitgangspunten	17
3.4.1. Huidige schorvegetaties in Schelphoek	17
3.4.2. Bodemdieren	17
3.4.3. Vogels in Schelphoek	17
3.4.4. Zoogdieren	19
3.4.5. Conclusie huidige situatie	19
3.5. Locatie mosselpercelen en visvakken	19
3.6. Toekomstige toepassing cascade	20
4. HYPOTHESE	22
4.1. Golven	23
4.1.1. Bestaande situatie	23
4.1.2. Effect van de cascade en drempels	23
4.2. Stroming	26
4.2.1. Terugtrekkende stroming	26
4.2.2. Getijdestroming	26
4.3. Morfologische effecten	27
4.3.1. Lokaal - ontgroningen	27
4.3.2. Globale effecten	27
4.3.3. Doorstroomopeningen en randeffecten	27
4.3.4. Morfologische effect aansluitconstructie	28
4.4. Verwachte/wenselijke ecologische ontwikkeling van het proefgebied	29
4.4.1. Hoogteligging en vormgeving slikken	30
4.4.2. Schorvorming op nieuw gesuppleerd zand	31
4.4.3. Aangroeimogelijkheden materiaal drempels	31
4.5. Evenwichtsprofiel	32
4.6. Dijkvoetsuppletie	34
4.7. Samenvatting hypothesen	35
5. ONTWERP VAN DE PROEF LAY-OUT EN HOOFDDIMENSIES	37
5.1. Hoogteligging van de cascades (slik) en de dijkvoetsuppletie	37

5.2.	Hoogte drempels	37
5.3.	Lay-out van de proef	38
5.3.1.	Hoofddimensies	38
5.3.2.	Rand suppletiegebied	39
5.3.3.	Dijkvoetsuppletie	39
5.3.4.	Lay-out van de drempels	39
5.4.	Doorstroomopeningen	40
5.4.1.	Afstand tussen de openingen	40
5.4.2.	Ontwerp openingen	40
5.5.	Deel van de proef zonder cascadedrempels	40
6.	DEFINITIEF ONTWERP VAN DE CASCADE DREMPELS	41
6.1.	Materialen	41
6.2.	Ontwerpcriteria en ontwerpoverwegingen cascade drempels	42
6.3.	Opbouw van de cascade drempels	43
6.3.1.	Diepste drempel	43
6.3.2.	Overige drempels	45
6.4.	Dimensionering van de drempels	47
6.4.1.	Ontwerp waterstanden en golven	47
6.4.2.	Ontgrondingsdiepte	47
6.4.3.	Dimensies buitenste drempel	49
6.4.4.	Dimensies overige drempels	51
7.	VERIFICATIE VAN EISEN	53
8.	LITERATUUR	62

laatste bladzijde	63
-------------------	-----------

bijlagen	aantal blz.
I Tekening definitief ontwerp van de proef	1
II Evenwichtsprofielen	1
III Toegepaste formules en methodes	8
IV Dimensies houten damwand	4
V Eigenschappen houten damwand	1
VI Tekening concept ontwerp van de proef -details	1
VII Specificaties bouwmaterialen cascade drempels	4

1. INLEIDING

1.1. Aanleiding

Na aanleg van de Oosterscheldewerken stroomt er minder water in en uit de Oosterschelde en daardoor stroomt er minder water door de getijdengeulen. Het water in de geulen is daardoor zo langzaam gaan stromen dat sediment uit de geulen niet meer wordt meegevoerd naar het intergetijdengebied (de platen). Bij storm spoelt er wel zand van de platen in de geulen. Doordat er wel zand wordt weggevoerd maar niet meer wordt aangevoerd is het evenwicht verstoord en verdwijnt er intergetijdengebied. Dit proces staat bekend als 'zandhonger' [ref. 3.].

Van de 11.300 ha intergetijdengebied in 1986 is nu nog ruwweg 10.000 ha over. De zeespiegelstijging versnelt naar verwachting dit verdrinken (op dit moment zijn de effecten van zeespiegelstijging nog niet meetbaar). Door het verdrinken verliezen de dijken hun golfremmend voorland. Tijdens de lente- en herfstmigratie van meer dan 100.000 steltlopers vormen de intergetijdengebieden van de Oosterschelde een belangrijke pleisterplaats. Het verlies aan platen, slikken en schorren is niet alleen nadelig voor de natuur, maar ook voor de recreatie (achteruitgang landschap) en schelpdiervisserij.

In de periode 2004-2010 zijn verkenningen uitgevoerd naar mogelijke maatregelen om de 'zandhonger' te vertragen, te stoppen of zelfs te keren (zie onder andere [ref. 3.] en [ref. 20.]). Twee mogelijke ingrepen zijn: (i) strategische zandsuppleties om de zandhonger in de voordelta weg te nemen (ii) aanpassen aan ontgrondingskuilen om zandtransport door de Oosterscheldekering mogelijk te maken. Idee is om met suppleties op strategisch gekozen locaties of erosieremmende maatregelen bestaand intergetijdengebied te behouden of misschien zelfs te herstellen. Omdat weinig bekend is over aanlegkosten, effectiviteit, te verwachten levensduur en effecten van suppleties op natuur, troebelheid en de gebruikers (mossel- en oesterkweek, vissers, duikers en recreatie) is beproeving van de maatregelen in de praktijk noodzakelijk.

Er is in het vooronderzoek een aantal praktijkproeven gedefinieerd om de effectiviteit en duurzaamheid van maatregelen beter te kunnen beoordelen. Eén van deze proeven is de proef Schelphoek. De proef Schelphoek bestaat uit een geïntegreerde aanleg van zowel een dijkvoetsuppletie als een cascade oeververdediging op proeflocatie Schelphoek. Met de dijkvoetsuppletie wordt zand aan de voet van de dijk aangebracht. Het aangebrachte zand moet zich geleidelijk over het voorliggende slik verspreiden met een snelheid waarbij bodemdieren niet massaal begraven worden door wegspoelend zand. Het wegspoelen naar de zone beneden de laagwaterlijn wordt bemoeilijkt door de cascade oeververdediging.

De proef Schelphoek maakt onderdeel uit van de MIRT Verkenning zandhonger. Het hoofddoel van deze MIRT Verkenning is om na te gaan of er effectieve maatregelen zijn voor het afremmen van het erosieproces. Met de proef in Schelphoek wordt bepaald of een gecombineerde dijkvoetsuppletie met cascadedrempels een effectieve oplossing is voor de bescherming van slikken.

1.2. Locatie Schelphoek

Schelphoek ligt in de Oosterschelde aan de zuidkant van Schouwen-Duiveland, tussen Burgh-Haamstede en Zierikzee. Het is een gebied van ongeveer 210 ha groot, dat is ontstaan door een dijkdoorbraak tijdens de watersnoodramp in 1953. De dijkdoorbraak is nooit hersteld, en om de ontstane waterpartij is een ringdijk aangelegd. Het gebied binnen de ringdijk heeft een relatief beschutte ligging vanwege de aanwezigheid van restanten dijk, die dateren van voor 1953. De baai die ontstaan is na de dijkdoorbraak staat in open verbinding met de Oosterschelde door een opening van circa 500 m.

In de baai is een natuurgebied ontstaan met het karakter van een zilt water en intergetijdengebied. Het schorareaal in Schelphoek is van zeer kleine omvang en door beperkte aanvoer van sediment vanuit de Oosterschelde zal schorontwikkeling niet vanzelf optreden [ref. 2.] en [ref. 1.]. De golven en getij zijn

de aandrijvende krachten voor morfologische veranderingen, maar een aantal menselijke ingrepen in het gebied spelen ook een duidelijke rol.

Het gebied Schelphoek is grotendeels in beheer van Staatsbosbeheer. De Oosterscheldedijk is in beheer bij het waterschap Zeeuwse Eilanden. In afbeelding 1.1 is Schelphoek weergegeven met het projectgebied.

afbeelding 1.1. Locatie proef Schelphoek met projectgebied



1.3. Doel van de proef

Rondom de aanleg van de geïntegreerde dijkvoetsuppletie met een cascade oeververdediging is er een aantal onzekerheden. Het is onduidelijk in welke mate een cascade oeververdediging in staat is om het zand vast te houden en daarmee is de effectiviteit van de cascade (in feite de verlenging in jaren van de suppletie) niet zeker. Het doel van de proef is te bezien hoe het zand uit de suppletie zich door getij en golven verspreidt over het voorliggende slik en of de cascade het wegspoelen van het zand in de richting van de geul weet te vertragen. Hierbij is het belangrijk wat de effecten zijn van de proef op bodemligging, morfologie, golven, stroming en de herkolonisatie van bodemdieren op de cascade.

1.4. Proefopzet en ontwerpogave

De proef betreft een gecombineerde suppletie tegen de dijkvoet die aan de slikzijde gedeeltelijk verdedigd wordt door een cascade oeververdediging met zandvangdrempels aan de oost zijde van Schelphoek. In de offerteaanvraag [ref. 21.] is het principe van de proef gegeven en zal de suppletie globaal bestaan uit ongeveer 85.000 m³ zand met ongeveer de volgende dimensies:

- 400 m lang;
- een breedte van 100 m;
- een top van ongeveer 1 m + NAP.

De cascade bestaat uit een serie drempels, die als walletjes in de plaat of het slik zijn ingegraven. De constructies zijn ongeveer een 0,5 m tot 1 m hoog en kunnen bestaan uit diverse soorten materialen. Om een vergelijking te kunnen maken met een traditionele zandsuppletie zonder drempels zal naast de cascade een traditionele zandsuppletie worden geplaatst.

Voor de precieze lay-out en hoofdimensies van zowel de dijksuppletie als de cascade oeververdediging (aantal, lengte, breedte, hoogte en het materiaal) zijn keuzes gemaakt en in het ontwerpproces geoptimaliseerd. Het optimaliseren van deze parameters heeft geleid tot een ontwerp van de proef welke op voorhand als meest effectief wordt gezien maar ook voldoende representatief voor de Oosterschelde. Ter onderbouwing van de ontwerpkeuzes zijn eerst hypothesen gesteld van de effecten van de proef op stroming, golven, morfologie, verstuiving en herkolonisatie van bodemdieren (zie hoofdstuk 4). Het uiteindelijk ontwerp zal dienen als basis voor het bestek en een inschatting van de kosten.

2. PROGRAMMA VAN EISEN

Voor ontwerp en uitvoering van de proef zijn de volgende eisen van toepassing.

eis ID	SCH_001
onderwerp	vertroebeling
bron	offerteaanvraag [ref. 21.]
eis tekst	Tijdens de uitvoering van de proef dient het zand binnen perskaden te worden aangebracht om ongecontroleerde afvloeit van met zand beladen water te voorkomen. Zodat er geen vissen onder het zand bedolven kunnen raken en zonder dat er te veel zweefstof in de omgeving verspreidt. Bij de afvoerpunten van het perswater uit de suppletie mag de concentratie aan zwevende stof niet hoger zijn dan omgevingswaarde verhoogd met 100 mg/l. Deze eis is gehanteerd bij de aanleg van de proefsuppletie op de Galgeplaat. De aannemer gaat dit zelf controleren door het bepalen van de omgevingswaarde voor aanleg, tijdens aanleg en na aanleg.
fase	uitvoering
eis ID	SCH_002
onderwerp	aanleg periode
bron	offerteaanvraag [ref. 21.]
eis tekst	Aanleg dient plaats te vinden in de periode van mei tot en met juli vanwege de geringe vogelaantallen in die periode en rekolonisatie mogelijkheden voor de bodemdieren. Aanleg in een andere periode kan leiden tot een mitigatieverplichting vanuit Natuur Bescherming wet kader.
fase	uitvoering
eis ID	SCH_003
onderwerp	levensduur van de proef
bron	Witteveen+Bos
eis tekst	De beoogde levensduur van de proefopstelling is 20 jaar. Dit geldt onder andere voor: (I) de materialen van de drempels; (II) de keuze voor ontwerp golf- en stroming condities (herhalingstijd) ten aanzien van de stabiliteit van de drempels; (III) de vooroeversuppletie.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_004
onderwerp	materiaal drempel
bron	offerteaanvraag [ref. 21.]
eis tekst	Voor ontwerp en constructie van de drempels dienen zoveel mogelijk natuurlijke materialen, zoals natuursteen, schelpen, grind of verkit zand te worden gebruikt.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_005
onderwerp	zandwingsgebied
bron	offerteaanvraag [ref. 21.]
eis tekst	Het zand voor de proef dient te worden gewonnen uit de aanloop van de Roompotsluis.
fase	uitvoering

eis ID	SCH_006
onderwerp	verstuiving
bron	offerteaanvraag [ref. 21.]
eis tekst	Verstuiving van zand van de dijkvoetsuppletie dient te worden voorkomen.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_007
onderwerp	oppervlak van drempels
bron	offerteaanvraag [ref. 21.]
eis tekst	De drempels moeten een minimaal oppervlaktebeslag hebben teneinde zo weinig mogelijk schade aan foerageerareaal voor de vogels te berokkenen.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_008
onderwerp	afwerking drempels
bron	offerteaanvraag [ref. 21.]
eis tekst	De afwerking moet zodanig zijn dat de drempels een habitat vormen voor mariene flora en fauna.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_009
onderwerp	cascade als hindernis
bron	offerteaanvraag [ref. 21.]
eis tekst	Van het ontwerp moet modelmatig, dan wel met ervaring uit andere plaatsen/proeven aannemelijk worden gemaakt dat de cascade een hindernis zal vormen voor naar de geulen wegstromend zand.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_010
onderwerp	representativiteit van de proef
bron	Witteveen+Bos
eis tekst	De proef dient voor zover mogelijk representatief te zijn voor toepassing op andere locaties in de Oosterschelde, i.e. met een lichter of zwaarder golfklimaat/stroming.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_011
onderwerp	zandvangdrempels
bron	workshop 1 [ref. 12.]
eis tekst	Het areaal met een droogvalduur van 20-50 % tijdens een getijdecyclus is ecologisch het meest interessant. Het gebied met deze areaal moet daarom: <ul style="list-style-type: none"> - relatief het grootste areaal hebben; - één tussendam krijgen.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_012
onderwerp	profiel zandsuppletie
bron	workshop 1 [ref. 12.]
eis tekst	Het suppletiezand moet: <ul style="list-style-type: none"> - bij aanleg tussen de drempels in het verwachte evenwichtsprofiel worden gestort; - als dijkvoetsuppletie een buffer vormen om erosie tussen de drempels te kunnen compenseren.
fase	ontwerp

eis ID	SCH_013
onderwerp	suppletiemateriaal
bron	workshop 1 [ref. 12.]
eis tekst	Het suppletiemateriaal heeft een maximale korrelgrootte van 200 µm en een slib fractie van maximaal 1,0 - 1,5 %.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_014
onderwerp	afwatering
bron	workshop 1 [ref. 12.]
eis tekst	Vanwege de afwatering van water van de cascade dient een hypothese opgesteld te worden over de mate van doorlatendheid van de drempels.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_015
onderwerp	dijkvoetsuppletie
bron	workshop 1 [ref. 12.]
eis tekst	Het ontwerp van de hoogte van de dijkvoetsuppletie dient gestuurd te worden door het fenomeen winderosie (verstuiving) en niet door veiligheid of schorvorming.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_016
onderwerp	lay-out proef
bron	workshop 1 [ref. 12.]
eis tekst	Er dient een gecombineerde proef ontworpen te worden: een deel met drempels en een deel zonder drempels.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_017
onderwerp	materialen zandvangdrempels
bron	workshop 1 [ref. 12.]
eis tekst	De volgende materialen/constructies dienen niet te worden toegepast in de zandvangdrempels: <ul style="list-style-type: none"> - rijshout dammen; - ground consolidators; - smartsoils; - geotubes.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_018
onderwerp	(oester)schanskorven
bron	workshop 2 [ref. 40.]
eis tekst	Bij toepassing van schanskorven in de onderste drempel zal de helft van de lengte van schanskorven volledig gevuld worden met breuksteen. In de andere helft wordt de onderste helft van de schanskorven gevuld met breuksteen en de bovenste helft met oesters.
fase	ontwerp

eis ID	SCH_019
onderwerp	(oester)schanskorven
bron	workshop 2 [ref. 40.]
eis tekst	Bij toepassing van schanskorven in de onderste drempel zal de hoogte van de korven minimaal 40 cm bedragen en de vulling bestaan uit breuksteen van gradering 10-60 kg.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_020
onderwerp	doorstroomopeningen
bron	workshop 2 [ref. 40.]
eis tekst	In doorstroomopeningen dient het verticale geotextiel volledig te worden weggelaten.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_021
onderwerp	doorstroomopeningen
bron	workshop 2 [ref. 40.]
eis tekst	Eén van de dammen dient uitgevoerd te worden zonder doorstroomopeningen zodat het effect van de openingen duidelijk wordt.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_022
onderwerp	toepassing van geotextiel
bron	workshop 2 [ref. 40.]
eis tekst	Waar een verticaal geotextiel nodig wordt geacht in de cascadedrempels zal deze van de onderzijde tot aan de kruin worden toegepast.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_023
onderwerp	randen suppletiegebied
bron	workshop 2 [ref. 40.]
eis tekst	Op de randen van het suppletiegebied op de overgang naar de bestaande bodem zal een maximale helling van 1:50 worden toegepast. Aan de zijanten van de suppletie (noord- en zuidzijde) wordt een helling van 1:25 voldoende bevonden.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_024
onderwerp	dijkvoetsuppletie
bron	workshop 2 [ref. 40.]
eis tekst	De breedte van de dijkvoetsuppletie dient 20 m te bedragen. Dit in tegenstelling van concept 02 van het ontwerp waar een breedte van 50 m is gesteld. Met de 30 m die op deze manier wordt 'gewonnen' zal het gebied tussen dam 2 en dam 4 worden verbreed.
fase	ontwerp
eis ID	SCH_025
onderwerp	aanlegperiode
bron	vergunningen en Rijkswaterstaat Zeeland
eis tekst	<ul style="list-style-type: none"> - uitvoering van de zandsuppletie start op 1 juni of later; - start van de constructies na 15 juli; - uitvoering voltooid voor 15 september (in verband met stormseizoen).
fase	uitvoering

eis ID	SCH_026
onderwerp	werktijden uitvoering
bron	vergunningen
eis tekst	De uitvoering van de constructies zal plaatsvinden tussen 6 uur en 22 uur.
fase	uitvoering
eis ID	SCH_027
onderwerp	locatie hopper/bakkenzuiger voor zandsuppletie
bron	vergunningen
eis tekst	De hopper of bakkenzuiger is gelegen aan de buitenzijde van de Schelphoek. De hopper dient buiten de mossel- en vispercelen te liggen.
fase	uitvoering
eis ID	SCH_028
onderwerp	verstoring Weversinlaat tijdens uitvoering
bron	vergunningen
eis tekst	Er zal zorgvuldig gezorgd worden dat de machines niet onnodig boven de kruin van de dijk uit steken om binnendijkse verstoring te voorkomen.
fase	uitvoering
eis ID	SCH_029
onderwerp	persleiding voor suppletie
bron	vergunningen
eis tekst	De persleiding ten behoeve van de suppletie zal gelegen zijn aan de buitenzijde van de dijk.
fase	uitvoering
eis ID	SCH_030
onderwerp	zeehondenrustplaats
bron	vergunningen
eis tekst	Alle activiteiten zullen op meer dan 2.000 m van een belangrijke zeehondenrustplaats op de Roggeplaat plaats vinden.
fase	uitvoering
eis ID	SCH_031
onderwerp	aanvoer materiaal/materieel over water
bron	vergunningen
eis tekst	De aanvoer van materialen zal voornamelijk plaatsvinden over het water. Dit kan gelost worden op de kades in westen van Schelphoek. Aan de scheepvaartactiviteiten zijn de volgende eisen verbonden: <ul style="list-style-type: none"> - de scheepvaartactiviteit vindt op minimaal 150 m van het vogeleiland plaats; - geen scheepvaartbewegingen over de mosselpercelen; - om bovenstaande te verwezenlijken zullen boeien worden geplaatst.
fase	uitvoering

eis ID	SCH_032
onderwerp	Zandwinning - zettingsvloeiing
bron	[ref. 43.]
eis tekst	Bij het winnen van zand nabij de Roompotsluizen bestaat er een geringe kans op zettingsvloeiing. Om het risico te minimaliseren worden de volgende mitigerende maatregelen aan winning opgelegd: <ul style="list-style-type: none"> - winning zal plaats vinden van de diepe naar de ondiepe zijde van het zandwingebied; - bij de winning van het zand dient mors te worden voorkomen; - tevens mag er geen materiaal aangebracht en/of opgehoopt te worden aan de taludzijde; - voor de baggerwerkzaamheden dienen slagen groter dan 1,5-2 m voorkomen te worden; - er dient te worden gemonitord of een zettingsvloeiing zich inderdaad niet voordoet; - de winning dient te worden uitgevoerd met een sleephopperzuiger en niet met een steekzuiger.
fase	uitvoering
eis ID	SCH_033
onderwerp	broedvogels
bron	vergunningen
eis tekst	De grasmat op de dijk nabij het plangebied dient kort voor het broedseizoen (eind maart) gemaaid te worden. Dit voorkomt vestiging van broedvogels zoals de graspieper en voorkomt daardoor verstoring van broedvogels (aanbeveling uit natuurtoets).
fase	uitvoering
eis ID	SCH_034
onderwerp	schade tijdens de uitvoering
bron	vergunningen
eis tekst	Kades, wegen etc. zullen in de oorspronkelijke staat worden teruggebracht.
fase	uitvoering
eis ID	SCH_035
onderwerp	gebruik van openbare weg tijdens uitvoering
bron	vergunningen
eis tekst	Borden voor afslag van werkverkeer zijn niet vergunningplichtig, vergunningplicht geldt pas als de verkeerssituatie gewijzigd wordt met bijvoorbeeld afremmen van de snelheid, dat is niet aan de orde. Wel dient plaatsing van (extra) borden, exacte locatie en periode gemeld te worden via wegendistrictzeeland@rws.nl . Verder wordt het wegendistrict graag op de hoogte gesteld als bekend is volgens welke route het materiaal van de kades naar het plangebied wordt vervoerd.
fase	uitvoering
eis ID	SCH_036
onderwerp	aanvoer materiaal en materieel over land
bron	vergunningen
eis tekst	De aanvoer van materiaal en materieel over het land zal zijn langs de Hoosjesweg of langs de tijdelijke werkweg over het strand.
fase	uitvoering

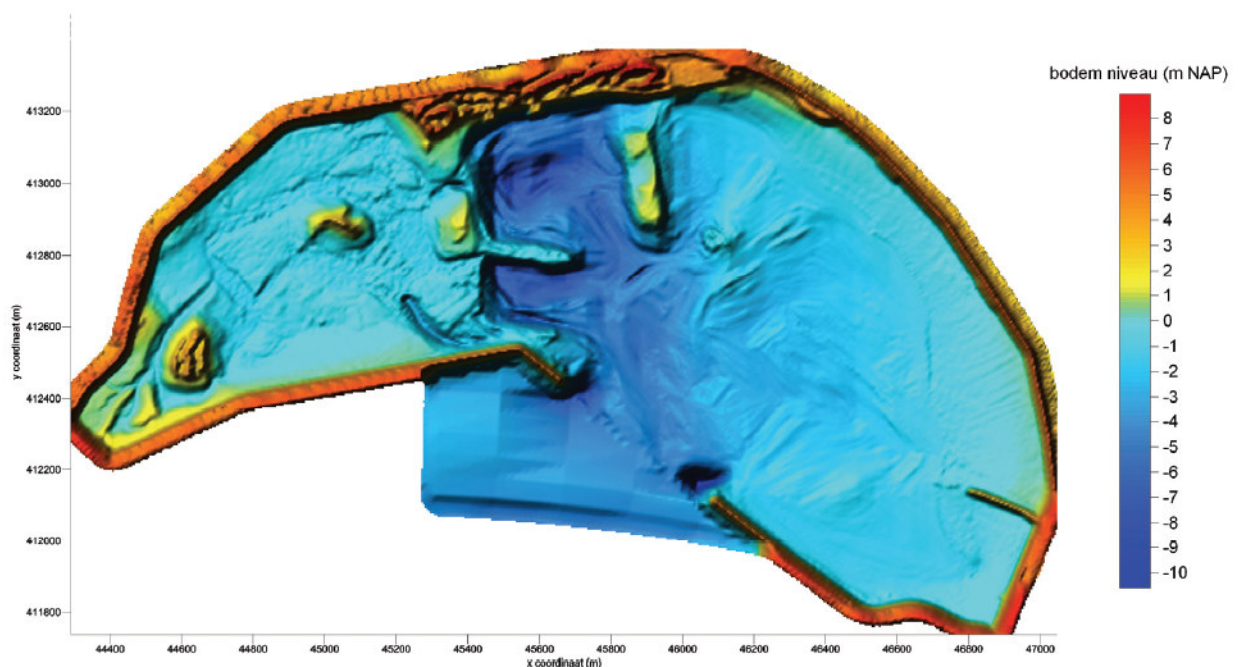
eis ID	SCH_037
onderwerp	aanbrengen suppletie
bron	vergunningen
eis tekst	Het suppletiemateriaal moet tegen de bestaande dijk worden aangespoten zodat relatief grof materiaal tegen de dijk komt te liggen en relatief fijner materiaal verder van de dijk en tussen de cascades komt te liggen.
fase	uitvoering

3. UITGANGSPUNTEN

3.1. Bodemligging

De bodemhoogte van Schelphoek is weergegeven in afbeelding 3.1. Het bodemniveau varieert tussen de 1 m boven NAP tot dieptes van meer dan 7 m onder NAP. Het gebied laat vier eilanden zien die in het verleden kunstmatig zijn aangelegd. Rondom de eilanden zijn geulstructuren zichtbaar, die zijn ontstaan na de watersnoodramp van 1 februari 1953, waarbij zich het getijdegebied Schelphoek met geulstructuren heeft gevormd. Landwaarts is een ringdijk met caissons aangebracht, waarbij het dijklichaam is volgeperst met zand [ref. 22.]. In de periode 1976 tot 1987 heeft dit gebied als haven en proefgebied van de Oosterscheldewerken gefungeerd. Hiervoor hebben in dit gebied wat aanpassing plaatsgevonden [ref. 23.]. Na 1987 zijn hiervan restanten overgebleven van het werkterrein. Het geulenpatroon in het oostelijk deel is weinig veranderd ten opzichte van de ontstane situatie in 1953. In het meest westelijke deel van het gebied zijn de geulen relatief ondiep. Rondom de andere eilanden bevinden zich diepere geulen. Het gebied vertoont twee relatief diepe zones waarin de bodem op NAP - 6 m of lager ligt.

afbeelding 3.1. Bodemhoogte Schelphoek 2007 [ref. 2.]

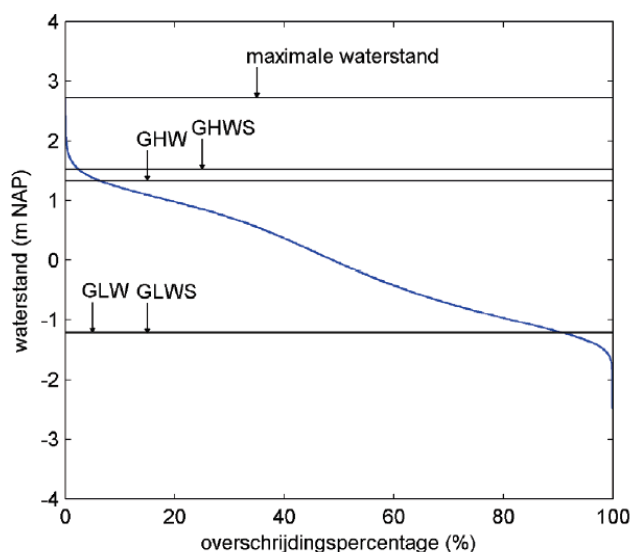


3.2. Hydrodynamische uitgangspunten

3.2.1. Waterstanden

In [ref. 2.] zijn representatieve waterstanden afgeleid uit simulaties van de waterstanden ter hoogte van Roompot-Binnen. Afbeelding 3.2 laat de waterstandoverschrijdingslijn zien die in [ref. 3.] is bepaald op basis van metingen bij Roompot Binnen tussen 23 februari 1987 en 30 juni 2007. Tabel 3.1 geeft de representatieve waterstanden voor Schelphoek.

afbeelding 3.2. Waterstandoverschrijdingslijn Roompot Binnen(bron; [ref. 2.]



tabel 3.1. Representatieve waterstanden Schelphoek (bron; [ref. 3.]

peil	waterstand [NAP]
GHW	+ 1,33
GLW	- 1,21
GHWS	+ 1,52
GLWS	- 1,23
maximale waterstand	+ 2,72

* Opgemerkt wordt dat de waterstanden ter hoogte van Roompot-Binnen en dus ook bij Schelphoek worden beïnvloed door het sluiten van de Oosterscheldekering bij een verwachte waterstand buitengaats van NAP + 3 m.

3.2.2. Wind

In tabel 3.2 is het percentage van voorkomen van verschillende windsnelheden en windrichtingen bepaald op basis van gegevens van het KNMI tussen januari 2001 en september 2007 in Vlissingen.

tabel 3.2. Percentage van voorkomen van windsnelheden per windrichting in Vlissingen (bron [ref. 2.]

wind snelheid [m/s]	windrichting (N°)							
	0 - 45	45 - 90	90 - 135	135 - 180	180 - 225	225 - 270	270 - 315	315 - 360
0 - 4	1,7	1,8	0,6	0,4	0,4	0,7	0,9	1,4
4 - 8	6,8	7,2	4,1	4,2	4,6	8,1	6,9	6,6
8 - 12	1,6	2,7	1,3	2,2	8,6	9,3	3,3	2,2
12 - 16	0,0	0,1	0,2	0,3	3,1	4,5	1,2	0,1
16 - 20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,8	0,2	0,0
20 - 24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0
24 - 28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0

3.2.3. Golfcondities

In [ref. 9.] is een numeriek golfmodel voor de Oosterschelde, inclusief Schelphoek, opgesteld. In de studie zijn met behulp van SWAN40.41 ontwerprandvoorwaarden afgeleid voor de dijken rondom de inlaag bij Schelphoek. In [ref. 2.] zijn de resultaten voor een aantal condities van Schelphoek weergegeven. De golfcondities zijn bepaald op basis van windcondities bij Vlissingen (zie paragraaf 3.2.2).

Voor het ontwerp van de proef zijn 3 type golfcondities van belang:

1. extreme condities voor het bepalen van de hydraulische stabiliteit van de drempels;
2. jaarrond condities voor bepaling van morfologische effecten;
3. jaarlijks extreme condities.

extreme condities

Uitgangspunt voor het ontwerp is dat de constructie hydraulisch stabiel is tijdens de ontwerpstorm. Dit betekent dat er geen schade ontstaat of repareerbare schade ontstaat maar dat de constructie nog steeds in staat is haar functie te vervullen. Bij een zwaardere storm dan de ontwerpstorm of bij herhaling van de ontwerpstorm zal de constructie mogelijk ernstig beschadigd raken of bezwijken. In [ref. 9.] is het golfpatroon bepaald voor verschillende extreme situaties. Er zijn simulaties uitgevoerd voor 7 verschillende windklassen, voor 14 richtingen en voor 4 verschillende waterstanden. Uit de simulaties blijkt dat de golfcondities in Schelphoek sterk afhangen van de waterstand: een kleinere waterstand resulteert in een lagere golfhoogte in Schelphoek. De extreme condities op de rand van het projectgebied (locatie van de buitenste dam) zijn gegeven in tabel 3.3. Deze zijn ingeschat op basis van ruimtelijke plaatjes die zijn weergegeven in [ref. 9.]. Op basis van de tabel worden voor het ontwerp van de drempels de volgende golfcondities maatgevend geacht; $H_s=1,5$ m en $T_{m-1,0} = 3,5$ s.

tabel 3.3. Extreme golfcondities bij ingang Schelphoek

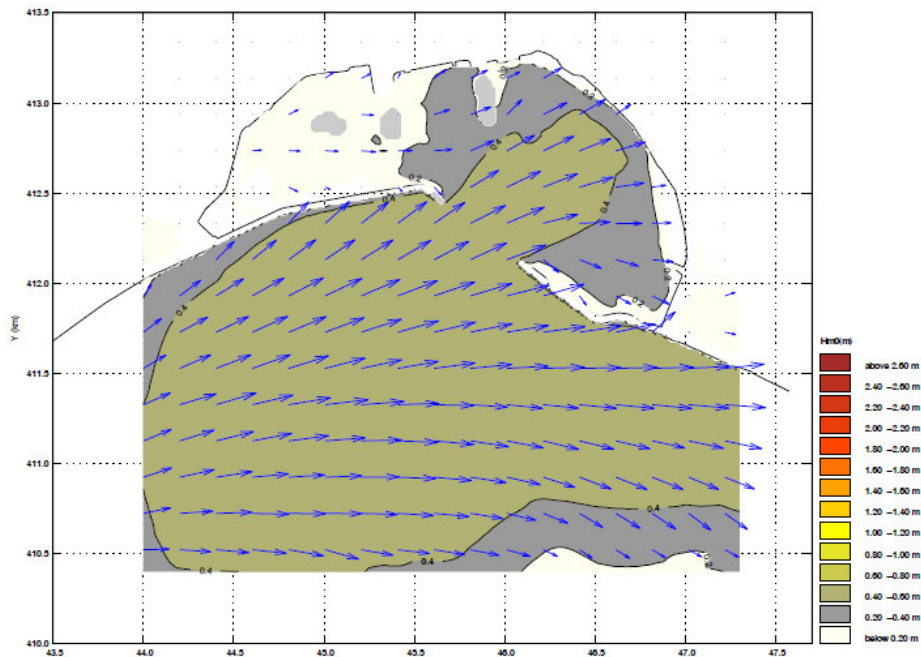
waterstand	H_s op basis van 1/4000 per jaar windsnelheden windklasse 2	H_s op basis van 1/#000 per jaar windsnelheden windklasse 3 ^{*1}	$T_{m-1,0}$ op basis van 1/4000 per jaar windsnelheden windklasse 2	$T_{m-1,0}$ op basis van 1/#000 per jaar windsnelheden windklasse 3 ^{*1}
NAP + 0	0,8	0,8	3	3
NAP + 2	1,4	1,3	3,5	3,5
NAP + 3	1,6	1,4	4	4

^{*1} Waarden voor H_s en $T_{m-1,0}$ behorende bij windklasse 3 zijn gebaseerd op gegevens uit [ref. 9.] voor een extreme situatie. De bijbehorende herhalingstijd is echter niet te herleiden uit [ref. 9] maar is in ieder geval groter dan 1/4000.

jaarrond condities

De jaarrondcondities bepalen mede de morfologische effecten van de aanleg van de proef. Het percentage van voorkomen van windsnelheden per windrichting in Vlissingen zijn te vinden in tabel 3.2. In [ref. 9.] worden voor verscheidene omstandigheden het golfpatroon in Schelphoek gegeven. De hoogte van de golven in Schelphoek zijn van matige hoogte en variëren onder dagelijkse omstandigheden tussen de 0,2 en de 0,6 m. In afbeelding 3.3 wordt ter illustratie het golfpatroon gegeven voor een windsnelheid van 12 m/s, richting 270 graden, NAP + 0. Dit is een situatie die gemiddeld het vaakst voorkomt.

afbeelding 3.3. Gesimuleerde golfhoogteverdeling 'dagelijkse' zuidwestenwind (12 m/s)



jaarlijks extreme condities

Dit zijn de meest extreme golfcondities in een jaar omdat ze gemiddeld eenmaal per jaar voorkomen. Deze kunnen veel invloed hebben op de morfologische effecten van de proef. Omdat ze elk jaar voorkomen moet er zeker rekening mee gehouden worden.

In [ref. 2.] worden de golfcondities gegeven voor een aantal situaties. Deze condities zijn weergegeven in tabel 3.4. Dit zijn condities die betrekkelijk weinig voorkomen. Zie tabel 3.2: deze windcondities komen 0,1 - 0,3 % van de tijd voor, dit is minder dan een dag per jaar. Het zijn wel de golfcondities die mogelijk de grootste invloed hebben op de erosiesnelheid. Extremere condities komen dermate weinig voor dat ze incidenteel/bepaalde invloed hebben op de morfologie.

tabel 3.4. Wind en waterstand die circa 1 dag per jaar voorkomen [ref. 2.]

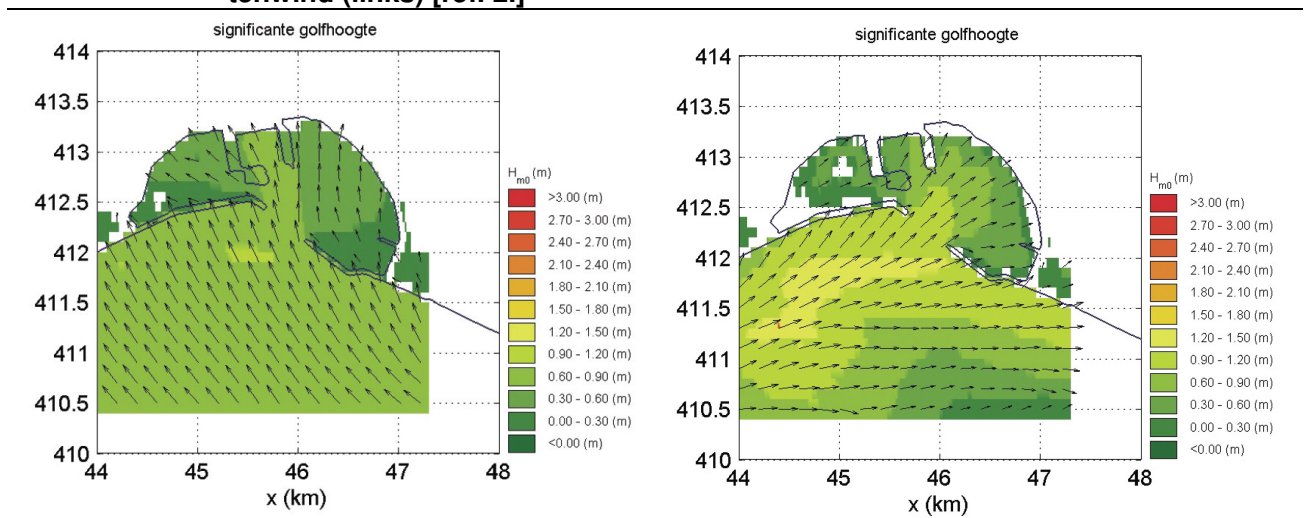
beschrijving	windrichting (°N)	windsnelheid (m/s)	waterstand (m + NAP)
zuidwesterstorm	240	21	0
zware zuidwesterstorm	240	26	0
zuidwesterstorm en hoge waterstand	240	21	2
zware zuidwesterstorm en hoge waterstand	240	26	2
harde zuidoostenwind	150	14	0
harde zuidoostenwind en hoge waterstand	150	14	2

Afbeelding 3.4 geeft de gesimuleerde verdeling van de significante golfhoogte H_{m0} bij een zuidwesterstorm en een harde zuidoostenwind. De afbeeldingen geven een goed indicatie van het golvenpatroon tijdens deze omstandigheden. De golfhoogte op de rand van het projectgebied op de locatie van de diepste drempel van de cascade oeververdediging zijn geschat op basis van de afbeeldingen. De ingeschatte golfhoogte op deze locatie is weergegeven in tabel 3.5.

tabel 3.5. Golfhoogte op de rand van het projectgebied voor golven welke circa 1 dag per jaar voorkomen

beschrijving	waterstand	golfhoogte H_s op rand projectgebied	golfperiode $T_{m-1,0}$ op rand projectgebied	golfrichting op rand projectgebied
zuidwesterstorm	0	0,6 - 0,9	3,0	240
zware zuidwesterstorm	0	0,6 - 0,9	3,5	240
zuidwesterstorm en hoge waterstand	2	0,9 - 1,2	3,0	240
zware zuidwesterstorm en hoge waterstand	2	0,9 - 1,2	3,0	240
harde zuidoostenwind	0	0,3 - 0,6		180
harde zuidoostenwind en hoge waterstand	2	0,3 - 0,6		180

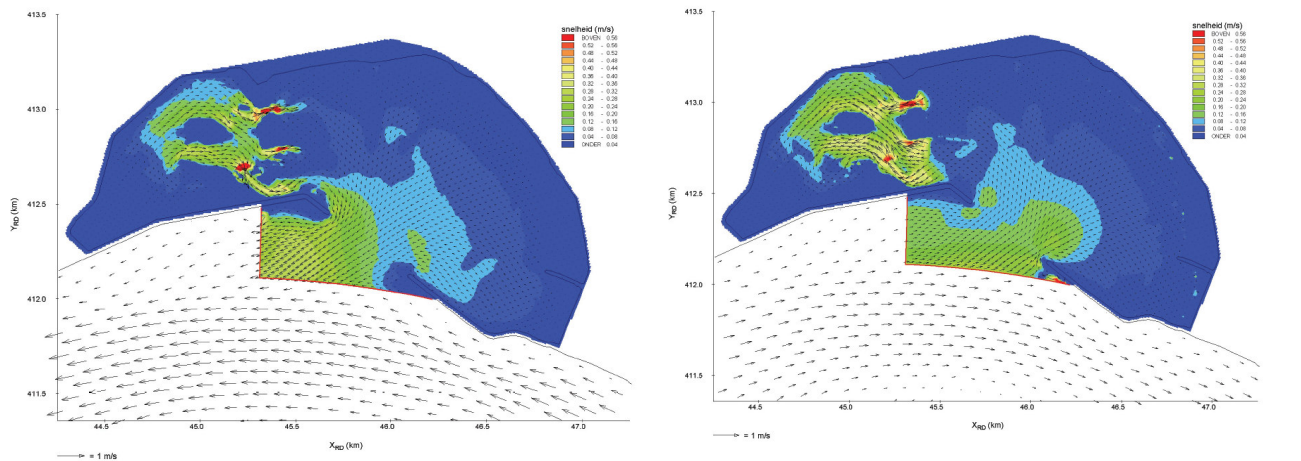
afbeelding 3.4. Gesimuleerde golfhoogteverdeling zuidwesterstorm (rechts) en harde zuidoostenwind (links) [ref. 2.]



3.2.4. Stromingscondities

In [ref. 2.] is er een numeriek model voor Schelphoek opgesteld. Er zijn stromings simulaties uitgevoerd rond springtij en doortij. De maximale eb- en vloed snelheden tijdens springtij zijn gegeven in afbeelding 3.5. De stromings patronen tijdens doortij komt overeen met dat tijdens springtij. De snelheden zijn dan kleiner. De maximale stroomsnelheden op de locatie van de proef tijdens springtij zijn klein ($<0,1\text{ m/s}$).

afbeelding 3.5. Maximale ebsnelheden (links) en vloodsnelheden (rechts) tijdens springvloed



3.2.5. Bodemverandering tussen 2001 en 2007

In [ref. 25.] wordt het bodemverschil tussen 2001 en 2007 voor een deel van de geplande locatie voor de proef in Schelphoek gegeven. In dit deel van de Schelphoek zijn de bodemveranderingen tussen 2001 en 2007 klein.

3.3. Bodem gesteldheid

3.3.1. Bodemopbouw Schelphoek

De bodemopbouw in Schelphoek is bepaald op basis van boorstaten van TNO uit de periode 1958-1977. Hieruit blijkt het volgende beeld. Het maaiveld van de beschouwde projectlocatie varieert tussen NAP - 1,40 m en NAP - 3,10 m. Direct onder het maaiveld vangt een laag aan die voornamelijk bestaat uit klei waarbij deze wordt onderbroken door dunne zandige lagen. Vanaf NAP - 10,0 m à NAP - 14,0 m bevindt zich een silthoudende zandlaag tot de verkende diepte. In deze zandlaag bevindt zich vrijwel overal op circa NAP - 17,0 m een dunne veenlaag. De representatieve bodemopbouw van Schelphoek is gegeven in tabel 3.6.

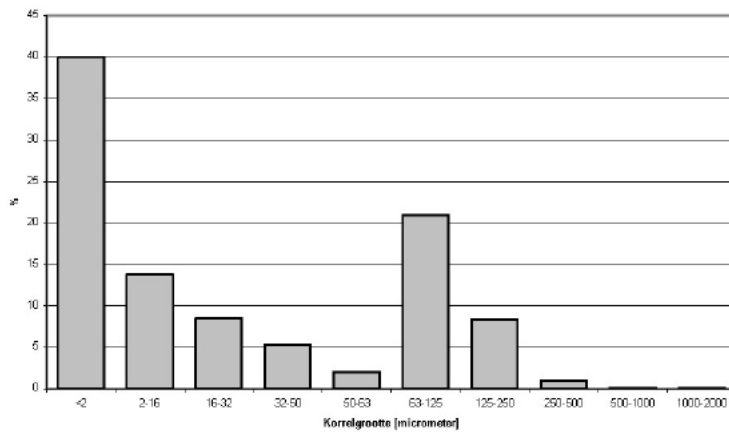
tabel 3.6. Representatieve bodemopbouw

grondsoort	bovenkant laag [NAP + 0,0 m]
klei, met zandige tussenlagen	- 2,0
zand, silthoudend	- 11,0
veen	- 17,00
zand, silthoudend	- 17,50

3.3.2. Sediment Schelphoek

Volgens [ref. 2.] vertoont het sediment in Schelphoek een relatief grote ruimtelijke variatie met in het algemeen slib langs de randen van de geulen en zand in de geulen en op de hoger gelegen delen.

afbeelding 3.6. Korrelgrootteverdeling Schelphoekmonding [ref. 2.]



Uit bodemonsters genomen door Aquavision (2007) op twee locaties in de Schelphoekmonding blijkt het sediment daar voor ongeveer 70 % te bestaan uit slibfracties kleiner dan 63 μm . Daarvan bestaat het grootste deel uit materiaal kleiner dan 16 μm (afbeelding 3.4). Het bodemmateriaal in de monding bestaat voor ongeveer 30 % uit zandfracties waarvan het grootste deel relatief fijn is met een korreldiameter tussen de 63 en 125 μm . De afzetting van het slib in het slib is bevorderd door de zeer lage stroomsnelheden in dit gebied, waardoor het gebied kan fungeren als slibvang.

3.3.3. Suppletie materiaal

Het materiaal dat wordt gebruikt voor de suppletie wordt gewonnen uit de verondieping van de aanloop van de Roompotsluis. Uit de beschikbare data blijkt dat het suppletie materiaal een mediane korreldiameter (D50) tussen de 240 en de 300 μm heeft.

3.4. Ecologische uitgangspunten

3.4.1. Huidige schorvegetaties in Schelphoek

Volgens [ref. 7.] komen er nu schorvegetaties voor in de (westelijke) Schelphoek hoewel niet zozeer in het proefgebied (oostelijke Schelphoek). Door het voorkomen van schorvegetaties in de nabije omgeving is het mogelijk dat wanneer er zand wordt aangebracht boven GHW dat er bepaalde schorvegetaties gaan groeien. Uit ecologisch oogpunt is schorontwikkeling op zich heel positief. Schor is een N2000 habitat type met een herstelopgave. Schorontwikkeling zou echter ook een nadeel kunnen zijn, omdat de dijkvoetsuppletie dient om de voorliggende cascade te 'voeden' met zand. De schorontwikkeling blijft dan niet behouden of zou het zand vast kunnen houden terwijl dit niet de bedoeling is.

3.4.2. Bodemdieren

Voor zover bekend zijn er geen bodemdiergegevens specifiek voor Schelphoek. Dat zal in de T0 meting moeten worden vastgesteld.

3.4.3. Vogels in Schelphoek

In 2006 [ref. 8.] zijn dijkvaktellingen uitgevoerd door bureau Waardenburg in de Oostelijke Schelphoek. In tabel 3.7 staan de resultaten daarvan weergegeven in maximaal aantal waargenomen vogels. Dit kan foeragerende of rustende vogels betreffen.

Vogelsoorten die in hoge aantallen in Schelphoek zijn waargenomen zijn: rotgans, bergeend, wilde eend, scholekster, bontbekplevier, bonte strandlopers, wulp, tureluur, steenlopers, kokmeeuwen en zilvermeeuwen. Ook is op te maken uit tabel 3.7 dat Schelphoek voor de kleine zilverreiger, de bontbekplevier, de regenwulp, de groenpootruiter en de steenlopers van bijzondere betekenis is. Een aanzienlijk deel van de Oosterschelde-brede populaties van deze vogels zijn in Schelphoek waargenomen. De vogels kunnen Schelphoek gebruiken als foerageergebied, maar ook als hoogwatervluchtplaats.

tabel 3.7. Maximale aantallen vogels die tijdens de tellingen gelijktijdig in de telvakken van het gehele dijktraject zijn waargenomen (maandmaximum in vet). Tevens is het aandeel van de telvakken ten opzichte van de gemiddelde aantallen in deelgebied West en de gehele Oosterschelde in de overeenkomstige maanden weergegeven

Soort	max. aantal in telvakken		% OS-west		% OS-totaal	
	apr	aug	apr	aug	apr	aug
dodaars	1	0	8	0	3	0
fuut	4	6	12	9	3	1
aalscholver	2	0	3	0	1	0
kleine zilverreiger	0	1	0	31	0	2
lepelaar	0	4	0	9	0	6
rotgans	38	0	2	0	0	0
bergeend	33	0	5	0	1	0
smient	1	0	0	0	0	0
krakeend	6	0	7	0	3	0
wilde eend	21	0	3	0	2	0
eidereend	2	0	1	0	1	0
scholekster	44	153	2	2	1	0
bontbekplevier	27	69	97	32	31	11
zilverplevier	3	2	0	0	0	0
kanoetstrandloper	0	2	0	0	0	0
bonte strandloper	52	18	1	1	0	0
rosse grutto	2	15	0	1	0	0
regenwulp	7	0	28	0	23	0
wulp	24	41	1	1	0	0
zwarte ruiter	0	7	0	3	0	1
tureluur	74	184	13	15	4	5
groenpootruiter	5	2	24	1	13	0
oeverloper	0	1	-	1	-	1
steenloper	18	11	17	5	2	1
kokmeeuw	74	105				
stormmeeuw	2	30				
kleine mantelmeeuw	1	0				
zilvermeeuw	60	76				
grote mantelmeeuw	2	2				
grote stern	0	3				
visdief	2	6				

foerageren van vogels in Schelphoek

De meeste steltlopers foerageren bij voorkeur overdag. Indien de omstandigheden ongunstig zijn of de voedselbehoefte groter wordt, wordt er meer in de nachtelijke periode gefoerageerd [ref. 8.]. Over het algemeen wordt er door grote steltlopers minder lang gefoerageerd dan door kleine steltlopers, zodat kleine steltlopers eerder beginnen met foerageren dan grote steltlopers en langer doorgaan. Gemiddeld wordt er overdag door grote steltlopers circa 300 minuten per laagwaterperiode gefoerageerd en door kleine steltlopers circa 495 minuten. Hierbij volgen de meeste soorten de waterlijn maar enkele soorten blijven op de drooggevallen slikken foerageren.

Daarnaast zijn er gegevens over de foerageerintensiteit van het proefgebied door steltlopers. Deze worden uitgedrukt als het aantal foerageerminuten/ha. Voor de Schelphoek werd in 2006 een totale foerageerintensiteit vastgesteld van steltlopers en eenden in het voorjaar van circa 1.800 minuten/ha en in augustus circa 3.800 minuten/ha. Deze foerageerintensiteit ligt in dezelfde orde van grootte als in de rest van de Oosterschelde, maar ligt iets lager dan de gemiddelde foerageerintensiteit in het westelijke deel van de Oosterschelde.

Na het realiseren van de proef kan opnieuw op verschillende tijdstippen de foerageerintensiteit bepaald worden en deze kan vergeleken worden met de in 2006 bepaalde foerageerintensiteit. Hieruit kan het effect van de suppletie op steltlopers en eenden in de tijd worden afgeleid.

3.4.4. Zoogdieren

Enkele muissorten komen voor tussen de schorvegetaties op de eilandjes in de Westelijke schelphoek, waaronder de N2000 beschermde noordse woelmuis. Deze soort wordt nu niet waargenomen in het plangebied, maar kan daar wel komen wanneer schor tot ontwikkeling komt.

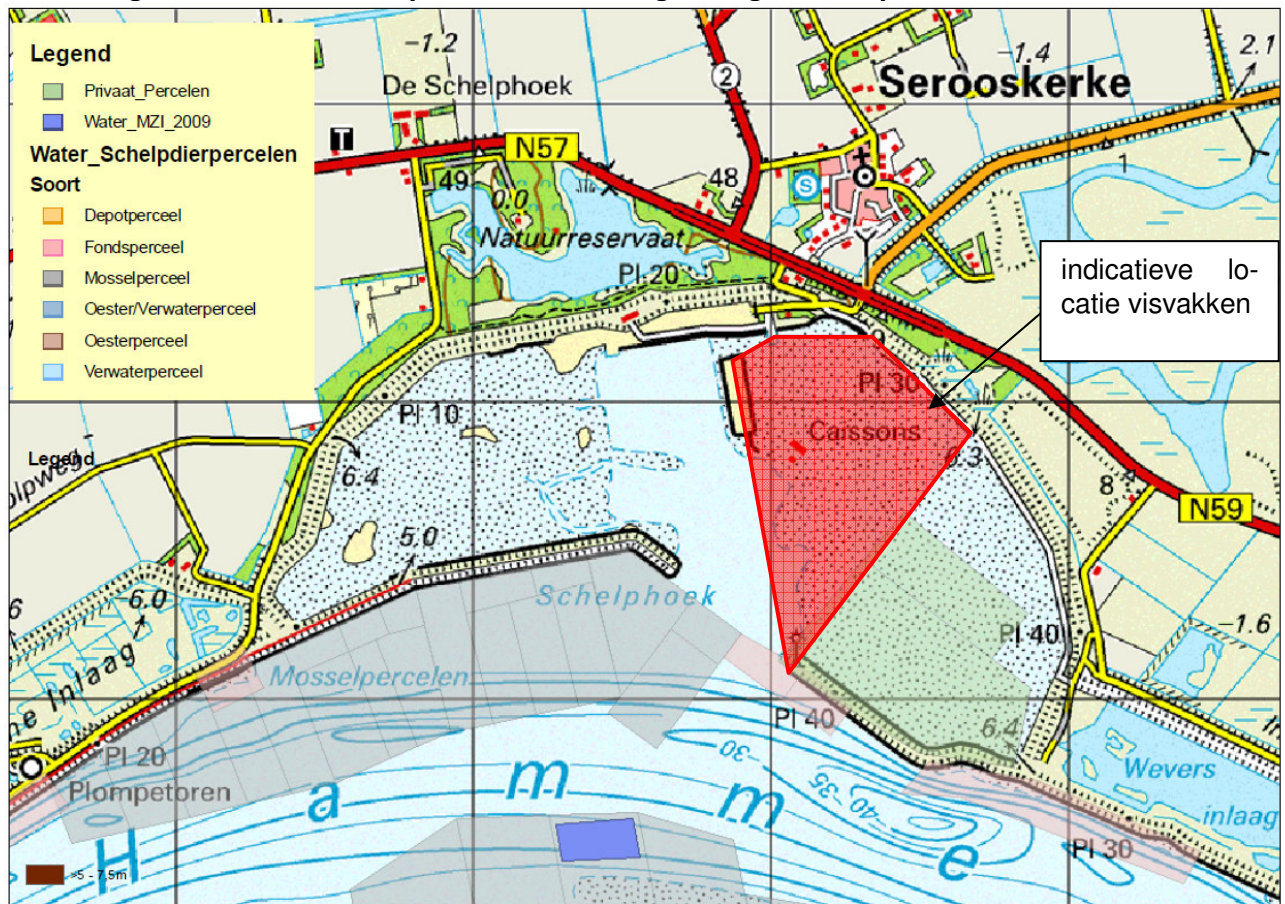
3.4.5. Conclusie huidige situatie

Schelphoek en met name het westelijke deel is op dit moment een waardevol gebied voor de Natuur. Het is van grote betekenis voor meerdere (N2000) vogelsoorten, het bevat schor (N2000 habitat type) en herbergt noordse woelmuizen (N2000).

3.5. Locatie mosselpercelen en visvakken

Uit [ref. 6.] blijkt direct buiten schelphoek een groot aantal mosselpercelen aanwezig: direct voor de ingang van Schelphoek en langs de westelijke dam. Daarnaast zijn in de Schelphoek visvergunningen afgegeven voor paling- en kreeftenvisserij [ref. 35.]. De locatie van de mosselpercelen en het gebied wat vergund is voor visserij is aangegeven in afbeelding 3.7.

afbeelding 3.7. Locatie mosselpercelen en visvergunningen Schelphoek



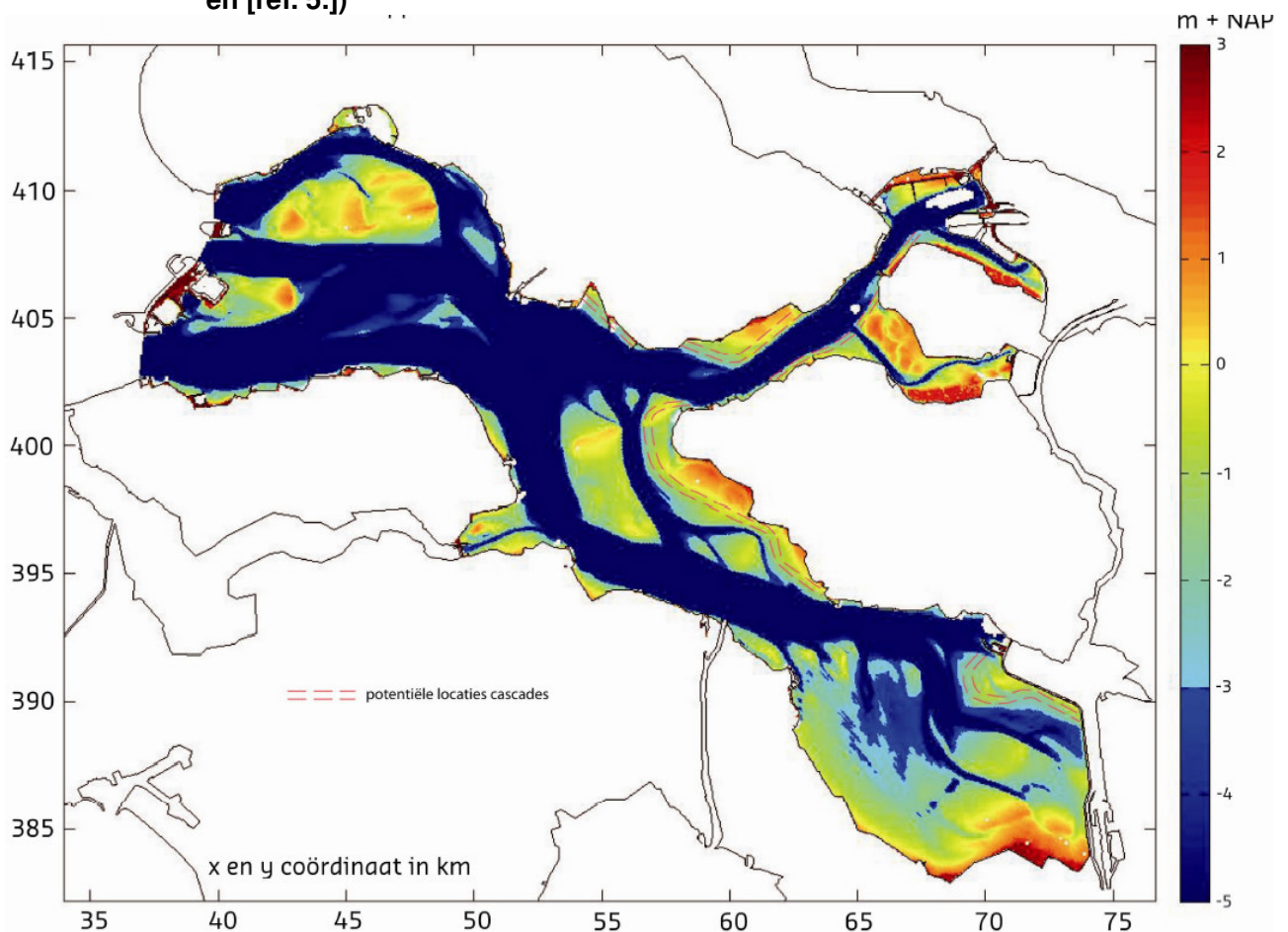
Om overlast aan mosselpercelen te voorkomen is het belangrijk dat tijdens de uitvoering en gedurende de levensduur van de proef de vertroebeling van het water (lees: concentratie aan zwevende stof) niet te hoog is. In overleg met de mosselsector is een monitoringsplan opgesteld om eventuele negatieve invloeden van de proef op de percelen te kunnen monitoren.

3.6. Toekomstige toepassing cascade

Om het principe van de proefopstelling in de toekomst zo passend en breed mogelijk in te kunnen zetten op andere locaties in de Oosterschelde richt het ontwerp zich niet specifiek op de locatie Schelphoek maar vooral ook op de toekomstige toepassing in de Oosterschelde. De proef dient dus zoveel mogelijk representatief te zijn voor toekomstige locaties in de Oosterschelde.

Omdat de cascade de opbouw/aanvoer van zand vanuit zee niet bevordert, wordt in [ref. 4.] ervan uitgegaan dat een cascade het meest effectief is op locaties waar relatief zware golfaanval te verwachten is en waar normaliter veel erosie optreedt. Dit zijn met name de locaties waar golven vanuit zuidwestelijke richting (dominante golfrichting) met een grote strijklengte voorkomen. Op deze locaties zal zeer waarschijnlijk het sedimenttransport van de dijk af, naar de geul, door golfwerking dominant zijn. Op locaties waar golfwerking minder dominant is, is het risico groter dat de cascade de situatie juist verslechterd doordat de opbouw wordt tegengegaan terwijl de afbouw (door stroming) misschien wel doorgaat. Een uitwerking van de locaties in de Oosterschelde waar een cascade naar verwachting het meest effectief zou kunnen zijn is hieronder weergegeven. Dit betreft een grootschalige toepassing met name langs de zuidwest kust van het eiland Tholen en de zuid kant van het oostelijk deel van Schouwen Duiveland.

afbeelding 3.8. Mogelijke effectieve locaties in de Oosterschelde voor aanleg cascade ([ref. 3.] en [ref. 5.]



Om de proef representatief te maken zal:

- de constructie en materialen van de cascade drempels zich moeten lenen voor het golfklimaat in bovengenoemde gebieden;
- de te kiezen hoogte en vormgeving van de cascade/duinvoetsuppletie dient zich te lenen voor daar voorkomende bodemdieren en vogels;
- de materialen voor de drempels dienen zich te lenen voor flora en fauna ter plaatse van deze gebieden.

Verwezen wordt naar eis met eis ID 'SCH010' die wordt gegeven in hoofdstuk 2 en geverifieerd wordt in hoofdstuk 7.

4. HYPOTHESE

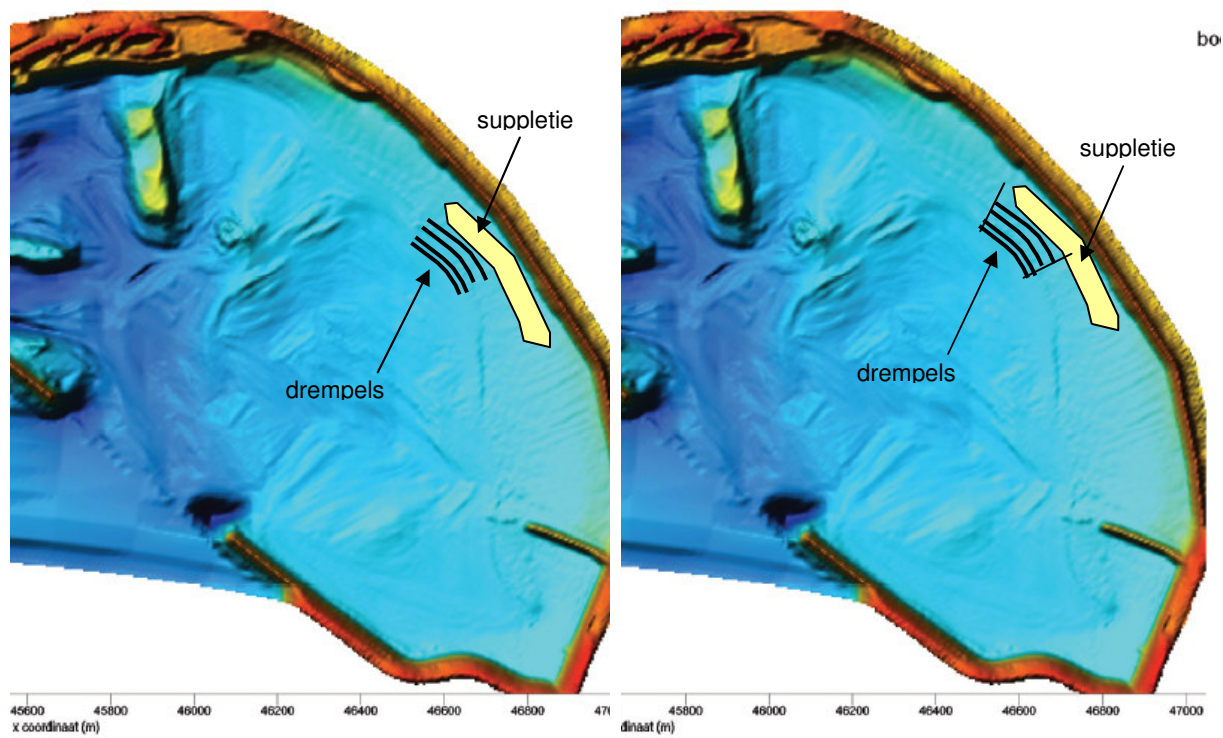
In de beginfase van het ontwerpproces is in een schetsontwerp opgesteld van de dijkvoetsuppletie en de drempels met de hoofddimensies (zie afbeelding 4.1). In dit schetsontwerp is uitgegaan van een gecombineerde proef. Het zuidelijke deel van de proef wordt alleen als een dijkvoetsuppletie uitgevoerd, het noordelijke deel van de proef is een cascade met drempels. Zodoende kan de situatie met cascade worden vergeleken met de situatie zonder cascade en kan het werkelijk effect van de cascade worden onderzocht. Om de hoofddimensies van de proef vast te kunnen stellen zijn eerst een aantal hypothesen geponen. De hypothesen zijn enerzijds opgesteld om een goed ontwerp te kunnen maken en anderzijds om een voorspelling te doen over de verwachte resultaten van de proef. De hypothesen en het schetsontwerp zijn in een ontwerpworkshop besproken, bediscussieerd en aangescherpt [ref. 12.]. De hypothesen zijn in dit hoofdstuk verder uitgewerkt. Het ontwerp op basis van de aangescherpte hypothesen en verdere input uit de ontwerpworkshop is gegeven in hoofdstukken 5 en 6.

Hypothesen zijn gesteld over:

- het effect van de cascade en suppletie op golven en stroming nabij en in het proefgebied;
- het morfologisch gedrag van de cascade en zandsuppletie (bodemhoogte verandering);
- de duurzaamheid van de proefopstelling, hoe lang blijft het zand op zijn plaats, hoe duurzaam zijn de cascadeconstructies;
- ecologische ontwikkeling van het proefgebied.

Bij het stellen van de hypothesen is uitgegaan van de uitgangspunten zoals gesteld in hoofdstuk 3 en het schetsontwerp en een variant hierop als gepresenteerd in afbeelding 4.1. Opgemerkt wordt dat het uiteindelijke definitieve ontwerp, beschreven in hoofdstukken 5 en 6 en afgebeeld in bijlage I, niet gelijk is aan het schetsontwerp maar de hypothesen blijven van kracht.

afbeelding 4.1. Schetsontwerp (links) en variant met dwarsdammen (rechts) als startpunt voor hypothese vorming

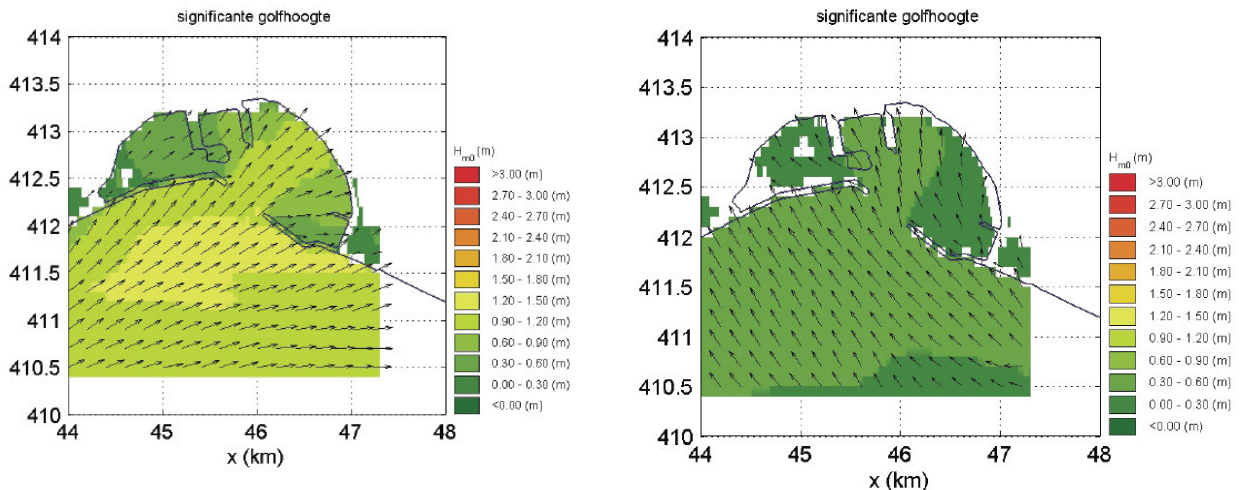


4.1. Golven

4.1.1. Bestaande situatie

Afbeelding 4.2 geeft de gesimuleerde verdeling [ref. 2.] van de significante golfhoogte H_{m0} voor golven tijdens een zware zuidwesterstorm (links) en tijdens een harde zuidoostenwind (rechts). Beide situaties treden ongeveer 1 dag per jaar op en geven een indicatie van het huidige golfpatroon in Schelphoek. De overheersende wind- en golfrichting in de baai is richting zuidwest.

afbeelding 4.2. Gesimuleerde verdeling [ref. 2.] van de significante golfhoogte H_{m0}



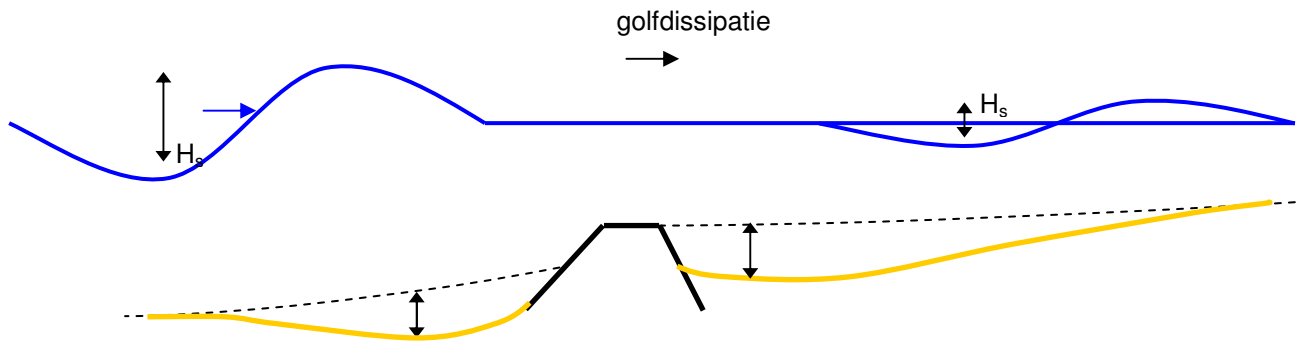
4.1.2. Effect van de cascade en drempels

golftransmissie en ontgrondingen

De verschillende drempels zullen afhankelijk van de waterstand onder of boven water liggen. Wanneer de drempels nauwelijks boven water uitsteken of onder water liggen is er sprake van golftransmissie (door en over de constructie). De golfhoogte achter de drempel (de transmissiegolf) is met name afhankelijk van de vrijboord van de drempel en de hoogte van de inkomende golfhoogte. Doordat golven (mogelijk) breken is er sprake van energiedissipatie. Deze energiedissipatie veroorzaakt het volgende:

- aan de achterkant van de drempels ontstaan ontgrondingen;
- bij loodrecht invallende golven en een drempel die onder water ligt ontstaat achter de drempels een golfgedreven stroming zoals te zien in afbeelding 4.5 (links). Deze stroming ontstaat doordat door golfdissipatie direct achter de drempel een hogere waterstand ontstaat welke de drijfveer is voor een retourstroming richting de geulen aan de zijkanten van de drempel;
- bij schuin invallende golven is het stromingsbeeld gelijk maar vindt ook een waterstroom plaats langs de drempel (zie afbeelding 4.5, rechts). Achter de drempel heeft meegevoerd sediment de kans om te bezinken omdat door de energiedissipatie er minder golfenergie beschikbaar is voor het opwoelen van sediment en het aandrijven van golfgedreven langsstroming.

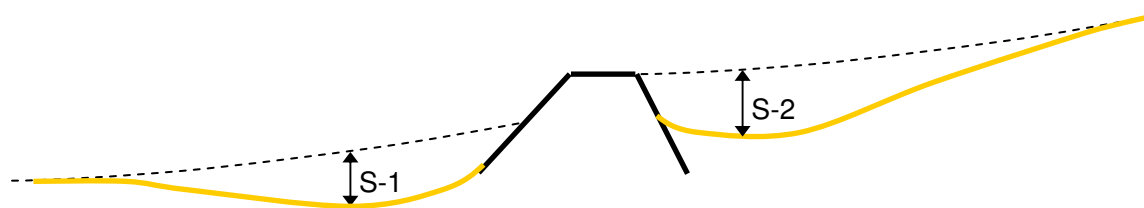
afbeelding 4.3. Golfdissipatie over de drempels



Of de golven op een drempel breken en op welke drempel de golven breken is afhankelijk van de waterstand en golfhoogte. Het is mogelijk dat de waterstand zodanig is dat alle drempels onder water staan en dat een inkomende golf bij elke drempel een gedeelte van de golfenergie verliest. Voor de situatie dat de kruin van de drempel ruim boven water ligt zullen de golven op de constructie breken en/of gereflecteerd worden (eventueel is er sprake van golfoverslag). Deze golven veroorzaken aan de voorkant van de constructie een ontgrondingskuil. Het vormen van deze ontgrondingskuil wordt versterkt door terugtrekend water wat over de drempel heen 'spoelt'.

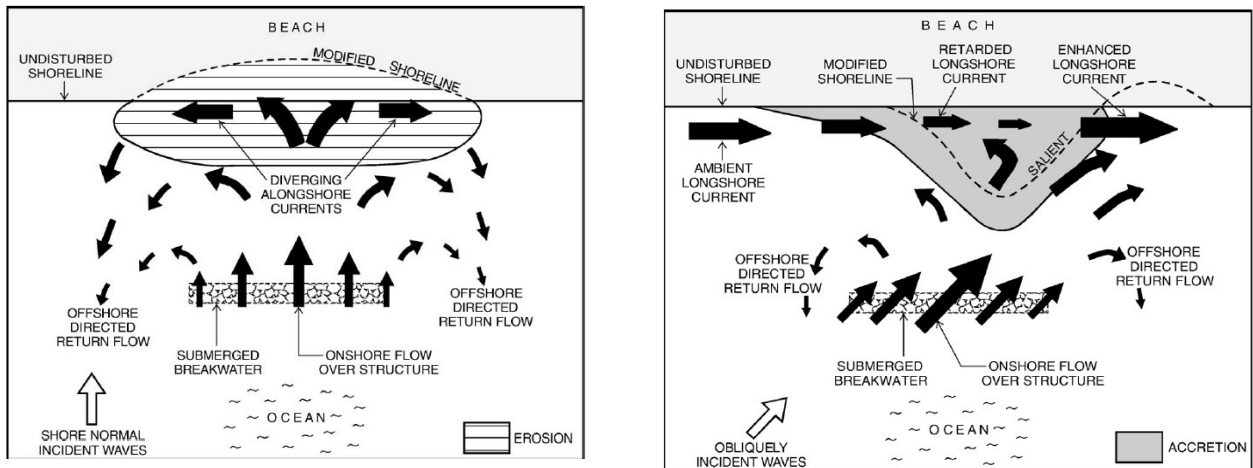
Afbeelding 4.4 geeft een principeschets van de ontgrondingskuil die ontstaan aan weerszijden van de drempel.

afbeelding 4.4. Ontgrondingen aan beide zijden van de drempel S-1 en S-2



In [ref. 14.] wordt het stromings- en erosiepatroon gegeven voor golven over een onderwaterdam bij loodrecht invallende golven en voor schuin invallende golven (zie afbeelding 4.5). Hier valt te zien dat bij loodrecht invallende golven de gegenereerde stroming overwegend erosie direct achter de onderwaterdam kunnen veroorzaken, terwijl bij schuin invallende golven juist sedimentatie achter de dam plaatsvindt. Wanneer de drempel boven het water uitsteekt is er geen of weinig golfenergie achter de dam. Hierdoor zullen naar verwachting tevens de stromingen achter de drempels afnemen.

afbeelding 4.5. Erosie en sedimentatie patroon bij loodrecht (links) en schuin (rechts) invallende golven [ref. 14.]



randeffecten

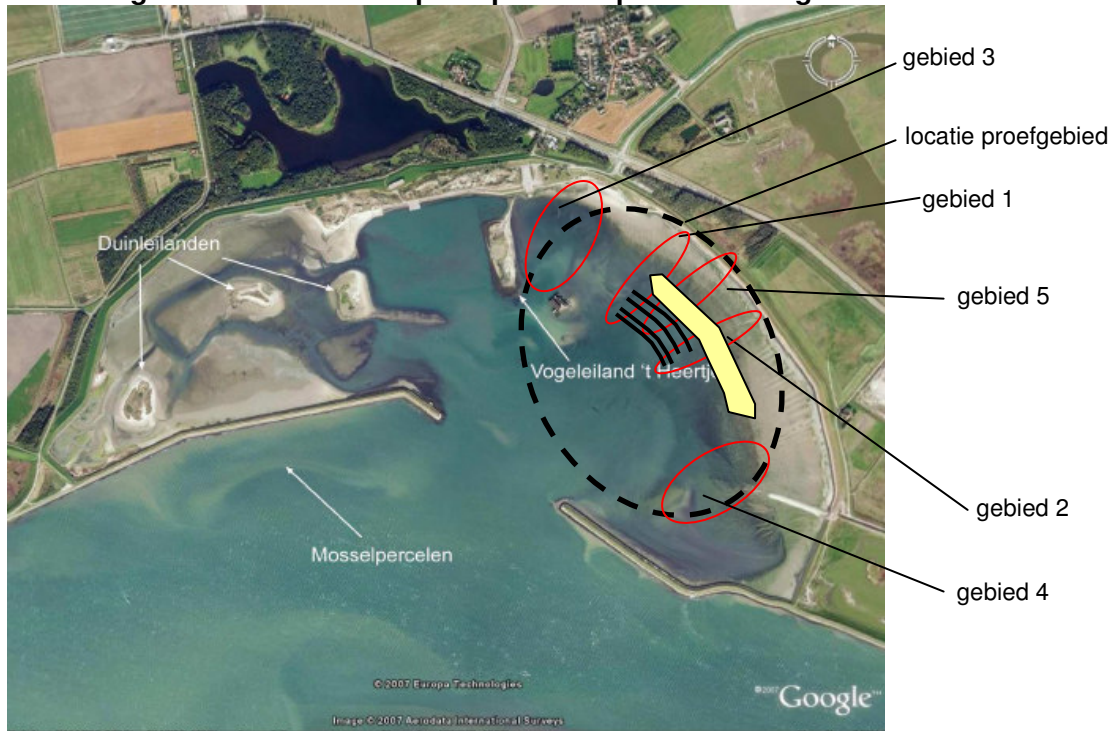
Op de uiteinden van de drempels (aan de zuidoost en noordwestzijde, gebied 2 en 3 in afbeelding 4.6) zullen randeffecten optreden. Gedacht wordt aan (i) een opsluiting met een dwarsdammen (zie afbeelding 4.1, rechts) en (ii) zonder opsluiting (zie afbeelding 4.1, links). Onderstaande beschreven effecten gelden voor beide principevarianten. De morfologische effecten verschillen wel. Dit is toegelicht in paragraaf 4.3.

Het aansluitende gebied aan de zuidoost zijde en de noordwest zijde (gebied 1 en 2 in afbeelding 4.6) heeft geen drempels en behoudt in eerste instantie de huidige bodemhoogte en daarom zullen zich een aantal randeffecten voordoen:

- kopeffecten; net als bij de kop van iedere golfbreker ontstaat er bij de kop van de drempel een speciaal golfpatroon. In het algemeen leidt dit tot lokaal grotere ontgrondingen. Daarnaast zal de verwachte langstrooming om de kop heen stromen richting de monding van de baai. Ook dit kan leiden tot lokaal grotere ontgrondingen;
- golven die over de drempels lopen zullen daar veelal breken waardoor de golfhoogte en golfenergie boven de cascade af zal nemen. Golven die langs de drempels en de cascade lopen zullen op een ander locatie, dicht bij de dijk, breken. Het resultaat zal zijn dat boven de cascade de golven lager zijn dan aan weerszijden (gebied 1 en 2, zie afbeelding 4.6);
- door de kleinere waterdiepte is de golfhoogte in het projectgebied kleiner dan in het naastliggende gebied. Door refractie en diffractie buigen de hogere golven op de rand van het gebied (gebied 1 en 2) naar binnen richting het projectgebied;
- aansluiting naar caisson; aan de noordwest zijde (gebied 1) bevindt zich een caisson. Dit caisson zal het lokale golfpatroon beïnvloeden;
- drempels langs een golfstraal; het aantal drempels wat een golf 'tegenkomt' tussen de monding van de baai en de dijk is maximaal drie. Aan de rand van het gebied kan een golf echter de eerste drempel 'tegenkomen' maar vervolgens langs de tweede en derde drempel lopen. Om de cascade zo consistent mogelijk te krijgen wordt gesteld dat de koppen van de verschillende drempels op één golfstraal moeten liggen.

De omvang van de bovengenoemde randeffecten worden geschat op 20-50 m [ref. 12.].

afbeelding 4.6. Bovenaanzicht principeontwerp met locatie gebieden



4.2. Stroming

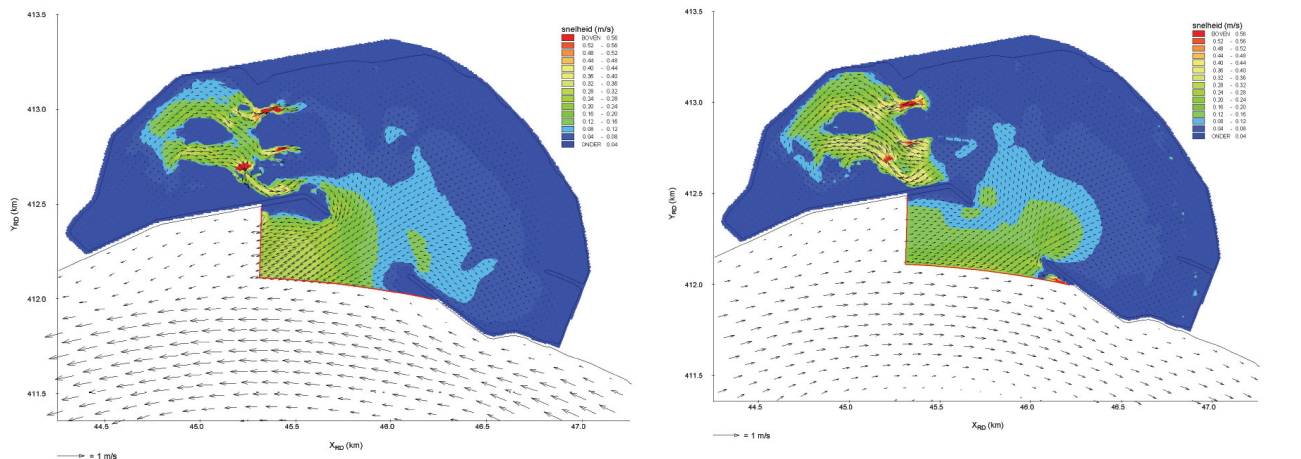
4.2.1. Terugtrekkende stroming

De terugtrekkende stroming (door getij en golven) zal door, over en langs de drempels in de richting van de monding van de baai stromen. Aan de landzijde van de drempels zal ontgronding optreden. Hierdoor zal de drempel een barrière vormen voor het terugtrekkende water. Het terugtrekkende water (of een gedeelte daarvan) zal daardoor de neiging hebben om langs de dam te gaan stromen. Aan het einde van de drempel stroomt het water dan terug de baai in. Om te voorkomen dat de stroming te sterk wordt en te grote ontgrondingen veroorzaakt moeten openingen in de drempels gecreëerd worden.

4.2.2. Getijdestroming

In afbeelding 4.5 worden de maximale eb- en vloednelheden tijdens springtij gegeven. Door de aanleg van de proef zullen de stromingspatronen wijzigen. De stroomsnelheden in het projectgebied zijn kleiner dan 0,1 m/s. Er wordt niet verwacht dat ten gevolge van de proef de stroomsnelheid significant zal stijgen. Er wordt daarom gesteld dat de morfologische effecten door getijdestroming te verwaarlozen zijn ten opzichte van de morfologische effecten ten gevolge van golven. In de nieuwe situatie kunnen bij de constructies lokaal stroomversnellingen optreden. Naar verwachting zijn de effecten van deze stroomsnelheden ondergeschikt aan de effecten door golven bij de constructies.

afbeelding 4.7. Maximale eb- en vloednelheden tijdens springtij



4.3. Morfologische effecten

4.3.1. Lokaal - ontgravingen

Aan weerszijden van de drempels zullen ontgravingen ontstaan. Op den duur zal zich een evenwichtsdiepte van de ontgrondingskuil instellen. De ontgravingen zullen aan de koppen van de drempels naar verwachting groter zijn.

4.3.2. Globale effecten

De globale morfologische effecten in het projectgebied ten gevolge van de proef zullen naar verwachting gedomineerd worden door golven. De morfologische effecten ten gevolge van getijdestroming worden verwaarloosbaar geacht.

Zoals te zien in afbeelding 4.5, veroorzaken loodrecht invallende golven een stroming welke erosie achter de onderwaterdam kan veroorzaken. Door de lengte van de drempel en doorstroomopening juist te kiezen kan de retourstroming zodanig worden beïnvloed dat de erosie minimaal is. Bij schuin invallende golven treedt over het algemeen sedimentatie achter de dam plaats: bij een waterstand waarbij een drempel boven water uitsteekt, is het golf- en stromingsklimaat achter de drempel relatief rustig en wordt sedimentatie direct achter de drempel verwacht. Omdat de overheersende wind- en golfrichting zuidwest is en de drempels een groot gedeelte van de tijd onder water liggen wordt een stromings- en erosiepatroon verwacht wat lijkt op afbeelding 4.5 (linker afbeelding). Hierin treedt erosie op in gebied 5 (zie afbeelding 4.6). Door de randeffecten zal waarschijnlijk in het overgangsgedebied (gebied 1 en gebied 2) tevens erosie optreden. Er wordt verwacht dat het sediment in luwere gebieden zal neerslaan. Dit zal zijn op de platen voor de drempels en aan de noordwest en zuidoostzijde van het projectgebied. Aan de noordwestzijde bevinden zich een caisson en een ondiep gebied. Aan de noordzijde van het caisson is een golf en stroming luw gebied (gebied 3). Naar verwachting zal hier het sedimenttransport in noordwestelijke richting neerslaan. Aan de zuidoost zijde zal sedimentstroming in zuidoostelijke richting in het gebied neerslaan wat voldoende wordt afgeschermd van golven (door de restanten van de ringdijk, gebied 4). Er zal sediment over de drempels heen transporteren. Dit sedimenttransport zal zowel richting de dijk als richting de platen plaatsvinden. Het netto sedimenttransport zal vermoedelijk richting de geulen zijn wat direct verlies van sediment betekent.

4.3.3. Doorstroomopeningen en randeffecten

Om te voorkomen dat stromingen langs de drempel en de retourstromingen te groot worden en dienengevolge te grote ontgravingen veroorzaken kunnen openingen in de drempels worden gecreëerd. Deze zorgen enerzijds voor dat de retourstroming op kleinere schaal kan terugstromen en dat stroming die langs de drempels lopen (zie paragraaf 4.2, terugtrekkende stroming) verdeeld wordt en daardoor morfologische effecten beperken.

4.3.4. Morfologische effect aansluitconstructie

variant met drempels in dwarsrichting

Een variant om afstroming langs de randen van de proef te beperken is om zowel drempels in de dwars als in de langsrichting te plaatsen (zie afbeelding 4.1, rechts). Zodoende wordt in bovenaanzicht een 'vakwerk' van dammetjes gevormd. In afbeelding 4.8 is een bovenaanzicht gegeven van rijshoutdammen in de Waddenzee die met een soortgelijk principe zijn gebouwd. Door het plaatsen van dwarsdammen is er sprake van een wezenlijk andere variant. Het gebied wat tussen de dammen ontstaat zal naar verwachting zich anders ontwikkelen dan wanneer de dammen niet geplaatst worden. Er zal waarschijnlijk geen groot plaatoppervlak gevormd worden maar eerder een systeem met geulen (zie afbeelding). Mogelijk kan het effect van de dwarsdammen gaan domineren in deze variant.

Hieronder een aantal opmerkingen betreffende deze variant:

- de dwarsdammen vormen een obstructie waardoor een luwere zone ontstaat. Hierdoor zal er direct naast de dammen zand ophopen;
- water moet het gebied uit kunnen stromen. Er zullen daarom openingen gecreëerd moeten worden in de drempels. Dit leidt tot geulen zoals te zien valt in afbeelding 4.8.

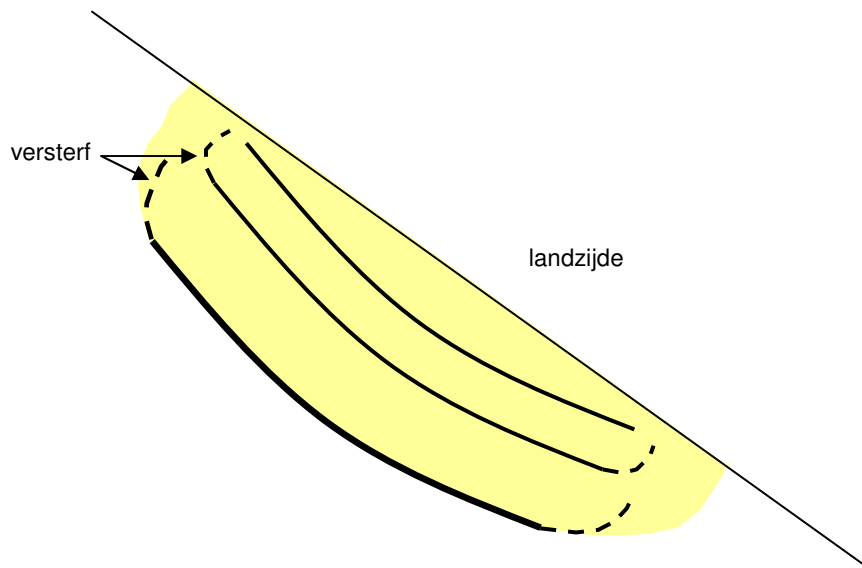
afbeelding 4.8. Landaanwinning met Rijshoutdammen in de Waddenzee (bron: Google)



variant versterf aan het eind van de drempels

Een variant op de dwarsdammen is het toepassen van een versterf. Een versterf is een aansluitconstructie tussen een harde constructie op een 'zachte' kust. Bij deze geleidelijke overgang loopt de drempel in de aansluitingszone in de richting van het constructie-einde geleidelijk landwaarts en uiteindelijk verdwijnt de drempel onder het zand. Zodoende vindt geen abrupte overgang plaats tussen de drempel en het aanliggende gebied. Op deze manier wordt getracht de ontgrondingen te minimaliseren. Een principeschets van een versterf is gegeven in afbeelding 4.9.

afbeelding 4.9. Principeschets 'versterf'



4.4. Verwachte/wenselijke ecologische ontwikkeling van het proefgebied

Op dit moment is de Schelphoek een waardevol gebied met onder andere een belangrijk areaal foerageergebied voor vogels. Wanneer er niet ingegrepen wordt zal dit door de zandhonger achteruitgaan. Wanneer we er met de proef in slagen de erosie van de slikken te stoppen, zal het areaal met goede kwaliteit foerageergebied wellicht zelfs uit kunnen breiden. Een aantal zaken zijn dan van groot belang. Uit de voortgaande evaluatie van de Galgenplaat proef valt te leren dat het gesuppleerde zand maar langzaam in beweging komt en zich maar langzaam verspreid. Ook gaat de rekolonisatie van bodemdieren langzaam. Zolang er geen rekolonisatie heeft plaatsgevonden, wordt de stortlocatie niet gebruikt door foeragerende vogels. De langzame rekolonisatie komt volgens de auteurs van de evaluatie van de Galgenplaat door de hoogte van de suppletie en de grove fractie van het gesuppleerde zand. De combinatie van hoogteligging en grove fractie zorgt er voor dat het water snel uit de suppletie weg zakt waardoor het slik uitdroogt. Hierdoor ontstaat een ongunstig klimaat voor bodemdieren. Hoogte van de suppletie en korrelgrote zijn dus zeker stuurvariabelen om in de gaten te houden.

De vormgeving van de proef is doorslaggevend voor het succes. Er is wel degelijk een optimale slikhoogte (zie 4.4.1. Hoogteligging en vormgeving slik). Ook is het slijbgehalte van belang (zie 4.4.1. Hoogteligging en vormgeving slik). Daarnaast blijkt uit een recente studie (Zwarts 2009) dat steltlopers en andere wadvogels ook voor een zeer belangrijk deel op krabben en garnalen foerageren, en niet alleen maar op dieren onder het zand. Krabben en garnalen zijn bij laag water vaak te vinden in de kleine poeltjes op het slik, die bijvoorbeeld ontstaan rondom stenen, wadvierhoopjes of oesters. Een gevarieerd slik lijkt dus belangrijk, met ruimte voor zowel bodemdieren als krabben en garnalen in poeltjes. De diepte van deze poeltjes moet dan niet dieper zijn dan 20 á 30 cm. De cascades zullen overigens in positieve zin bijdragen aan een gevarieerd slik.

In deze paragraaf worden de verwachte en wenselijke ontwikkeling van het proefgebied in kaart gebracht op basis waarvan het ontwerp van de proef wordt opgesteld. Separaat van de voorliggende rapportage is in [ref. 38.], in het kader van vergunningverlening, onderzoek gedaan naar beschermde soorten en habitaten en zijn mogelijkheden voor mitigatie en compensatie van versturende activiteiten bepaald. Voor de effecten van de proef op de aanwezige flora en fauna, herkolonisatie en mitigerende maatregelen wordt verwezen naar [ref. 38.].

4.4.1. Hoogteligging en vormgeving slikken

Het succes van de proef voor het creëren van geschikt vogelhabitat hangt van een aantal factoren af, de factoren die we bij de vormgeving van de proef goed kunnen beïnvloeden zijn:

1. hoogteligging/droogvalduur nieuw slik;
2. bodemdiergemeenschap nieuw slik;
3. vormgeving nieuw slik.

hoogteligging/droogvalduur ('vanuit vogels geredeneerd')

De optimale hoogteligging voor vogels die willen foerageren is een afweging tussen de periode dat het slik droogvalt en welk voedsel er te vinden is. Het makkelijkst is om te foerageren op hoog slik, dat valt namelijk langdurig droog, maar daar zit dan misschien net weer niet het goede voedsel (de hoogteligging van het slik is uitgedrukt in % droogvaltijd. Hiermee kan dan de hoogteligging worden berekend aan de hand van de getijcurve ter plaatse).

Voor steltlopers is in meerdere onderzoeken gevonden dat een droogvalduur van 20-50 % het meest optimale foerageer habitat vormt. De kleinere soorten zitten dan veelal op het hogere slik (50 %) en de grote soorten wat verder naar onder. Vooral de scholekster foerageert veel op slik wat maar 20-30 % droogvalduur heeft. Abrupte sprongen in hoogteligging en dus droogvalduur moeten zo veel mogelijk voorkomen worden. Maar wanneer de cascades toch tot op zekere hoogte zorgen voor abrupte sprongen in hoogteligging, moet deze sprong niet in de zone van 20-50 % droogvalduur liggen.

bodemdiergemeenschap

Vijf factoren zijn belangrijk:

- zoutgehalte;
- slibgehalte/korrel grootte;
- primaire productie van algen (gerelateerd aan doorzicht);
- hoogteligging/droogvalduur;
- stroomsnelheid.

Met name de hoogte/droogvalduur, de stroomsnelheid en korrelgrootte kunnen in het ontwerp worden beïnvloedt. Zoutgehalte en primaire productie zijn voor de locatie schelpenhoek een vast gegeven.

hoogteligging

Bodemdieren willen aan de ene kant zo lang mogelijk onder water zitten om te kunnen eten, maar aan de andere kant willen ze droogvallen om niet ten prooi te vallen aan vissen en kreeftachtigen. De optimale droogvalduur voor schelpdieren blijkt 20-50 % te zijn. Voor wormachtigen is dit > 30 %. Wormen zitten dus doorgaans iets hoger op het slik dan schelpdieren.

stroomsnelheid

Als de stroomsnelheid te hoog is hebben bodemdieren moeite met vestigen. (nog geen cijfers bekend). Maar er kan worden gesteld dat een gevarieerd slik van belang is (zie 3 vormgeving). Het is zeker niet erg als er her en der wat stroomgeultjes ontstaan waar dan minder bodemdieren in leven. Zolang daarnaast maar genoeg areaal overblijft waar welk bodemdieren in leven.

korrelgrootte

Het effect van de korrelgrootte heeft een beperkte invloed op de ecologische ontwikkeling: de bodembeweging is belangrijker dan de korrelgrootte. Een iets grotere korrel dan gebiedseigen materiaal is vermoedelijk geen probleem. 'Extern zand' zou dus zonder nadelige effecten kunnen zijn mits de korrelgrootte en de slib fractie niet te groot worden (te grote fractie kan versnelde uitdroging van het slik tot gevolg hebben). Orde van grootte is een bovengrens voor de korrelgrootte van 200 µm en een slib fractie van maximaal 1,0 a 1,5 %. Als er keus is voor het te suppleren zand moet zand worden gekozen wat zo veel mogelijk overeenkomt met het gebiedseigen zand.

vormgeving nieuw slik

Uit de literatuur blijkt ook dat er maanden van het jaar zijn dat de wadvogels zich voornamelijk voeden met garnalen en krabben en niet zozeer met dieren die in het zand zitten. Hiervoor is het belangrijk dat het slik een beetje gevarieerd is, met voldoende poelen bij laag water. Hierin hopen de jonge krabben en garnalen zich dan op. De cascades met wierbegroeiing en stroomgeultjes er langs zullen hier positief aan bijdragen.

Tot zo ver komt de voorkeur van bodemdieren en van vogels mooi overeen, de zone van het slik met droogvalduur van 20-50 % lijkt dus het meest belangrijk. Hierop kan het ontwerp van de cascades gebaseerd worden. Deze cijfers zijn vrij robuust, blijken uit Waddenzee en Oosterschelde, en het komt dus niet op 1 of 2 %. De natuurlijke fluctuaties in deze cijfers bijvoorbeeld onder invloed van spring- en doodtij zijn ook groot.

4.4.2. Schorvorming op nieuw gesuppleerd zand

Schor is te verwachten van GHW (gemiddelde hoogwaterlijn) tot 80 cm daarboven [ref. 44.], [ref. 45.], [ref. 46.]. Als het gesuppleerde zand zich in die zone bevindt kan begroeiing met schorvegetatie worden verwacht. Dit is gebaseerd op studies van de Westerschelde, dat een systeem is met natuurlijke getijslag. Achter in de Oosterschelde kan het iets anders zijn, maar naar verwachting is het in Schelphoek, dicht bij de monding van de Oosterschelde, vergelijkbaar.

4.4.3. Aangroeimogelijkheden materiaal drempels

beneden de laagwater lijn (sublitoraal)

Hypothese: op hard substraat zoals stenen en beton in het sublitoraal van de Oosterschelde kan een zeer diverse levensgemeenschap ontwikkelen. Deze bestaat uit tal van soorten. Aan de basis hiervan staan de vast groeiende organismen zoals bijvoorbeeld: oesters, mosselen, zeepokken, anemonen, zakpijpen, sponzen, wieren, poliepen en zelfs koraal (dodemansduim). Hierop en -tussen zullen allerlei mobiele dieren leven zoals bijvoorbeeld: krabben, kreeften, garnalen, (naakt)slakken, inktvissen en veel soorten vis.

Een voorwaarde hiervoor is dat het substraat van voldoende kwaliteit is. Drie factoren zijn van groot belang:

- formaat van 'brokstukken'. Het formaat bepaalt de habitat complexiteit en heeft daardoor een sterke invloed op de biodiversiteit. Brokstukken moeten niet heen en weer bewegen in de stroming of golfslag. Er moeten voldoende grote spleten en holen tussen de brokstukken bestaan (schuilplaats voor vissen en kreeftachtigen). Zowel de spleten als de brokstukken zelf moeten niet dicht slibben/bedolven raken onder het sediment. Aangenomen wordt dat een minimum van 30 cm doorsnede een goed uitgangspunt is voor formaat brokstuk. (Bronnen: Waardenburg 1984; Gratwicke en Speight, 2005a & 2005b);
- reliëf oppervlakte. Een ruw oppervlakte van de brokstukken is belangrijk voor snelle kolonisatie. Op ruwe materialen zoals beton of natuurlijk breuksteen uit mijnen hebben de vasthechtende organismen zoals oesters en wieren veel grip. Daardoor koloniseren ze snel en blijven ze goed zitten bij storm. Gladde materialen zoals basalt blijven vooral op sterk geëxponeerde locaties veel kaler. In principe geldt hier: hoe ruwer hoe beter;
- chemische uitloging. Uit het toe te passen materiaal moeten geen of zeer weinig chemische stoffen logen. Dit kan in sommige gevallen de ontwikkeling van een levensgemeenschap verhinderen.

getijdenzone (litoraal)

Hypothese: op hard substraat in de getijdenzone komen sterk gezonde en daardoor diverse levensgemeenschappen tot ontwikkeling. De onderste zones zullen sterk gedomineerd worden door oesters. In de zones daarboven zal een gezonde wierbegroeiing ontstaan met onder andere kleine zee-eik,

blaaswier en darmwier. Tussen de oesters en wieren leven onder andere mosselen, zeepokken, alikruiken, krabben en paardeanemonen.

Ook hiervoor geldt de voorwaarde dat het substraat van voldoende kwaliteit is. De habitat complexiteit en het reliëf zijn belangrijk om vergelijkbare redenen als hierboven. Aanvullend is ook van belang hoe goed het substraat vocht vast houdt. Hoe sneller het droogvallende substraat uitdroogt, hoe minder gunstig de omstandigheden voor de levensgemeenschap. Het substraat moet dus vocht vasthouden, bijvoorbeeld omdat het poreus is of omdat het zeer veel kleine spleten en gaten bevat. De reeds bestaande kreukelbermen van grof breuksteen zijn goede voorbeelden, deze zijn vaak goed begroeid. Bestortingen die 'vol en zat' zijn, en overgoten met gietasfalt, raken vaak slecht begroeid.

afbeelding 4.10. Links: strakke basalt dijk met magere wierbegroeiing. Rechts: kreukelberm met uitgebreide wierbegroeiing. Trajecten liggen aangrenzend aan elkaar, zelfde windrichting zelfde dag, etc.



foto's: W. Lengkeek, bureau Waardenburg

4.5. Evenwichtsprofiel

De vorm en de hoogte van het gebied tussen de zandvangdrempels hangt met name af van het evenwichtsprofiel en de ontgrondingen aan weerszijden van de drempels. Het is om de volgende redenen belangrijk om de vorm en de hoogte van het profiel tussen de zandvangdrempels vooraf in te kunnen schatten:

- de drempels dienen dusdanig ontworpen te worden zodat deze niet ondermijnd worden door locale of globale ontgrondingen;
- tijdens dagelijkse omstandigheden dient het gebied tussen de drempels op een ecologisch geschikte hoogte te liggen.

Het doel van deze paragraaf is om een inschatting te geven van het verwachte nieuwe evenwichtsprofiel tijdens dagelijkse situaties (in het kader van ecologische geschiktheid) en het maatgevende profiel (steilst mogelijke evenwichtsprofiel, ten behoeve van de stabiliteit van de drempels). Lokale ontgrondingen worden in paragraaf 4.1 en bijlage III besproken.

Een evenwichtsprofiel wordt gedefinieerd als een dwarsprofiel met een constante vorm die bereikt wordt bij een constant golfklimaat voor een onbepaalde lange tijd [ref. 28.]. Het is een geïdealiseerd profiel dat zich heeft aangepast aan sediment-, golf-, stroming- en waterdieptefluctuaties. In werkelijkheid bestaat er in de natuur echter geen stabiel evenwichtsprofiel. De golfcondities en waterstanden zijn niet constant en daardoor zal zich geen absoluut evenwicht vormen (zonder veranderingen van het profiel in de tijd) en daarom is sprake van een gemiddeld profiel of een dynamisch evenwichtsprofiel.

De vorm van een evenwichtsprofiel hangt van een aantal factoren af. Enkele belangrijke factoren die een rol spelen zijn de korreldiameter en de golfhoogte (zie [ref. 27.]). Zowel een grotere korreldiameter als een grotere golfhoogte resulteren in een steiler (evenwichts)profiel.

Het huidige profiel heeft ter plaatse van de geplande proeflocatie een relatief flauw talud (<1:100) en bestaat uit fijn materiaal wat naar verwachting afkomstig is uit de geulen. Uit de representatieve bodemopbouw (paragraaf 3.3) blijkt dat er ook een aantal kleilagen in het gebied aanwezig is. Klei is een cohesief materiaal. De aanwezigheid van cohesief materiaal kan erosiepatronen en het evenwichtsprofiel significant beïnvloeden. Er is weinig data beschikbaar met betrekking tot historische bodemveranderingen. In [ref. 25.] wordt de bodemverandering van een klein gedeelte van de geplande proeflocatie weergegeven. Op basis van [ref. 25.] kan gesteld worden dat de bodemveranderingen tussen 2001 en 2007 op de geplande projectlocatie klein zijn. Er wordt voornamelijk vanuit gegaan dat er in de huidige situatie sprake is van een (dynamisch) evenwichtsprofiel.

Door de zandsuppletie en het plaatsen van de zandvangdrempels wordt het huidige profiel verstoord en zal zich naar verwachting in de loop van de tijd een nieuw (dynamisch) evenwicht instellen. De ingreep beïnvloedt op de volgende wijzen de vorm van het profiel ten opzichte van de huidige situatie:

1. lagere golfhoogte aan de walzijde van de drempels: afhankelijk van de waterstand en de golfhoogte worden golven door de drempels getransformeerd. De golven worden (gedeeltelijk) gereflecteerd en golven breken over de drempels waardoor golfenergie wordt gedissipeerd. Hierdoor is de golfhoogte (en de energieflux) aan de walzijde van de zandvangdrempels lager [ref. 26.]. Dit effect resulteert in een relatief flauw talud;
2. suppletiemateriaal: De samenstelling van het huidige sediment en bodemmateriaal is beschreven in paragraaf 3.3.1 en 3.3.2. Dit materiaal is zeer fijn met een relatief hoog slibgehalte (en mogelijk cohesief). De samenstelling van het suppletiemateriaal is gegeven in paragraaf 3.3.3. Dit materiaal is grover dan het huidige bodemmateriaal in de Schelphoek. Het suppleren wordt echter zo uitgevoerd (zie hoofdstuk 2, eis ID SCH037) dat relatief grof materiaal tegen de dijk komt te liggen en het relatief fijnere sediment verder van de dijk en tussen de cascades komt. Het suppletiemateriaal tussen de cascades is daarom fijner dan het materiaal uit de winput (zie paragraaf 3.3.3). Naar verwachting zal het suppletiemateriaal tussen de cascades nog wel een grotere korreldiameter hebben dan het 'gebiedseigen materiaal'. Een grove korreldiameter resulteert in een relatief steil talud;
3. langsstroming: in paragraaf 4.1 staat beschreven dat een onderwaterdam langsstroming achter de dam tot gevolg kan hebben. Deze stroming kan naar verwachting de grootste ontgrondingen direct achter de zandvangdrempels veroorzaken, landwaarts van deze ontgraving kan zich dan het evenwichtsprofiel vormen. Mogelijk kan het effect van deze langsstromingen ook overheersen en bepalend zijn voor de vorm van het evenwichtsprofiel. Voor het ontwerp van de dammen wordt daarom een veiligheidsmarge in acht genomen;
4. transport van zand over drempels;
5. kleinere waterdiepte: de vorm van het (dynamische) evenwichtsprofiel is over het algemeen concaaf. Dit wordt veroorzaakt doordat de naar de wal gerichte golfkrachten die op de sedimentdeeltjes aangrijpt toenemen bij een kleinere waterdiepte. Deze toenemende golfkracht wordt evenredig gecompenseerd met de zwaartekrachtcomponent van het materiaal door een steilere helling. De waterdiepte (maar ook de golven) zijn door de zandsuppletie kleiner, mogelijk resulteert dit in een steiler profiel.

dagelijkse omstandigheden - verwacht evenwichtsprofiel

De genoemde effecten zijn tegengesteld. Welk effect sterker is, hangt van veel factoren af. De hypothese is dat de effecten elkaar opheffen en dat de helling van het nieuwe profiel tijdens dagelijkse omstandigheden bij benadering gelijk is aan de helling van het huidige profiel.

maatgevend profiel ten aanzien van stabiliteit van de drempels

Voor het ontwerp van de drempels wordt uitgegaan van het maatgevende/ diepste profiel. In feite is dat het steilste mogelijke profiel. De helling van het huidige profiel is zeer flauw is (circa 1:100). Een steiler talud van de helling van de proef is goed mogelijk.

Er bestaan verschillende rekenregels en modellen waarmee een evenwichtsprofiel of afslagprofiel kan worden berekend. Bij gebruik van deze rekenregels wordt benadrukt dat evenwichtsprofielen zeer dynamisch kunnen zijn en wanneer ze buiten het gestelde toepassingsgebied van het rekenmodel gebruikt worden de werkelijkheid er anders uit kan zien [ref. 29.]. De bestaande rekenregels zijn niet strikt toepasbaar voor de huidige situatie maar kunnen wel een beeld geven van de invloed van de parameters die een rol spelen. In bijlage II is voor verschillende golfhoogten en korreldiameters het evenwichtsprofiel bepaald. Uit de bepaalde evenwichtsprofielen blijkt dat een kleine vergroving van het materiaal of kleinere waterdiepte reeds kan leiden tot een significant steiler profiel.

Voor het ontwerp van de drempels wordt een maatgevende helling van 1:50 aangehouden. In theorie kan zich echter een veel steiler profiel ontwikkelen. Een helling die meer dan 2 keer zo steil is als de helling in de huidige situatie wordt echter niet verwacht. De resultaten van de proef moeten uitwijzen wat voor profiel zich werkelijk gaat ontwikkelen.

afslagprofiel en duurzaamheid

Met name tijdens stormomstandigheden zijn de golven en de waterstand het hoogst en wordt het sediment in het profiel opgewoeld en zal de erosie van sediment het grootste zijn. Tijdens deze omstandigheden zal het water tot aan de dijkvoetsuppletie staan, het relatief steile profiel van de dijkvoetsuppletie zal eroderen waardoor materiaal van de dijkvoetsuppletie richting het gebied tussen de drempels en de geulen wordt getransporteerd. Het effect van erosie van de dijkvoetsuppletie zal naar verwachting een verflauwing van het profiel zijn. Omdat erosie met name plaatsvindt tijdens zware stormen hangt de duurzaamheid van de proef nauw samen met het voorkomen hiervan en de hoeveelheid zand die per storm verloren gaat.

4.6. Dijkvoetsuppletie

De dijkvoetsuppletie heeft enerzijds als functie om geërodeerd zand boven de cascade aan te vullen en anderzijds om als voorland de golven tijdens een ontwerpstorm te reduceren en daarmee de golfbelasting op de dijk (ook na zeespiegelstijging) te reduceren.

De hoogte van de dijkvoetsuppletie hangt van de volgende factoren af:

- het voorland moet hoog genoeg zijn om de golfbelasting op de dijk te reduceren;
- het voorland moet niet te hoog zijn omdat verstuiwing onacceptabel groot kan worden;
- op de dijkvoetsuppletie kan schorvorming optreden: schorontwikkeling is op zich positief, maar kan een nadeel zijn omdat vegetatie zand ongewenst kan vasthouden.

Het ontwerp van de proef wordt echter niet gestuurd door veiligheid of schorvorming maar door het fenomeen winderosie (verstuiwing). De dijkvoetsuppletie zal zodanig worden vormgegeven dat de winderosie beperkt is. De winderosie van sediment is een complex geheel met interactie van een aantal factoren. De belangrijkste factoren die invloed hebben op de winderosie zijn [ref. 33.]:

- windsnelheid: bepaald in eerste instantie de hoeveelheid zand die landwaarts verplaatst kan worden. Hierbij zorgen de hoogste windsnelheden niet per definitie voor de grootste transporten. Alleen boven een bepaalde windsnelheid zal het zand gaan bewegen. Dit is de kritieke windsnelheid. Deze ligt voor droog zand op ongeveer 5 à 6 m/s;
- strijklengte en windrichting: de strijklengte over het sediment heeft invloed op de capaciteit voor zandtransport. Een kleiner mobiel oppervlak genereert minder verstuiwing. De windrichting is een van de factoren die de strijklengte bepaalt. Bij schuin aanlandige wind is de strijklengte groter dan bij loodrecht aanlandige wind waardoor de capaciteit voor zandtransport groter is;
- korrelgrootte en dichtheid van de korrel: grotere en relatief zwaardere korrels worden moeilijker opgenomen dan kleinere en relatief lichtere. Er is een optimum bij 0,1 mm, daarboven en daaronder neemt de kritieke windsnelheid toe;
- vochtgehalte van het oppervlak: vochtig zand 'plakt' en is daardoor moeilijker opneembaar dan droog zand. Hierdoor wordt de kritieke windsnelheid verhoogd naar circa 10-12 m/s;

- vegetatie: door de ruwheid van vegetatie wordt de windsnelheid aan het oppervlak geremd, waardoor minder energie beschikbaar is voor zandtransport. Daarnaast kan vegetatie het sediment vasthouden;
- de dijk: tegen een helling op versnelt de wind, aan de achterzijde van de dijk kan de windrichting tegengesteld zijn (door wervelingen). Voor het sediment werkt de dijk als een obstakel: het sediment moet eerst omhoog worden getransporteerd.

Door de interactie van deze factoren (die elkaar ook nog eens wederzijds kunnen beïnvloeden) is het kwantificeren van het zandtransport een uitermate complexe bewerking [ref. 33]. De voorspelling met behulp van bestaande formules kan slechts een indicatie vormen en verschillen soms aanzienlijk met de werkelijkheid.

Een aantal van de bovengenoemde parameters kunnen worden beïnvloed door het ontwerp van de dijkvoetsuppletie:

- de strijklengte;
- vochtgehalte van het oppervlak;
- vegetatie.

Deze parameters zijn tegenstrijdig aan elkaar. Zo zal voor een korte strijklengte (relatief lagere erosie) het aanlegniveau van de suppletie hoger moeten zijn. Hetgeen betekent dat het vochtgehalte omlaag gaat (toename van erosie). Voor een te lage zandsuppletie is de kans op vegetatie daarentegen veel kleiner.

In tabel 3.2 worden de percentages van windsnelheden per windrichting gegeven. Uit deze tabel blijkt dat een groot percentage van de tijd de windsnelheid tussen de 6 en de 12 m/s is. Dit betekent dat het verschil in zandtransport tussen vochtig en droog zand groot zal zijn (6 en 12 m/s zijn de verwachte kritieke windsnelheden voor respectievelijk droog en nat sediment).

De meest gunstige hoogte is een niveau dat regelmatig onder water staat dankzij het tij maar ook zo hoog is dat het geschikt is voor vegetatie. De hypothese is dat de meest gunstige aanleghoogte enkele decimeters onder GHW is. Op dit niveau wordt het materiaal vrijwel dagelijks nat door het getij wat de winderosie zal beperken. Daarnaast zal bij de wind waarbij de winderosie het grootst is, door windopzet dit gebied relatief vaker nat worden. Daarnaast valt dit niveau binnen het niveau 'laag schor'. Hier is het daarom goed mogelijk om verstuingen af te remmen door natuurlijke vegetatieontwikkeling of door aanvullende aanplant van helm (beheer).

4.7. Samenvatting hypothesen

ecologie

1. Met behulp van de proef wordt beoogd de erosie van de slikken te stoppen, en zal het areaal met goede kwaliteit foerageergebied uit kunnen breiden. De kwaliteit van de proef moet zodanig zijn dat het beeld uit tabel 3.7 terugkomt na het realiseren van de proef. De hypothese is dat dit bereikt kan worden met onderstaande hypothesen.
2. Het grootste areaal nieuw slik moet een droogvalduur van 20-50 % hebben.
3. Slik daar onder en daar boven is ook belangrijk, maar minder dus kleiner areaal.
4. Door morfologische effecten zal de hoogte van het slik tussen twee drempels niet gelijkmatig onder een helling verlopen maar door (lokale) morfologische effecten bij de landwaartse dam lager gaan liggen waardoor het slik meer horizontaal zal gaan liggen. Wanneer twee drempels worden aangelegd op een hoogte overeenkomstig met een 20 % en een 50 % droogvalduur bestaat zodoende het gevaar dat de hoogte van het slik niet de gehele range afdekt. Door in dit gebied een extra dam toe te passen wordt een grotere range gedekt.

5. Slik is bij voorkeur gevarieerd. Cascades en variatie in hoogte dragen in positieve zin bij aan een gevarieerd slik. Ondiepe poeltjes (niet dieper dan 20-30 cm) dragen tevens positief bij aan een gevarieerd slik.
6. De zandsuppletie wordt (bij voorkeur) in de uiteindelijke gewenste vorm/profiel gestort. Zo hebben de vogels sneller een geschikt foerageergebied. Er wordt ook een zandbuffer aangebracht als dijkvoetsuppletie om wanneer sprake is van erosie dit te compenseren en de cascade te 'voeden'.
7. gesuppleerd zand komt bij voorkeur overeen met 'gebiedseigen' materiaal. Een iets grotere korrel dan gebiedseigen materiaal is vermoedelijk geen probleem. Orde van grootte is een bovengrens voor de korrelgrootte van 200 µm en een slib fractie van maximaal 1,0 a 1,5 %.
8. Op substraat van voldoende kwaliteit kan zich een zeer diverse levensgemeenschap ontwikkelen.

hydrodynamica en morfologie

9. Inkomende golven breken/dissiperen energie over de drempels. De golfhoogte achter de drempel (de transmissiegolf) is met name afhankelijk van de vrijboord van de drempel en de hoogte van de inkomende golfhoogte.
10. Aan weerszijden van de drempels zullen ontgrondingen ontstaan.
11. Golfgedreven sedimenttransporten domineren over getijgedreven transporten.
12. Golfgedreven transport levert de belangrijkste bijdrage aan morfologische veranderingen. Deze loopt parallel aan de drempels, zowel richting het noordwesten als richting het zuidoosten. Een deel van het sediment komt in luwere zones terecht: i) bij schuin invallende golven in de zone achter de drempels waar golfhoogte is gereduceerd door de drempels. ii) aan de noordzijde van caisson (ten westen van het vogeleiland) en iii) door golven afgeschermd gebied in het zuidwesten van de baai. Daarnaast zal er tevens sediment in dwarsrichting over en langs de drempels getransporteerd worden.
13. Randeffecten op de koppen van de drempels zorgen voor extra ontgrondingen in deze gebieden.
14. Door openingen in de drempel te creëren worden morfologische effecten beperkt: stromingen langs de drempel en retourstromingen zijn minder groot omdat ze op meerdere plaatsen richting de plaat kunnen stromen. Idealiter worden drempels en openingen zodanig vormgegeven dat ontgrondingen niet dieper worden dan 20 à 30 cm (zie hypothese 4).
15. door aan de uiteinden van de drempels een versterf toe te passen worden morfologische randeffecten geminimaliseerd.
16. de effecten van de zandvangdrempel op het evenwichtsprofiel zijn tegengesteld. De hypothese is dat de helling van het nieuwe profiel tijdens dagelijkse omstandigheden bij benadering gelijk is aan de helling van het huidige profiel.
17. Een maatgevende helling zal niet steiler worden dan 1:50.

toepasbaarheid

18. De toepasbaarheid van de proef voor toekomstige locaties in de Oosterschelde is gerelateerd aan stroming. Omdat de golfgedreven transporten in Schelphoek naar verwachting domineren zijn de resultaten van de proef met name toepasbaar op locaties waar de effecten door golven dominant zijn boven de effecten van het getij.
19. In de Oosterschelde zijn de stroomsnelheden in de geulen relatief groot maar op de platen en de vooroevers relatief klein. Hierdoor zijn de golfgedreven transporten op de platen/vooroevers van de Oosterschelde vrijwel altijd dominant. Hierdoor zijn de resultaten van de proef bruikbaar voor veel locaties in de Oosterschelde.
20. Een cascade op de platen is een andere case dan de proef Schelphoek. Er wordt verwacht dat de resultaten van proef Schelphoek wel nuttig zullen zijn maar er is zeker aanvullend onderzoek vereist.

dijkvoetsuppletie

21. De dijkvoetsuppletie wordt op zodanige hoogte aangebracht dat winderosie beperkt blijft: ten aanzien van winderosie is de meest gunstige aanleghoogte van de dijkvoetsuppletie enkele decimeters onder GHW.

5. ONTWERP VAN DE PROEF LAY-OUT EN HOOFDDIMENSIES

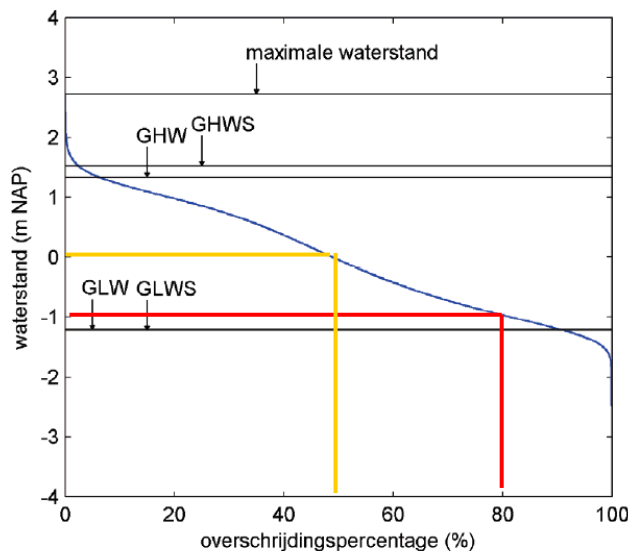
In dit hoofdstuk zijn de lay-out en hoofddimensies van de proef Schelphoek gegeven. Dit definitieve ontwerp betreft het vaststellen van de lay-out en dimensies van de proef, opgesteld op basis van de in hoofdstuk 4 uitgewerkte hypothesen. In bijlage I is het definitieve ontwerp op tekening afgebeeld. In hoofdstuk 6 is het materiaal en het definitieve ontwerp van de drempels bepaald.

5.1. Hoogteligging van de cascades (slik) en de dijkvoetsuppletie

Op basis van de volgende hypothesen (zie paragraaf 4.8) kan de hoogte van het slik tussen de drempels worden bepaald:

- hypothese 2: het grootste areaal nieuw slik moet een droogvalduur van 20-50 % hebben. Uit afbeelding 5.1 blijkt dat hierbij een waterstand tussen NAP - 1 tot NAP + 0 hoort;
- hypothese 4: in het gebied met een droogvalduur tussen 20 % en 50 % komt een tussendrempel;
- hypothese 3: slik daar onder en daar boven is ook belangrijk, het benodigde areaal kan wel kleiner;
- hypothese 21: de dijkvoetsuppletie wordt op zodanige hoogte aangebracht dat winderosie minimaal is. Uit hypothese 21 blijkt dat deze hoogte enkele decimeters onder GHW ligt. Voor de aanleg van de suppletie wordt een hoogte van NAP + 1,0 m aangehouden.

afbeelding 5.1. Waterstand bij een droogval van 20 en 50 %



Een ontwerp op basis van bovengenoemde hypothesen kan met vier cascades (slik) en vier cascade-drempels (zie afbeelding 5.2), waarbij:

- de laagste cascade (aan de zeezijde) ligt op GLW, dit is NAP - 1,2 m;
- de tweede en derde cascade zijn het breedst en beslaan het gebied tussen 20 en 50 % droogvalduur. Uitgaande van een licht verhang in het slik is de ontwerphoogte:
 - van de tweede cascade tussen NAP - 1,0 en NAP - 0,5 m;
 - van de derde cascade tussen NAP - 0,5 m en NAP 0,0 m;
- de bovenste cascade (landzijde) betreft het gebied tussen de bovenste drempel en de dijkvoetsuppletie op een ontwerphoogte van NAP + 0,0 m.

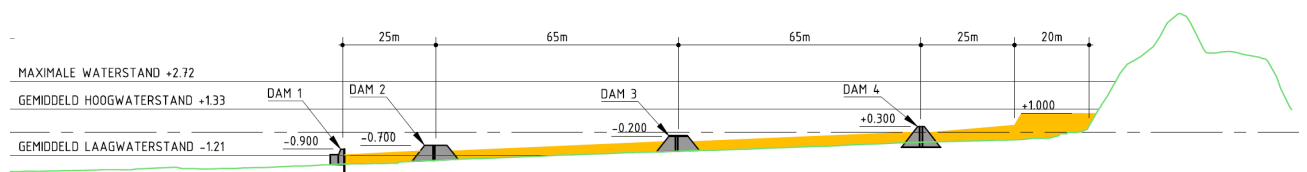
5.2. Hoogte drempels

De kruinhoogte van de drempels is niet perse gelijk aan de gewenste hoogte voor het aanliggende slik (cascade). Door morfologische effecten zal het slik tussen de drempels naar verwachting lager komen te liggen dan de drempels zelf (zie hypothesen 4 en 10). De hoogte van het tussenliggende slik hangt af van het evenwichtsprofiel, geulen, de toevoer van sediment en de te verwachte ontgroningen aan weerszijden van de drempel (zie ook paragraaf 6.4.2). Uit hypothese 16 volgt dat het evenwichtsprofiel

onder dagelijkse omstandigheden bij benadering de zelfde vorm zal hebben als het huidige profiel. Het effect van de overige factoren wordt verwacht klein te zijn. In de orde van 15 à 30 cm (zie ook paragraaf 6.4.2 en bijlage 3). De lengte van deze ontgrondingskuilen en de breedte van de geulen is relatief klein, beide in de orde van enkele meters. Er wordt benadrukt dat de onzekerheid van de genoemde effecten groot is. De genoemde morfologische effecten zijn doorgaans niet op decimeters nauwkeurig te voorspellen.

Op basis van de lokale ontgrondingen wordt een 'overhoogte' van de drempels geadviseerd van 30 cm. De resultaten van de proef moeten uitwijzen of dit voldoende is. De hoogte van de drempels en het slik is afgebeeld in afbeelding 5.2.

afbeelding 5.2. Ontwerphoogte cascades en drempels (zie ook bijlage I)



5.3. Lay-out van de proef

5.3.1. Hoofddimensies

In het ontwerpatelier [ref. 12.] is besloten een gecombineerde proef te doen (een gedeelte met en een gedeelte zonder cascadedrempels). In het ontwerpatelier is tevens naar voren gekomen dat hiervoor een bredere proef wenselijk is en dat naar verwachting meer suppletiemateriaal beschikbaar is. In het ontwerp wordt daarom uitgegaan van een breedte van de proef tussen de 500 en de 600 m. Dit komt neer op ongeveer 70.000 m³ suppletiemateriaal (exclusief zettingen). Naar verwachtingen zullen er zettingen optreden en daarom zal er circa 85.000 m³ zand benodigd zijn.

Door de proef langer te maken zullen de randeffecten verkleind worden. Idealiter loopt de proef door tot in een luwere zone. Aan de noordwest kant is dit achter caissons en aan de zuidoostkant tot in de luwe zone achter de restanten van de ringdijk.

De lengte van de baai is veel groter dan 500 m. Daarom is het niet mogelijk de proef aan weerszijden door te laten lopen tot in de luwere zone (voor alle windrichtingen).

De dijkvoetsuppletie en de drempels zijn zodanig geplaatst dat bij de overheersende wind- en golfrichting (zuidwest) de proef belast wordt met de grootste golfhoogte. Hierbij ligt de noordwestzijde enigszins in de luwte achter een ondiepte en de caissons. Zoals te zien is in afbeelding 4.2 geeft deze ondiepte bij een jaarlijks extreme conditie weinig/geen afscherming. Tijdens jaarrond condities wordt hier meer afscherming verwacht.

De breedte van de proef bepaald (in combinatie met de lengte) het slik areaal en ook de benodigde hoeveelheid zand. De breedte moet representatief zijn voor toekomstige situaties. De breedte van de proef heeft tevens invloed op de morfologische effecten. Bij een kleine breedte zullen de ontgrondingskuilen die aan weerszijden van de drempels ontstaan, het dwarsprofiel domineren. Een relatief brede proef heeft de voorkeur omdat de ontgrondingen een kleinere impact hebben en het behaalde extra areaal groot. De waterdiepte wordt echter significant groter op grotere afstand van de dijk en daarmee ook het benodigde volume suppletiezand. In het referentieontwerp (bijlage I) is een breedte ingetekend van 200 m (suppletie en cascade). Dit is in goede verhouding met de lengte van de proef. De afstand

tussen de drempels is echter relatief klein (25-65 m) maar voldoende in verhouding met de verwachte breedte van de ontgrondingen.

5.3.2. Rand suppletiegebied

Om te voorkomen dat het gesuppleerde gebied bij terugtrekkend water snel uitdroogt kan het uittreden van bodemwater bemoeilijkt worden door op de rand van de suppletie een flauwe helling naar de bestaande bodem toe te passen. Er zal op de randen een maximale helling van 1:50 worden aangehouden. Aan de zijkanen van de suppletie (noord en zuidzijde) wordt een helling van 1:25 voldoende bevonden [ref. 40.].

5.3.3. Dijkvoetsuppletie

De dijkvoetsuppletie moet dienen als buffer. Het zal materiaal wat tussen de cascades erodeert aan moeten vullen. In een workshop [ref. 40.] is gesteld dat een breedte van de buffer van 20 m voldoende is.

5.3.4. Lay-out van de drempels

In het definitieve ontwerp is een cascade in de lengterichting gekromd (concaaf) ontworpen. Zodoende worden min of meer de natuurlijke dieptelijnen gevolgd en is (I) de afstand tussen de dijk en de buitenste drempel constant en (II) de richting van golfval consistent met de huidige situatie.

De lengte van de drempels kan variëren. Zoals besproken in hoofdstuk 4 heeft het de voorkeur om de koppen van de verschillende drempels op één golfstraal te leggen. Hierdoor zijn drempels die dicht bij de dijk liggen langer.

versterf

In hypothese 15 wordt gesteld dat door het toepassen van een versterf de morfologische effecten worden geminimaliseerd. Een versterf dient zodanig te worden vormgegeven dat de drempel aan de uiteinde in landwaartse richting afbuigen en onder het zand 'verdwijnen'. Dit laatste hangt af van:

- het verwachte evenwichtsprofiel: zoals gesteld in hypothese 16 zal de helling van het evenwichtsprofiel bij benadering gelijk zijn aan de helling in de huidige situatie. Dit is een relatief flauw talud van circa 1:100;
- verwachte ontgrondingen bij de drempeluiteinden: wanneer de drempel daadwerkelijk onder het zand 'verdwijnt' zal de ontgraving aan het uiteinde van de drempel dezelfde orde grootte hebben als voor het overige deel van de drempel;
- de hoogte van de drempel: de drempel kan naar het uiteinde afnemen in hoogte. Het in breuksteen uitgevoerde gedeelte zal echter niet lager worden dan '2 maal D_{n50} ', de minimaal benodigde laagdikte van breuksteen. De constructiehoogte van de drempel neemt daarmee af tot circa 50 cm. Zie bijlage III voor het bepalen van de vereiste breuksteengradering;
- overige morfologische randeffecten. In hoofdstuk 4 worden een aantal randeffecten gegeven. Deze worden getracht geminimaliseerd te worden door het toepassen van het versterf.

De hoogte van de drempel zal naar het uiteinde afnemen en de bodemhoogte zal oplopen. Dit laatste effect is klein vanwege de relatief flauwe helling in het evenwichtsprofiel. De landwaartse afstand van het versterf is gesteld op 10 m. en de constructie wordt aan het uiteinde verlaagd tot 50 cm. De drempel loopt op deze wijze verder door dan de verwachte maximale lengte van een ontgrondingskuil. Op deze manier wordt verwacht dat het versterf onder het zand zal verdwijnen.

Wederom wordt hier benadrukt dat de bandbreedte in morfologische voorspellingen over het algemeen groter is dan enkele decimeters. Wanneer de drempel met zekerheid onder het zand moet komen te liggen, dan moet deze minstens verlengd worden tot aan de volgende drempel, deze ligt immers slechts 20 centimeter hoger. In dat geval is er echter sprake van 'dwarsdammen'. Zoals gesteld in paragraaf 4.3.4 is er dan sprake van een wezenlijke andere variant. Een versterf met een lengte van 10 m.

landinwaarts lijkt daarin een goed compromis. Een dergelijk versterf zal de randeffecten minimaliseren maar het gebied tussen de dammen niet afsluiten.

In bijlage I is een versterf aangegeven die vermoedelijk ver genoeg doorloopt om onder het zand te verdwijnen. In bijlage VI is een detail van het versterf voor de verschillende drempels gegeven.

5.4. Doorstroomopeningen

5.4.1. Afstand tussen de openingen

In onder andere [ref. 14.] en [ref. 36.] wordt gesteld dat veel huidige onderwaterdammen niet tot de gewenste aangroei achter de dam leiden. Ze leiden juist tot erosie door de golfgedreven stroming (en muistromen) die wordt gecreëerd door de onderwaterdam. In [ref. 36.] worden formuleringen gegeven bij welke configuratie wel en geen erosie wordt verwacht. Deze formuleringen worden gebruikt om de maximale lengte van de drempels te bepalen. Hoewel de huidige drempels afwisselend een onderwaterdam en een bovenwaterdam is, is dit een goed uitgangspunt om de afstand tussen de doorstroomopeningen in te schatten. In bijlage III is de formulering gegeven en is de lengte van de drempelsegmenten bepaald waarbij geen erosie wordt verwacht. De lengte van een drempelsegment wordt gesteld op 50 m.

5.4.2. Ontwerp openingen

De grootte van de openingen dient dusdanig te zijn dat de stroomsnelheden in de openingen niet onacceptabel groot zijn en niet tot grote ontgroningen leiden die groter zijn dan 0,20 – 0,30 cm. In bijlage III wordt op basis van een conceptueel model de retourstroom door de openingen bepaald. Bij een doorstroomopening van 6 m wordt een maximale stroomsnelheid in de opening van circa 0,8 m/s verwacht welke optreedt bij een relatief lage waterstand. Door de relatief lage waterstand zal bij ontgroning de stroomsnelheid relatief snel afnemen (een relatief kleine ontgroning leidt al tot een verdubbeling van de waterdiepte).

Er wordt benadrukt dat het toegepaste model een conceptueel model is met veel onzekerheden en dat het model niet gekalibreerd of gevalideerd is voor de huidige situatie. De uitkomst geeft daarom een orde-grootte schatting.

Het is op voorhand niet met zekerheid vast te stellen of de doorstroomopeningen effect zullen hebben. Om het effect van de doorstroomopeningen vast te kunnen stellen worden in drie drempels wel en in één drempel geen doorstroomopeningen gecreëerd.

Een grotere doorstroomopening reduceert de stroomsnelheid in de opening. Er is gekozen voor deze dimensies van de doorstroomopening omdat dit een realistische verhouding geeft tussen de lengte van de segmenten en de breedte van de openingen. Het kan niet de bedoeling zijn dat de openingen zo groot zijn zodat zich direct achter de opening een eigen evenwichtsprofiel in gaat stellen. De breedte van de gaten moet daarom relatief klein zijn ten opzichte van de lengte van de segmenten.

5.5. Deel van de proef zonder cascadedrempels

De proef Schelphoek bestaat uit een gedeelte met en een gedeelte zonder cascadedrempels. In beide gebieden wordt een dijkvoetsuppletie toegepast. Het doel van de proef is om te bepalen in hoeverre de drempels in staat zijn om erosie van het slik te vertragen en ecologische geschiktheid kan behouden of versterken. Door het initiële profiel van beide gedeeltes van de proef zo veel mogelijk aan elkaar gelijk te stellen kan worden bepaald in welk gebied de meeste erosie optreedt en wat het effect is van de drempels. Een doorsnede van de proef zonder cascade drempels is gegeven in bijlage I.

6. DEFINITIEF ONTWERP VAN DE CASCADE DREMPELS

6.1. Materialen

Bij aanvang van de ontwerp werkzaamheden zijn een groot aantal typen materialen geïnventariseerd welke kunnen worden gebruikt voor de cascade drempels. Een aantal van deze materialen zijn conventioneel en worden reeds toegepast. Een aantal andere materialen zijn innovatief. Onder andere in [ref. 11.] is een aantal innovatieve materialen beschouwd om in Schelphoek te worden toegepast. Tijdens een workshop met experts [ref. 12.] zijn de mogelijke materialen voor de drempels van de cascade beschouwd en is over verdere invulling van de materialen gebrainstormd. De volgende materialen zijn in de workshop besproken:

- rijshoutdammen;
- breuksteen;
- palenrij;
- (asfalt);
- schanskorven;
- consolid;
- GC's;
- smartsoils;
- geotubes;
- C-fix;
- gelijmd breuksteen (bijvoorbeeld Elastocoast);
- rijke dijk.

In de expert workshop zijn een aantal materialen geselecteerd (zie voor meer informatie [ref. 12.]). De geselecteerde materialen zijn:

- breuksteen;
- palenrij;
- schanskorven;
- consolid;
- C-fix;
- elastocoast of ander gelijmd breuksteen;
- betonblokken.

De materialen consolid en elastocoast zijn in de workshop bij gebrek aan kennis niet afgevallen. Deze materialen worden echter niet geschikt geacht om toe te passen als constructiemateriaal voor de proef.

- consolid: dit materiaal is zelfstandig niet stabiel tegen golfaanval, er is daarom altijd een additioneel materiaal vereist;
- elastocoast: vooralsnog is er onvoldoende bekend over de ecologische geschiktheid. Er wordt in ieder geval niet voldaan aan de eis die voorgesteld wordt in paragraaf 4.4 (brokstukken/spleten moeten groter zijn dan 30 cm). Verder kan de uitvoering moeilijkheden opleveren wegens het beperkte tijdvenster waarbinnen gewerkt kan worden.

De materialen C-fix/C-rock, breuksteen en betonblokken zijn alle losgestorte elementen en hebben op een aantal vlakken dezelfde eigenschappen. In dit hoofdstuk wordt uitgegaan van breuksteen elementen. Het hergebruik van gebroken betonblokken welke de laatste jaren veel vrijkomen uit bestaande dijken in Zeeland kan mogelijk een meer economischere oplossing zijn.

Op basis van bovenstaande worden de volgende materialen toegepast in het ontwerp van de constructie van de drempels:

- breuksteen (of vergelijkbaar: C-rock, gebroken betonblokken);
- palenrij;
- schanskorven.

6.2. Ontwerpcriteria en ontwerpoverwegingen cascade drempels

Bij het bepalen van het ontwerp van de cascade drempels zijn een aantal ontwerpcriteria van toepassing. Dit betreft criteria ten aanzien van:

- stabiliteit en robuustheid;
- functionaliteit;
- aanpasbaarheid;
- ecologische kwaliteit.

De criteria zijn hieronder nader beschreven. Opgemerkt wordt dat voor een aantal criteria geldt dat dit harde eisen zijn en voor een aantal criteria dat ze wenselijk zijn en waar mogelijk worden geïntegreerd in het ontwerp.

stabiliteit en robuustheid

De drempels, en daarmee het materiaal van de drempels moeten stabiel zijn bij een ontwerpstorm; een repareerbare schade is toelaatbaar maar niet wenselijk. De golfhoogte waarbij de materialen stabiel achten te zijn, worden gegeven in tabel 3.3.

functionaliteit

sedimentdichtheid

De primaire functie van de drempels is het vasthouden van zand in de cascades. Om aan deze functie te voldoen dient de drempel voldoende sedimentdicht te zijn. Hierbij wordt opgemerkt dat het gebied tussen de drempels wel gevoed dient te worden door het zand uit de dijkvoetsuppletie.

waterdoorlatendheid

Het water wat over de drempels heen stroomt, door golven dan wel getijdenwerking, zal op een bepaalde wijze terugstromen richting de monding van de baai. Het water kan op verschillende wijzen terugstromen:

- langs de kop van de drempel aan de zijkant van de proef;
- door openingen in de drempel;
- over de drempel;
- door de drempel.

Door stromingen langs de kop van de drempel en door stromingen door openingen in de drempel zullen lokaal ontgrondingen ontstaan en langs de drempels zullen zich geulen naar deze openingen vormen. De diepte van deze geulen kan groter worden dan gewenst. Door het aantal openingen aan te passen op de hoeveelheid water die terugstroomt kan voorkomen worden dat de geulen te diep worden. Hiervoor is het wenselijk een materiaal toe te passen waarbij op eenvoudige wijze openingen in de drempel gemaakt kunnen worden waardoor het water terug kan stromen.

Door een waterdoorlatende drempel toe te passen wordt de stroming langs de drempel en door de openingen verminderd. Een waterdoorlatende drempel is daarom wenselijk (hoe doorlatender hoe beter). Dit is echter lastig te bewerkstelligen door de eis van sedimentdichtheid.

geometrie van de drempel

De geometrie van de drempel heeft op meerdere manieren invloed op de functionaliteit van de drempel. De kruinbreedte en de taludhellingen hebben invloed op het volgende [ref 16.]:

- golftransmissie: een bredere kruin en een flauwer talud resulteren in een lagere golftransmissie over de drempel. Het reduceren van de golfhoogte is niet primair de functie van de drempels. Hier volgt daarom geen ontwerpcriterium uit voor de drempels;
- ontgrondingen: aan weerszijden van de drempel zullen ontgrondingen ontstaan. Ontgrondingen zijn aan weerszijden groter en breder bij een steiler talud (het grootst bij een verticale constructie). De breedte van de kruin heeft alleen invloed op de ontgrondingen aan de landzijde van de drempel.

Een bredere kruin resulteert in een bredere ontgrondingskuil. De ontgrondingen aan weerszijden van de drempel dienen bij voorkeur zo klein mogelijk te zijn. Een flauwere helling en een smalle kruin dragen daar aan bij en hebben daarom de voorkeur;

- sedimenttransport; een flauwere helling kan resulteren in een groter sedimenttransport over de drempels. Sedimenttransport is groter over een flauwe helling dan over een steil talud of verticale wand. De primaire functie van de drempels is transport richting de monding van de baai te voorkomen of te vertragen. Een drempel met aan de voorzijde (zeezijde) een flauwe helling en aan de achterzijde (landzijde) een steil talud zou het netto transport richting de dijk ten goede komen. Maar zoals reeds vermeld moet het gebied tussen de drempels wel gevoed worden vanuit de dijkvoetsuppletie en kan een steile helling aan de landzijde resulteren in overwegend transport langs de drempels in plaats van er overheen. In het ontwerp wordt daarom gekozen om de meest zeewaartse drempel te voorzien van een talud aan de zeezijde en een verticale wand aan de landzijde. De overige drempels worden ontworpen met taluds aan beide zijden.

aanpasbaarheid ontwerp

Ten aanzien van de werking van de cascade zijn er een aantal onduidelijkheden. De sedimenttransporten, ontgrondingen en golfpatronen rondom de cascades zijn zeer dynamisch en daarom moeilijk te voorspellen. De hoogte van het gebied tussen de drempels heeft echter wel een belangrijke invloed op de ecologie. De dimensies en lay-out van de drempels moeten goed gekozen worden om tot een ecologisch geschikt gebied te komen. Gezien de complexiteit van het gebied en onduidelijkheden kan echter na enige proeftijd blijken dat dimensies verkeerd zijn gekozen, dit geldt met name voor de hoogte van de drempels. Een flexibele constructie heeft daarom de voorkeur. Uitgangspunt is wel om de proef Schelphoek eenmaal te bouwen en daarna niets meer aan te passen. Aanpassingen worden naar verwachting alleen gedaan wanneer dit zeer eenvoudig is en ook een duidelijk(e) noodzaak/nut heeft.

ecologische kwaliteit

De drempels, moeten van voldoende ecologische kwaliteit te zijn. In paragraaf 4.4 is gegeven dat voor voldoende kwaliteit vier factoren van groot belang zijn:

- formaat van 'brokstukken': er moeten voldoende grote spleten en hopen tussen de brokstukken bestaan. De spleten en de brokstukken zelf moeten niet dicht slibben/bedolven raken onder het sediment. Aangenomen wordt dat een minimum van 30 cm doorsnede een goed uitgangspunt is voor formaat brokstuk;
- reliëf oppervlakte: een ruw oppervlakte van de brokstukken is belangrijk voor snelle kolonisatie. Gladde materialen zoals basalt blijven vooral op sterk geëxponeerde locaties veel kaler. In principe geldt hier: hoe ruwer hoe beter;
- chemische uitloging: uit het toe te passen materiaal moeten geen of zeer weinig chemische stoffen logen. Dit kan in sommige gevallen de ontwikkeling van een levensgemeenschap verhinderen;
- vocht vasthouden door het substraat: hoe sneller het droogvallende substraat uitdroogt, hoe minder gunstig de omstandigheden voor de levensgemeenschap. Materialen kunnen vocht vasthouden door omdat het bijvoorbeeld poreus is of omdat het zeer veel kleine spleten en gaten bevat;
- een verticale constructie kan een barrière vormen.

6.3. Opbouw van de cascade drempels

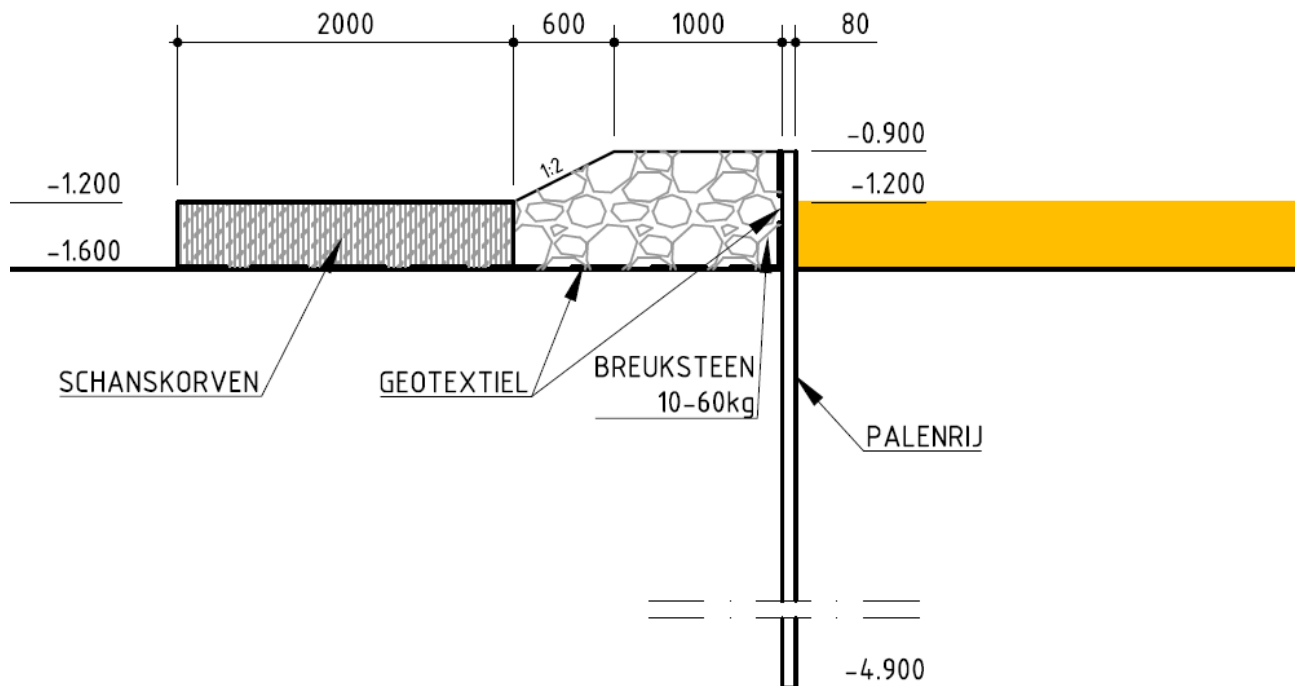
In afbeelding 6.1 en afbeelding 6.2 worden ontwerp dwarsdoorsneden gegeven van de drempels. De doorsneden zijn bepaald op basis van de gekozen materialen uit paragraaf 6.1, de ontwerpcriteria uit paragraaf 6.2 en [ref. 40.]. De specificaties waaraan de verschillende toe te passen materialen dienen te voldoen zijn gegeven in bijlage VII.

6.3.1. Diepste drempel

De diepst gelegen dam (het dichtste bij de monding van de baai) bestaat uit de volgende elementen:

- een basis van breuksteen met onderliggend geotextiel;
- een palenrij met geotextiel;
- een teenconstructie van schanskorven gevuld met breuksteen en oesters.

afbeelding 6.1. Doorsnede diepste dam



breuksteen met geotextiel

Het breuksteen gedeelte vormt de basis van deze drempel. Zoals reeds aangegeven in paragraaf 4.4, kan breuksteen worden gezien als een materiaal met goede ecologische eigenschappen. Om netto sedimenttransport landwaarts te bevorderen is aan de waterzijde voor een (flauw) talud gekozen (een flauwer talud resulteert in een relatief groter transport over de drempel). Onder het breuksteen dient een geotextiel te worden geplaatst om uitspoeling van zand te voorkomen.

palenrij

Het breuksteen is van zichzelf sediment- en waterdoorlatend. Om de constructie zanddicht te maken is aan de landzijde een palenrij geplaatst. Aan een zijde van deze palenrij wordt een geotextiel bevestigd. Op deze manier is de constructie zanddicht en in enige mate waterdoorlatend. Door het plaatsen van de palenrij is een verticale constructie gecreëerd. Hierdoor wordt ten opzichte van een taludhelling:

- de ontgronding aan de landzijde vergroot;
- het sedimenttransport over de constructie beperkt.

Met name om deze laatste reden is gekozen voor een palenrij aan de landzijde van de diepste drempel: voor de diepste drempel geldt dat sedimenttransport over de drempel zo veel mogelijk voorkomen te worden. Sediment aan de waterzijde van de diepste drempel heeft immers geen directe functie voor de ecologie.

schanskorf gevuld met breuksteen en oesters

Een breuksteen constructie dient voorzien te worden van een teenconstructie om instabiliteit door het ontstaan van ontgrondingen direct voor de drempel te voorkomen. In dit ontwerp is gekozen voor een teenconstructie van schanskorven met breuksteen en oesters. De schanskorven in de diepste drempel zullen voor de helft van de lengte van deze drempel volledig gevuld zijn met breuksteen 10-60 kg (dus zonder aanvulling van oesters!). De andere helft van de lengte van de diepste drempel is voor de helft gevuld met breuksteen 10-60 kg onderin en voor de helft gevuld met oesterschelpen (bovenin) [ref. 40.].

Wanneer de schanskorven worden gevuld met een steengradering 10-60 kg is de korf ten aanzien van hydraulische stabiliteit overbodig. Oesters kunnen echter het beste vestigen op materiaal wat 'stil' ligt. Een korf zorgt ervoor dat het breuksteen minder beweegt en heeft daarmee de voorkeur boven losgestort breuksteen. Er is gekozen voor een gedeelte met *en* een gedeelte zonder aanvulling van oesterschelpen. Zo kan het effect op vestiging van levende oesters bepaald worden.

Een schanskorf met oesters kan alleen relatief laag in het profiel worden toegepast (rond de laagwaterlijn op ongeveer NAP - 1,0 m tot NAP - 1,5 m) omdat oesters zich anders niet vestigen. De teen van de eerste drempel ligt op de goede hoogte en daarom kan deze oplossing hier goed worden toegepast. Onder de schanskorven dient een geotextiel te worden geplaatst om uitspoeling te voorkomen.

openingen in de diepste drempel

Op een aantal plaatsen worden openingen in de drempel gecreëerd om terugstromend water doorgang te geven. Het gepresenteerde ontwerp van de dwarsdoorsnede is hiervoor zeer geschikt. Het breuksteen en de schanskorven zijn uit zichzelf zeer waterdoorlatend. Door plaatselijk de palenrij met het geotextiel te onderbreken wordt een goede opening gecreëerd die waterdoorlatend is. Tevens wordt de constructie ter plaatse met 20 cm verlaagd. Aan de landzijde wordt de opening aangevuld met breuksteen. Dit is ter vervanging van de palenrij en om te anticiperen voor ontgrondingen die kunnen ontstaan door stroming en golven. De schanskorven aan de waterzijde worden niet onderbroken en zijn breed genoeg om te anticiperen voor ontgrondingen aan deze zijde van de constructie.

Deze constructie zal niet leiden tot een geheel vrije doorstroombopening maar naar verwachting is het breuksteen open genoeg om voldoende afstroom te realiseren (zie bijlage VI voor het detail van de doorstroombopening).

flexibiliteit

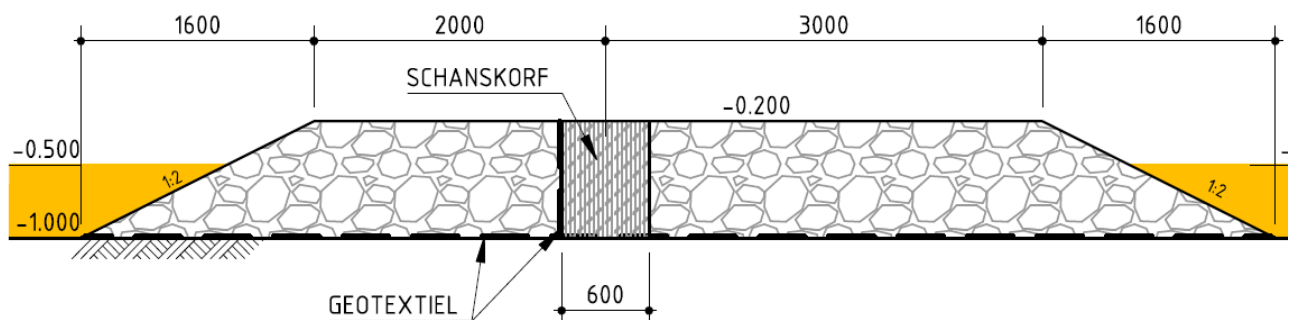
De constructie is eenvoudig aan te passen door de paalconstructie te verhogen of te verlagen. De breuksteenconstructie kan dan op zijn plek blijven.

6.3.2. Overige drempels

De overige drie drempels bestaan uit de volgende elementen:

- breuksteen met geotextiel;
- schanskorf met geotextiel.

afbeelding 6.2. Doorsnede overige drempels



breuksteen met geotextiel

Het breuksteen gedeelte vormt de basis van deze drempels. Voor deze drempels is aan beide zijden een talud toegepast. Zodoende worden de ontgrondingskuilen aan beide zo veel mogelijk beperkt. Bij de diepste drempel is aan de landzijde een verticale constructie toegepast, dat wordt hier niet gedaan omdat het gebied tussen de drempels wel gevoed moet worden.

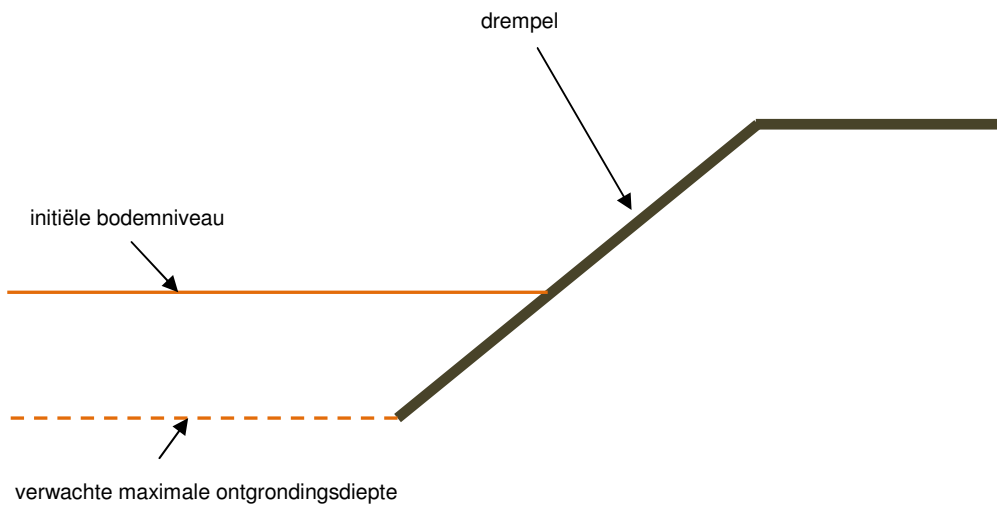
schanskorf met geotextiel

Om de constructie zanddicht te maken wordt een schanskorf met een geotextiel toegepast.

teenconstructie

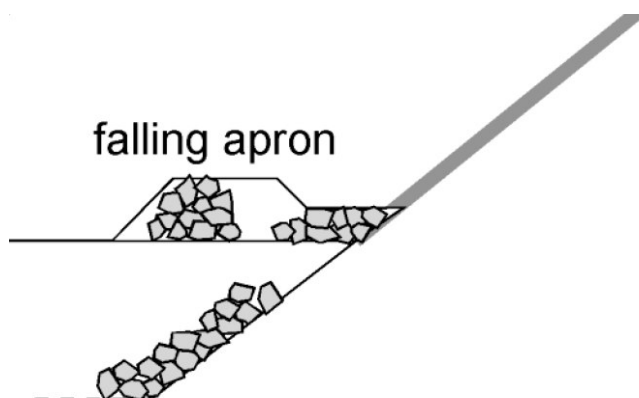
Er zijn verschillende manieren bekend om een teenconstructie te vormen die zorg draagt voor de stabiliteit van de constructie. Een van deze manieren is het verdiept aanbrengen van het talud. Het talud wordt zo diep doorgezet dat een verwachte ontgrondingskuil minder diep komt dan het diepste punt van het doorgezette talud (zie afbeelding 6.3). In het algemeen wordt dit als een dure oplossing gezien omdat eerst gegraven dient te worden voordat de constructie geplaatst kan worden. In deze situatie kunnen de drempels op de huidige bodem geplaatst worden waarna de suppletie het 'initiële' bodemprofiel vormt.

afbeelding 6.3. Principe 'ingegraven' talud



Een andere vorm van een teenconstructie is een 'falling apron'. Het principe hiervan is te zien in afbeelding 6.4. Bij een falling apron vallen de losse stenen in de ontgrondingskuil en beschermen de helling van de ontgrondingskuil waardoor de ontgrondingskuil de eigenlijke constructie niet kan bereiken. Mogelijk is de verwachte ontgraving dieper dan de huidige bodem. In dat geval kan de teenconstructie bestaan uit een combinatie van een 'ingegraven' teenconstructie en een 'falling apron'.

afbeelding 6.4. Principeschets van een 'falling apron'



doorstroomopeningen in de drempel

Op een aantal plaatsen worden openingen in de drempel gecreëerd om terugstromend water doorgang te geven. Het gepresenteerde ontwerp van de dwarsdoorsnede is hiervoor zeer geschikt. Het breuksteen is uit zichzelf zeer waterdoorlatend. Door plaatselijk de palenrij met het geotextiel te onderbreken wordt een goede opening gecreëerd die waterdoorlatend is. Dit zal niet leiden tot een geheel vrije doorstroomopening maar naar verwachting is het breuksteen open genoeg om voldoende afstroom te realiseren. Zie bijlage VI voor de visualisatie van dit detail.

Het is op voorhand niet met zekerheid vast te stellen of de doorstroomopeningen effect zullen hebben. Om het effect van de doorstroomopeningen vast te kunnen stellen worden in twee drempels wel en in één drempel geen doorstroomopeningen (weglaten van geotextiel) gecreëerd.

flexibiliteit

Hier geldt hetzelfde als voor de diepste drempel (zie boven).

6.4. Dimensionering van de drempels

6.4.1. Ontwerp waterstanden en golven

De hydraulische ontwerpcondities voor de buitenste drempel zijn gegeven in hoofdstuk 3. De hydraulische ontwerpcondities voor de overige drempels hangen af van de golftransmissie over de voorliggende drempel(s) maar kunnen ook gelimiteerd worden door de diepte. Golftransmissie over de drempels is bepaald met de formule van 'Briganti et al' zoals gepresenteerd in [ref. 13.]. Een vuistregel voor het bepalen van de golfhoogte van dieptegelimiteerde golven op een flauw talud wordt ook gegeven in [ref. 13.]. Per drempel is de kleinste waarde voor de golfhoogte (zoals bepaald met beide methoden) maatgevend en gegeven in tabel 6.1. De berekeningen en resultaten zijn gegeven in bijlage III.

6.4.2. Ontgrondingsdiepte

De diepte van het talud en de dimensies van de teenconstructie hangen af van de verwachte ligging van het slik tussen de drempels en de dimensies van de ontgrondingskuilen. De teenconstructies van de drempels dienen dusdanig ontworpen te worden, opdat deze niet ondermijnd worden door lokale of globale ontgrondingen. De volgende effecten dragen bij aan lokale en globale ontgronding en zijn bepalend voor de dimensies van de drempel:

- lokale ontgrondingen door golven: aan voorzijde en achterzijde van de drempels zullen naar verwachting lokale ontgrondingskuilen ontstaan (zie paragraaf 4.1);
- evenwichtsprofiel: zie paragraaf 4.5: de globale ontgrondingen. Door de aanleg van de drempels en de suppletie vormt zich mogelijk een steiler evenwichtsprofiel;
- ontgronding door stroming: zie paragraaf 4.1: water kan langs de drempels gaan stromen, dit vormt mogelijk ontgrondingen aan de landzijde van de drempels;
- zandtransport over de drempels: de drempels vormen een obstakel voor zandtransport in de richting van de geulen. Mogelijk wordt het gebied tussen de drempels daarom beperkt aangevuld. Dit levert met name kans op ontgrondingen aan de waterzijde van de drempels.

lokale ontgrondingen

Voor het bepalen van de lokale ontgrondingen voor een constructie worden er in de literatuur verschillende methoden voorgesteld. Geen van de bestaande methoden is strikt toepasbaar omdat een methode uitgaat van grof materiaal of omdat de methode uitgaat van een dam die boven het water uitsteekt. Het ontwerp van de proef (relatief fijn zand en een onderwaterdam) past niet binnen de toepassingsvoorwaarden van een bestaande methode. Voor het bepalen van de ontgrondingen is met een aantal bestaande methoden (hoewel niet strikt toepasbaar) de ontgronding bepaald. Op basis van deze methoden is de grote van de ontgronding voor en achter de drempels geschat. Naar ontgrondingen aan weerszijden van een onderwaterdam is weinig onderzoek gedaan en de resultaten van onderzoeken zijn gebaseerd op een beperkt aantal schaalproeven. Een veiligheidsmarge op de bepaalde ontgrondingskuil wordt daarom geadviseerd. In bijlage III worden de methoden en de resultaten gegeven voor

het bepalen van maximale ontgrondingskuilen aan weerszijden van een onderwaterdam. Er zijn twee situaties beschouwd:

1. een hoge waterstand met een grote golfhoogte;
2. een lage waterstand met een kleinere golfhoogte.

evenwichtsprofiel

In hypothese 17 is gesteld dat het maatgevende profiel niet steiler wordt dan 1:50. Dit steilere profiel ondermijnt mogelijk de landzijde van de drempel. Hierbij wordt er van uitgegaan dat het steilere profiel begint bij de bovenliggende drempel en doorloopt tot lokale ontgrondingen aan de landzijde van de betreffende drempel. In tabel 6.1. wordt aangegeven wat het effect is van deze steilere helling op de bodemligging direct aan de landzijde van de drempels.

ontgroning door stroming

Door stromingen langs de drempel en retourstromingen ontstaan mogelijk ontgrondingen aan de landzijde van de drempels (zie hoofdstuk 4). Het water kan achter de drempels (door de door golven ontstane lokale ontgrondingskuil) gaan stromen wat de lokale ontgrondingseffecten kan versterken (centreren van de stroming). In theorie kan dit leiden tot zeer diepe geulen. Gezien de relatief lage stroomsnelheden (zie bijlage III) wordt verwacht dat het effect beperkt is. Bij een geulbreedte van enkele meters wordt niet verwacht dat de geul dieper zal zijn dan enkele decimeters.

zandtransport over de drempels

De drempels beogen een obstakel te vormen voor zandtransport in de richting van de geulen. Het is daardoor mogelijk dat in een gebied tussen de drempels de aanvoer van sediment vanaf een hoger gelegen cascade kleiner is dan de erosie van sediment naar een lager gelegen cascade. Hierdoor wordt een drempel mogelijk ondermijnd aan de waterzijde. Hoe groot deze ontgroning is, hangt nauw samen met de effectiviteit van de drempels en de erosie die plaatsvindt langs de drempels. Voor het bepalen van de dimensies van de teenconstructie wordt 25 cm. aangehouden voor ontgroning door gebrek aan zandtoevoer (negatief netto transport op cascade).

dimensies teenconstructie

De genoemde effecten hebben invloed op de vereiste diepte van het talud en de dimensies van de teenconstructie. De exacte grootte van de verschillende effecten is moeilijk te voorspellen. Daarnaast kunnen effecten elkaar versterken en andere effecten kunnen elkaar afzwakken. Als uitgangspunt voor het ontwerp van de drempels geldt robuust/conservatief ontwerpen. Het mag niet zo zijn dat door het bezwijken van een van de drempels de proef mislukt.

Uit dit conservatieve uitgangspunt volgt dat we bovenstaande effecten bij elkaar optellen. De resulterende maximale ontgrondingen voor de verschillende drempels zijn te zien in tabel 6.1. De vereiste dimensies voor de drempels volgt in de volgende paragrafen.

Zoals eerder gesteld is er een zekere bandbreedte in de voorspellingen van de ontgrondingen. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat zich een nog steiler evenwichtsprofiel instelt of dat de diepte van de geulen veel groter is. Er kan niet met alle onzekerheden rekening worden gehouden omdat dit leidt tot een constructie die buiten proportie groot is. Er kan worden gesteld dat wanneer ontgrondingen optreden die groter zijn als gesteld in tabel 6.1 de drempels niet het gewenste effect hebben.

tabel 6.1. Berekende ontgrondingsdiepten per drempel voor twee verschillende waterstanden

omschrijving		dam-1 landzij- de	dam-1 waterzij- de	dam-2 landzij- de	dam-2 waterzij- de	dam-3 landzij- de	dam-3 waterzij- de	dam-4 landzij- de	dam-4 waterzij- de
lokale ontgron- dingskuil	[m]	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
evenwichtsprofiel	[m]	0,25	0	0,5	0	0,5	0	0	0
ontgroning door stroming		0,25		0,25		0,25		0,25	
ontgroning door gebrek aan zand- toevoer	[m]		0,25		0,25		0,25		0,25
totale maximale ontgroning	[m]	1,1	0,85	1,25	0,75	1,25	0,75	0,75	0,65

6.4.3. Dimensies buitenste drempel

Als uitgangspunt voor het ontwerp van de drempels geldt robuust/conservatief ontwerpen. Het mag niet zo zijn dat door het bezwijken van een van de drempels de proef mislukt. In deze paragraaf worden de dimensies van de buitenste drempel bepaald. Een doorsnede van de buitenste drempel met de dimensies is te zien in afbeelding 6.1 en in bijlage I.

kruinbreedte

Voor de kruin van een breuksteen constructie geldt een breedte van 2 à 3 maal de nominale steendiameter met een minimum van 1 à 2 m [ref. 13.]. Voor de buitenste drempel is gekozen voor een kruinbreedte van 1 m.

kruinhoogte

De hoogte van de kruin is bepaald in hoofdstuk 5 op NAP - 0,9 m.

dimensies palenrij/ damwand

In bijlage IV zijn de dimensies van de houten palenrij/damwand bepaald. De vereiste lengte van de palen is 4 m en de dikte is bepaald op 80 mm.

helling en dimensies breuksteen/palenrij

Is gelijk aan helling en dimensies als bepaald voor de buitenste drempel. Zie paragraaf 6.4.4.

teenconstructie - schanskorven

In het ontwerp van de zandvangdrempels is gekozen voor een teenconstructie van schanskorven met oesters. Onder andere op de Slikken van Viane worden momenteel proeven uitgevoerd met oestertrassen ([ref. 24.] en afbeelding 6.5.). Bij het dimensioneren van de proef wordt aangesloten bij de toegepaste oesterkorven op de Slikken van Viane.

De diepte en breedte van de teenconstructie hangt af van lokale en globale ontgrondingen. De ontgrondingen zijn gegeven in tabel 6.1. In [ref. 14.] worden formules gegeven voor de breedte van een teenbescherming voor een onderwaterdam. Uit deze formules volgt een breedte van de teenbescherming van 1.6 m. In het ontwerp bestaat de teenbescherming uit schanskorven met een breedte van 2 m die op de huidige bodem zijn gelegen. De dikte van de schanskorven kan worden bepaald met [ref. 13.].

$$t_{min} = \frac{H}{2\Delta(1-n_v)\cot\alpha} \quad \text{for } \cot\alpha \leq 3$$

$$t_{min} = \frac{H}{4\Delta(1-n_v)(\cot\alpha)^{1/3}} \quad \text{for } \cot\alpha > 3$$

In tabel 6.2 worden de parameters beschreven. Op basis van de formule wordt bepaald dat een laagdikte van 0,3 m. voldoende is.

In een workshop [ref. 40.] is besloten een hoogte van 0,4 m. toe te passen met een vulling met steengrading 10-60 kg. Hierdoor kan bij beschadiging van het gaas van de schanskorf het vulmateriaal functioneren als falling apron waardoor geen 'falen' optreedt van de zandvangdrempel.

tabel 6.2. minimale laagdikte schanskorven

parameter	omschrijving		waarde
H	significant golfhoogte	[m]	1,50
ρ_w	soortelijke dichtheid water	kg/m ³	1.030
ρ_a	gemiddelde soortelijke dichtheid vulmateriaal	kg/m ³	2.000
Δ	relatieve dichtheid	[-]	0,94
n_v	porositeit	[-]	0,35
t_min	minimale laagdikte	[m]	0,28

De schanskorven waaruit de constructie wordt opgebouwd hebben de volgende afmetingen: lengte 6 m, breedte 2 m, en hoogte 0,4 m. De korven hebben een compartimentering en worden sluitend tegen elkaar geplaatst. De korven worden hierbij gefixeerd in de bodem met behulp van een aantal verticale pinnen met een lengte tot circa 1 m.

vulling

Het soortelijke gewicht van oesterschelpen is zeer laag (circa 1.300 kg/m³). Het vullen van de korven met enkel oesterschelpen levert naar verwachting niet de gewenste stabiliteit. Daarom is gekozen om de korven voor de helft met breuksteen 10-60 kg te vullen (onderin) en voor de helft te vullen met oesterschelpen (bovenin). Zoals aangegeven in paragraaf 6.3.1 zal de helft van de lengte van de diepste drempel gevuld worden met deze combinatie van breuksteen en oesterschelpen. Voor de andere helft van de lengte zullen de schanskorven volledig gevuld zijn met breuksteen 10-60 kg.

De vulling 'oesterschelpen' bestaat uit gebiedseigen en veelal dode oesterschelpen en schelpresten. Deze schelpen en schelpresten dienen als substraat voor de in het systeem aanwezige larven. De verwachting is dat de constructie vanzelf begroeid zal raken met de in het systeem aanwezige Japanse oesters [ref. 24.].

geotextiel

Onder de oesterkorven wordt een geotextiel geplaatst om uitspoeling van sediment te voorkomen.

korf materiaal

De korven bestaan uit geplastificeerd staalgaas. De vereiste maaswijdte wordt afgestemd op de grote van het vulmateriaal.

afbeelding 6.5. Oesterkorven op de slikken van Viane [ref. 24.]



6.4.4. Dimensies overige drempels

In afbeelding 6.2 is een doorsnede gegeven van één van de overige drempels. De drempels 2, 3 en drempel 4 zijn op gelijke wijze vormgegeven. In bijlage I zijn de vorm en de dimensies van de verschillende drempels weergegeven.

kruinbreedte

Voor de kruin van een breuksteen constructie geldt een breedte van 2 à 3 maal de nominale steendiameter met een minimum van 1 à 2 m [ref. 13.]. In het midden van de constructie is een schanskorf gevuld met breuksteen ontworpen. Aan weerszijden van de schanskorf geldt een breedte van 2 à 3 maal de nominale steendiameter. De nominale steendiameter is 0,25 m. Aan weerszijden van de schanskorf wordt daarom een minimum breedte van 0,5 m gehanteerd.

kruinhoogte

De hoogte van de kruin is bepaald in hoofdstuk 5.

helling en dimensies breuksteen

Bij het bepalen van de dimensies en de helling van het breuksteen is het volgende van belang:

- hypothese 8: op substraat van voldoende kwaliteit kan zich een zeer diverse levensgemeenschap ontwikkelen: In paragraaf 4.4 is aangenomen dat een steen met een doorsnede van 30 cm. een goed uitgangspunt is;
- het breuksteen moet stabiel zijn voor de gestelde ontwerpcondities.

Als uitgangspunt voor het bepalen van de dimensies van het breuksteen geldt dat voor alle drempels en alle locaties dezelfde gradering breuksteen wordt toegepast. Het is uitvoeringstechnisch niet wenselijk om voor deze relatief kleine constructie verschillende graderingen breuksteen toe te passen. De gradering die wordt bepaald voor de maatgevende sectie of drempel zal daarom overal worden toegepast. In bijlage 3 is de rekenmethode voor de stabiliteit van het breuksteen en de resultaten gegeven. De vereiste steendiameter ten aanzien van stabiliteit is 0,24 m. Dit komt overeen met de standaard breuksteengradering 10-60 kg.

De standaard steengradering 10-60 kg is de zwaarste gradering die rechtstreeks op een geotextiel kan worden geplaatst. Het toepassen van een zwaardere gradering vereist een filterlaag. Om deze reden wordt gekozen voor de steengradering 10-60 kg hoewel deze niet volledig voldoet aan de wens voor de ecologie.

Opmerking:

Indien voorhanden kan in plaats van traditioneel breuksteen ook C-rock, gebroken betonblokken of soortgelijk 'losgestorte elementen' worden toegepast.

schanskorven

In het midden van de constructie is een schanskorf gevuld met breuksteen ontworpen. De breedte van de schanskorven dient dusdanig groot te zijn, zodat deze niet omvalt/ bezwijkt tijdens de uitvoering. De breedte van de schanskorven is gegeven in bijlage I. De korven bestaan uit geplastificeerd staalgaas. De vereiste maaswijdte wordt afgestemd op de grote van het vulmateriaal.

teenconstructie

De diepte en de breedte van de teenconstructie hangt af van de lokale en globale ontgrondingen. De diepte van de ontgrondingen zijn gegeven in tabel 6.3.

Zoals weergegeven in paragraaf 6.3.2 zal de teenconstructie bestaan uit een combinatie tussen een 'ingegraven teen' (waarbij de bovenkant van de suppletie het initiële bodemprofiel vormt en de ingraving tot het huidige profiel is) en een 'falling apron'. De drempels worden op de huidige bodem geplaatst waarna de suppletie het 'initiële' bodemprofiel vormt. De teen van de breuksteen drempel is als het ware 'ingegraven'. De ontgrondingen worden dieper dan de huidige bodem. Op een ontgroning dieper dan het huidige profiel wordt geanticipeerd met een 'falling apron'.

Voor het bepalen van de breedte van de teenconstructie voor een 'falling apron' geldt de volgende rekenregel [ref. 13.]: breedte teenconstructie = 3 * ontgrondingsdiepte. Voor de combinatie van 'ingegraven teen' en 'falling apron' kan de breedte van de teenconstructie als volgt worden bepaald: (Ingravingdiepte - ontgrondingsdiepte) * 3. Wanneer de ingravingdiepte groter is dan de ontgrondingsdiepte is de breedte van de teenconstructie nihil. Vanwege de beperkte hoogte van de drempels zal de teenbescherming dezelfde hoogte hebben als de kruin van de drempel. In feite heeft de drempel een verbrede kruin welke anticipeert voor de diepte van de ontgroning. De dimensies van de teenconstructie zijn gegeven in tabel 6.3. De dimensies van de van de constructie zijn gegeven in tabel 6.4 en op de tekening in bijlage I.

tabel 6.3. Vereiste breedte teenbescherming

omschrijving		dam-2 landzijde	dam-2 waterzijde	dam-3 landzijde	dam-3 waterzijde	dam-4 landzijde	dam-4 waterzijde
totale maximale ontgroning	[m]	1,3	0,8	1,2	1,0	0,75	0,65
zanddekking boven huidige profiel	[m]	0,3	0,3	0,5	0,5	0,8	0,8
breedte teenconstructie	[m]	3	1,5	2,2	1,5	0	0

tabel 6.4. breedte constructie

omschrijving		dam-2 landzijde	dam-3 landzijde	dam-4 landzijde
kruinbreedte	[m]	1,5	1,5	1,5
breedte teenbescherming landzijde	[m]	3	2,2	0
breedte teenbescherming waterzijde	[m]	1,5	1,5	0
totale breedte	[m]	6	5	1,5

7. VERIFICATIE VAN EISEN

In hoofdstuk 2 zijn de eisen opgesteld. Er zijn hier eisen opgesteld voor zowel de ontwerpfase als de uitvoeringsfase. In dit hoofdstuk worden de eisen geverifieerd. De eisen uit hoofdstuk 2 worden herhaald. Bij elke eis wordt aangegeven hoe aan de eis wordt voldaan en waar dit is opgenomen in de voorliggende rapportage.

De opgestelde eisen zijn geen complete lijst voor de uitvoeringsfase. Mogelijk kunnen bijvoorbeeld vanuit de vergunningen of door voorschrijdend inzicht andere, aanvullende en extra eisen ontstaan.

eis ID	SCH_001
onderwerp	vertroebeling
bron	offerteaanvraag [ref. 21.]
eis tekst	Tijdens de uitvoering van de proef dient het zand binnen perskaden te worden aangebracht om ongecontroleerde afvloeien van met zand beladen water te voorkomen. Zodat er geen vissen onder het zand bedolven kunnen raken en zonder dat er te veel zweefstof in de omgeving verspreid. Bij de afvoerpunten van het perswater uit de suppletie mag de concentratie aan zwevende stof niet hoger zijn dan omgevingswaarde verhoogd met 100 mg/l. Deze eis is gehanteerd bij de aanleg van de proefsuppletie op de Galgeplaat. De aannemer gaat dit zelf controleren door het bepalen van de omgevingswaarde voor aanleg, tijdens aanleg en na aanleg.
fase	uitvoering
verificatie	verificatie in de uitvoeringsfase
paragraaf	-

eis ID	SCH_002
onderwerp	aanleg periode
bron	offerteaanvraag [ref. 21.]
eis tekst	Aanleg dient plaats te vinden in de periode van mei tot en met juli vanwege de geringe vogelaantallen in die periode en rekolonisatie mogelijkheden voor de bodemdieren. Aanleg in een andere periode kan leiden tot een mitigatieverplichting vanuit Natuur Bescherming wet kader.
fase	uitvoering
verificatie	Betreft planning uitvoering: planning geen onderdeel van voorliggende rapportage. Opgemerkt wordt wel dat in de vergunningsaanvraag de uitvoering is gesteld tussen juni 2011 en september 2011. Zie ook eis met ID SCH_025.
paragraaf	

eis ID	SCH_003
onderwerp	levensduur van de proef
bron	Witteveen+Bos
eis tekst	De beoogde levensduur van de proefopstelling is 20 jaar. Dit geldt onder andere voor: (i) de materialen van de drempels; (ii) de keuze voor ontwerp golf- en stroming condities (herhalingstijd) ten aanzien van de stabiliteit van de drempels; (iii) de vooroeversuppletie.

fase	ontwerp
verificatie	(i) materialen: a) breuksteen: voorgeschreven dichtheid van 2.650 kg/m ³ heeft voor traditioneel breuksteen een voldoende lange levensduur; b) houten palenrij: bij voorschrijven houtsoort rekening gehouden met levensduur, voorschrift volgens klasse D uit NEN6760.; c) schanskorven met oesters: Over de toepassing van oesters als vulmateriaal is weinig bekend en de levensduur is daarom niet met zekerheid vast te stellen. De overige voorgeschreven materialen (zie specificaties in bijlagen) hebben een levensduur van groter dan 20 jaar; (ii) gehanteerde ontwerpstorm met herhalingstijd van ¼.000 jaar. Uitgangspunt is dat een zwaardere storm niet optreedt gedurende de levensduur. (iii) de levensduur van de proef hangt af van het aantal stormen en de zandafslag per storm.
paragraaf	(i) a) bijlage iii.3, b) bijlage IV, c) paragraaf 6.3.1. (ii) paragraaf 3.2.3, (iii) paragraaf 4.5
eis ID	SCH_004
onderwerp	materiaal drempel.
bron	offerteaanvraag [ref. 21.]
eis tekst	Voor ontwerp en constructie van de drempels dienen zoveel mogelijk natuurlijke materialen, zoals natuursteen, schelpen, grind of verkit zand te worden gebruikt.
fase	ontwerp
verificatie	In het ontwerp zijn natuurlijke materialen toegepast. Een uitzondering hierop is het geotextiel onder de constructie. Deze is vereist om uitspoeling van zand te voorkomen.
paragraaf	materiaalkeuze in hoofdstuk 6
eis ID	SCH_005
onderwerp	zandwingebied
bron	offerteaanvraag [ref. 21.]
eis tekst	Het zand voor de proef dient te worden gewonnen uit de aanloop van de Roompotsluis.
fase	uitvoering
verificatie	Verificatie in de uitvoeringsfase.
paragraaf	niet van toepassing
eis ID	SCH_006
onderwerp	verstuiving
bron	offerteaanvraag [ref. 21.]
eis tekst	Verstuiving van zand van de dijkvoetsuppletie dient te worden voorkomen.
fase	ontwerp
verificatie	De hoogte en breedte van de dijkvoetsuppletie is dusdanig gedimensioneerd opdat de verstuiving minimaal is.
paragraaf	paragraaf 4.6
eis ID	SCH_007
onderwerp	oppervlak van drempels
bron	offerteaanvraag [ref. 21.]
eis tekst	De drempels moeten een minimaal oppervlaktebeslag hebben teneinde zo weinig mogelijk schade aan foerageerareaal voor de vogels te berokkenen.
fase	ontwerp

eis ID	SCH_007
verificatie	Er zijn drempels ontworpen die voldoende stabiel zijn door belasting door golven. De breedte is minimaal gehouden voor wat benodigd is voor stabiliteit. Daarnaast is het toegepaste materiaal van 'voldoende kwaliteit' (zie eis met id SCH008).
paragraaf	paragraaf 4.4.3 en hoofdstuk 6
eis ID	SCH_008
onderwerp	afwerking drempels
bron	offerteaanvraag [ref. 21.]
eis tekst	De afwerking moet zodanig zijn dat de drempels een habitat vormen voor mariene flora en fauna.
fase	ontwerp
verificatie	De gekozen materialen zijn van 'voldoende kwaliteit' voor aangroeimogelijkheden: Het formaat van de materialen is groot genoeg, het reliëf van het oppervlak is ruw en bij de toegepaste materialen is er geen sprake van chemische uitloging.
paragraaf	paragraaf 4.4.3 en hoofdstuk 6
eis ID	SCH_009
onderwerp	cascade als hindernis
bron	offerteaanvraag [ref. 21.]
eis tekst	Van het ontwerp moet modelmatig, danwel met ervaring uit andere plaatsen/proeven aanemelijk worden gemaakt dat de cascade een hindernis zal vormen voor naar de geulen wegstromend zand.
fase	ontwerp
verificatie	De lengte van de drempelsegmenten is ingeschat door een analyse van optredende omstandigheden en op basis van conceptuele modellen en berekeningen. Door de juiste lengte van drempelsegmenten te kiezen wordt retourstroming ingeperkt en kunnen de drempels als hindernis optreden voor het wegstromende zand.
paragraaf	bijlage III.4
eis ID	SCH_010
onderwerp	representativiteit van de proef
bron	Witteveen+Bos
eis tekst	De proef dient voor zover mogelijk representatief te zijn voor toepassing op andere locaties in de Oosterschelde, i.e. met een lichter of zwaarder golfklimaat/stroming.
fase	ontwerp
verificatie	Het ontwerp is een flexibele constructie welke qua robuustheid makkelijk aanpasbaar is (gewicht, afmetingen) voor een lichter of zwaarder golfklimaat/stroming.
paragraaf	hoofdstuk 6
eis ID	SCH_011
onderwerp	zandvangdrempels
bron	workshop 1 [ref. 12.]
eis tekst	Het areaal met een droogvalduur van 20-50 % tijdens een getijdencyclus is ecologisch het meest interessant. Het gebied met deze areaal moet daarom: <ul style="list-style-type: none"> - relatief het grootste areaal hebben; - één tussendam krijgen.
fase	ontwerp
verificatie	De drempel- en suppletiehoogtes zijn aan de hand van de droogvalduur bepaald. Het areaal met 20-50 % droogvalduur heeft het grootste areaal.
paragraaf	hoofdstuk 5

eis ID	SCH_012
onderwerp	profiel zandsuppletie
bron	workshop 1 [ref. 12.]
eis tekst	Het suppletiezand moet: <ul style="list-style-type: none"> - bij aanleg tussen de drempels in het verwachte evenwichtsprofiel worden gestort; - als dijkvoetsuppletie een buffer vormen om erosie tussen de drempels te kunnen compenseren.
fase	ontwerp
verificatie	In het ontwerp is opgenomen om het materiaal in het verwachte evenwichtsprofiel aan te brengen. Daarnaast is een buffer in de vorm van een dijkvoetsuppletie opgenomen.
paragraaf	hoofdstuk 5 en bijlage I.
eis ID	SCH_013
onderwerp	suppletiemateriaal
bron	workshop 1 [ref. 12.]
eis tekst	het suppletiemateriaal heeft een maximale korrelgrootte van 200 µm en een slib fractie van maximaal 1,0 - 1,5 %
fase	ontwerp
verificatie	De gemiddelde korreldiameter van het suppletiemateriaal dat gewonnen wordt in de aanloop van de Roompotsluizen is groter dan 200 µm. Deze eis kan daarom niet worden vervuld. In [ref. 47.] zijn mitigerende maatregelen opgesteld om het bodemvocht vast te houden.
paragraaf	-
eis ID	SCH_014
onderwerp	afwatering
bron	workshop 1 [ref. 12.]
eis tekst	Vanwege de afwatering van water van de cascade dient een hypothese opgesteld te worden over de mate van doorlatendheid van de drempels.
fase	ontwerp
verificatie	er zijn criteria opgesteld voor de drempels. De doorlatendheid is één van deze criteria.
paragraaf	6.2
eis ID	SCH_015
onderwerp	dijkvoetsuppletie
bron	workshop 1 [ref. 12.]
eis tekst	Het ontwerp van de hoogte van de dijkvoetsuppletie dient gestuurd te worden door het fenomeen winderosie (verstuiving) en niet door veiligheid of schorvorming.
fase	ontwerp
verificatie	De hoogte van de dijkvoetsuppletie is gestuurd door het fenomeen winderosie (hypothese 21).
paragraaf	5.1
eis ID	SCH_016
onderwerp	lay-out proef
bron	workshop 1 [ref. 12.]
eis tekst	Er dient een gecombineerde proef ontworpen te worden: een deel met drempels en een deel zonder drempels.
fase	ontwerp
verificatie	Er is een gecombineerde proef ontworpen.
paragraaf	5.3.1 en bijlage I.

eis ID	SCH_017
onderwerp	materialen zandvangdrempels
bron	workshop 1 [ref. 12]
eis tekst	De volgende materialen/constructies dienen niet te worden toegepast in de zandvangdrempels: <ul style="list-style-type: none"> - rijshout dammen; - ground consolidators; - smartsoils; - geotubes.
fase	ontwerp
verificatie	Deze materialen zijn niet toegepast in de drempels.
paragraaf	6.1 en bijlage I.
eis ID	SCH_018
onderwerp	(oester)schanskorven
bron	workshop 2 [ref. 40.]
eis tekst	Bij toepassing van schanskorven in de onderste drempel zal de helft van de lengte van schanskorven volledig gevuld worden met breuksteen. In de andere helft wordt de onderste helft van de schanskorven gevuld met breuksteen en de bovenste helft met oesters.
fase	ontwerp
verificatie	Dit is in het ontwerp opgenomen zoals te zien in bijlage I.
paragraaf	6.3.1 en bijlage I.
eis ID	SCH_019
onderwerp	(oester)schanskorven
bron	workshop 2 [ref. 40]
eis tekst	Bij toepassing van schanskorven in de onderste drempel zal de hoogte van de korven minimaal 40 cm bedragen en de vulling bestaan uit breuksteen van gradering 10-60 kg.
fase	ontwerp
verificatie	Dit is in het ontwerp opgenomen zoals te zien in bijlage I.
paragraaf	6.4.3 en bijlage I.
eis ID	SCH_020
onderwerp	doorstroomopeningen
bron	workshop 2 [ref. 40.]
eis tekst	In doorstroomopeningen dient het verticale geotextiel volledig te worden weggelaten.
fase	ontwerp
verificatie	Dit is in het ontwerp opgenomen zoals te zien in bijlage I.
paragraaf	6.3.1 en 6.3.2 en bijlage I.
eis ID	SCH_021
onderwerp	doorstroomopeningen
bron	workshop 2 [ref. 40.]
eis tekst	Eén van de dammen dient uitgevoerd te worden zonder doorstroomopeningen zodat het effect van de openingen duidelijk wordt.
fase	ontwerp
verificatie	In het ontwerp is dam 3 uitgevoerd zonder doorstroomopeningen.
paragraaf	6.3.2 en bijlage I.
eis ID	SCH_022
onderwerp	toepassing van geotextiel
bron	workshop 2 [ref. 40.]

eis ID	SCH_022
eis tekst	Waar een verticaal geotextiel nodig wordt geacht in de cascadedrempels zal deze van de onderzijde tot aan de kruin worden toegepast.
fase	ontwerp
verificatie	In de ontwerpdoorsnede (zie bijlage I) is een verticaal geotextiel van de onderzijde tot aan de kruin opgenomen.
paragraaf	bijlage I
eis ID	SCH_023
onderwerp	randen suppletiegebied
bron	workshop 2 [ref. 40.]
eis tekst	Op de randen van het suppletiegebied op de overgang naar de bestaande bodem zal een maximale helling van 1:50 worden toegepast. Aan de zijanten van de suppletie (noord- en zuidzijde) wordt een helling van 1:25 voldoende bevonden.
fase	ontwerp
verificatie	Dit is in het ontwerp opgenomen zoals te zien in bijlage I.
paragraaf	5.3.2 en bijlage I
eis ID	SCH_024
onderwerp	dijkvoetsuppletie
bron	workshop 2 [ref. 40.]
eis tekst	De breedte van de dijkvoetsuppletie dient 20 m te bedragen. Dit in tegenstelling van concept 02 van het ontwerp waar een breedte van 50 m is gesteld. Met de 30 m die op deze manier wordt 'gewonnen' zal het gebied tussen dam 2 en dam 4 worden verbreed.
fase	ontwerp
verificatie	Dit is in het ontwerp opgenomen zoals te zien in bijlage I.
paragraaf	5.3.3 en bijlage I
eis ID	SCH_025
onderwerp	aanlegperiode
bron	vergunningen en Rijkswaterstaat Zeeland
eis tekst	- uitvoering van de zandsuppletie start op 1 juni of later; - start van de constructies na 15 juli; - uitvoering voltooid voor 15 september (in verband met stormseizoen).
fase	uitvoering
verificatie	Betreft planning uitvoering: planning geen onderdeel van voorliggende rapportage.
paragraaf	-
eis ID	SCH_026
onderwerp	werktijden uitvoering
bron	vergunningen
eis tekst	De uitvoering van de constructies zal plaatsvinden tussen 6 uur en 22 uur.
fase	uitvoering
verificatie	Uitvoering geen onderdeel van het ontwerp: eis wordt op genomen in bestek.
paragraaf	niet van toepassing
eis ID	SCH_027
onderwerp	locatie hopper/bakkenzuiger voor zandsuppletie
bron	vergunningen
eis tekst	De hopper of bakkenzuiger is gelegen aan de buitenzijde van de Schelphoek. De hopper dient buiten de mossel- en vispercelen te liggen.
fase	uitvoering

eis ID	SCH_027
verificatie paragraaf	Uitvoering geen onderdeel van het ontwerp: eis wordt op genomen in bestek. niet van toepassing
eis ID	SCH_028
onderwerp	verstoring Weversinlaat tijdens uitvoering
bron	vergunningen
eis tekst	Er zal zorgvuldig gezorgd worden dat de machines niet onnodig boven de kruin van de dijk uit steken om binnendijkse verstoring te voorkomen.
fase	uitvoering
verificatie paragraaf	Uitvoering geen onderdeel van het ontwerp: eis wordt op genomen in bestek. niet van toepassing
eis ID	SCH_029
onderwerp	persleiding voor suppletie
bron	vergunningen
eis tekst	De persleiding ten behoeve van de suppletie zal gelegen zijn aan de buitenzijde van de dijk.
fase	uitvoering
verificatie paragraaf	Uitvoering geen onderdeel van het ontwerp: eis wordt op genomen in bestek. niet van toepassing
eis ID	SCH_030
onderwerp	zeehondenrustplaats
bron	vergunningen
eis tekst	Alle activiteiten zullen op meer dan 2.000 m van een belangrijke zeehondenrustplaats op de Roggeplaat plaats vinden.
fase	uitvoering
verificatie paragraaf	Uitvoering geen onderdeel van het ontwerp: eis wordt op genomen in bestek. niet van toepassing
eis ID	SCH_031
onderwerp	aanvoer materiaal/materieel over water
bron	vergunningen
eis tekst	De aanvoer van materialen zal voornamelijk plaatsvinden over het water. Dit kan gelost worden op de kades in westen van Schelphoek. Aan de scheepvaartactiviteiten zijn de volgende eisen verbonden: <ul style="list-style-type: none"> - de scheepvaartactiviteit vindt op minimaal 150 m van het vogeleiland plaats; - geen scheepvaartbewegingen over de mosselpercelen; - om bovenstaande te verwezenlijken zullen boeien worden geplaatst.
fase	uitvoering
verificatie paragraaf	uitvoering geen onderdeel van het ontwerp: eis wordt op genomen in bestek niet van toepassing
eis ID	SCH_032
onderwerp	zandwinning - zettingsvloeiing
bron	[ref. 43.]
eis tekst	Bij het winnen van zand nabij de Roompotsluizen bestaat er een geringe kans op zettingsvloeiing. Om het risico te minimaliseren worden de volgende mitigerende maatregelen aan winning opgelegd: <ul style="list-style-type: none"> - winning zal plaats vinden van de diepe naar de ondiepe zijde van het zandwingsgebied; - bij de winning van het zand dient mors te worden voorkomen;

eis ID	SCH_032
	<ul style="list-style-type: none"> - tevens mag er geen materiaal aangebracht en/of opgehoopt te worden aan de taludzijde; - voor de baggerwerkzaamheden dienen slagen groter dan 1,5-2 m voorkomen te worden; - er dient te worden gemonitord of een zettingsvloeiing zich inderdaad niet voordoet; - de winning dient te worden uitgevoerd met een sleephopperzuiger en niet met een steekzuiger.
fase	uitvoering
verificatie	Uitvoering geen onderdeel van het ontwerp: eis wordt op genomen in bestek.
paragraaf	niet van toepassing
eis ID	SCH_033
onderwerp	broedvogels
bron	vergunningen
eis tekst	De grasmat op de dijk nabij het plangebied dient kort voor het broedseizoen (eind maart) gemaaid te worden. Dit voorkomt vestiging van broedvogels zoals de graspieper en voorkomt daardoor verstoring van broedvogels (aanbeveling uit natuurtoets).
fase	uitvoering
verificatie	Uitvoering geen onderdeel van het ontwerp: eis wordt op genomen in bestek.
paragraaf	niet van toepassing
eis ID	SCH_034
onderwerp	schade tijdens de uitvoering
bron	vergunningen
eis tekst	Kades, wegen etc. zullen in de oorspronkelijke staat worden teruggebracht.
fase	uitvoering
verificatie	Uitvoering geen onderdeel van het ontwerp: eis wordt op genomen in bestek.
paragraaf	niet van toepassing
eis ID	SCH_035
onderwerp	gebruik van openbare weg tijdens uitvoering
bron	vergunningen
eis tekst	Borden voor afslag van werkverkeer zijn niet vergunningplichtig, vergunningplicht geldt pas als de verkeerssituatie gewijzigd wordt met bijvoorbeeld afremmen van de snelheid, dat is niet aan de orde. Wel dient plaatsing van (extra) borden, exacte locatie en periode gemeld te worden via wegendistrictzeeland@rws.nl . Verder wordt het wegendistrict graag op de hoogte gesteld als bekend is volgens welke route het materiaal van de kades naar het plangebied wordt vervoerd.
fase	uitvoering
verificatie	Uitvoering geen onderdeel van het ontwerp: eis wordt op genomen in bestek.
paragraaf	niet van toepassing
eis ID	SCH_036
onderwerp	aanvoer materiaal en materieel over land
bron	vergunningen
eis tekst	De aanvoer van materiaal en materieel over het land zal zijn langs de Hoosjesweg of langs de tijdelijke werkweg over het strand.
fase	uitvoering
verificatie	Uitvoering geen onderdeel van het ontwerp: eis wordt op genomen in bestek.
paragraaf	niet van toepassing

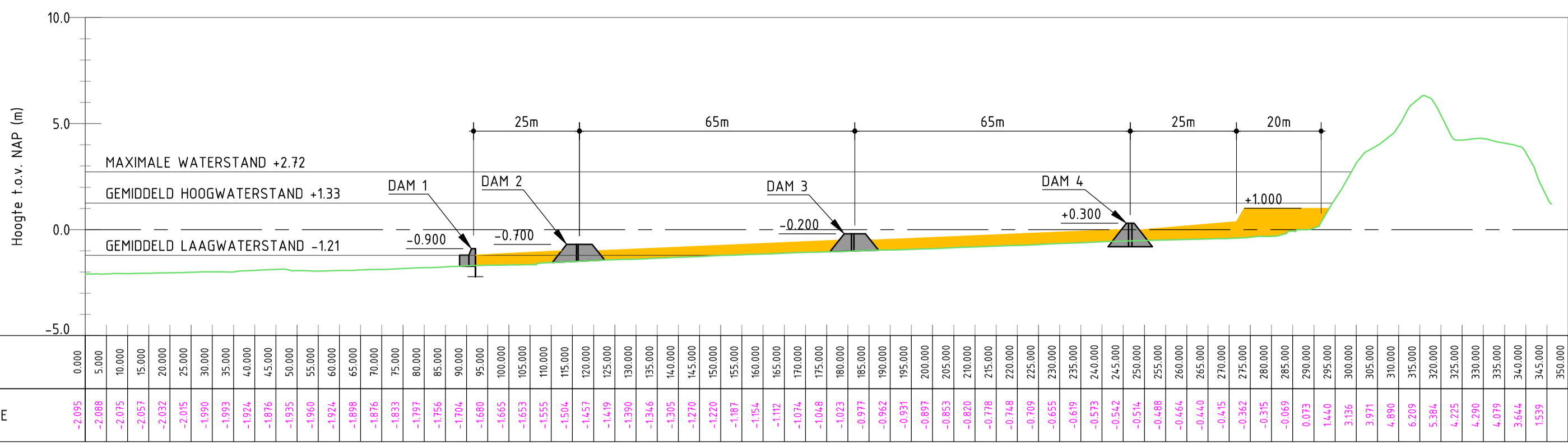
eis ID	SCH_037
onderwerp	aanbrengen suppletie
bron	vergunningen
eis tekst	Het suppletiemateriaal moet tegen de bestaande dijk worden aangespoten zodat relatief grof materiaal tegen de dijk komt te liggen en relatief fijner materiaal verder van de dijk en tussen de cascades komt te liggen.
fase	uitvoering
verificatie	Uitvoering geen onderdeel van het ontwerp: eis wordt op genomen in bestek.
paragraaf	niet van toepassing

8. LITERATUUR

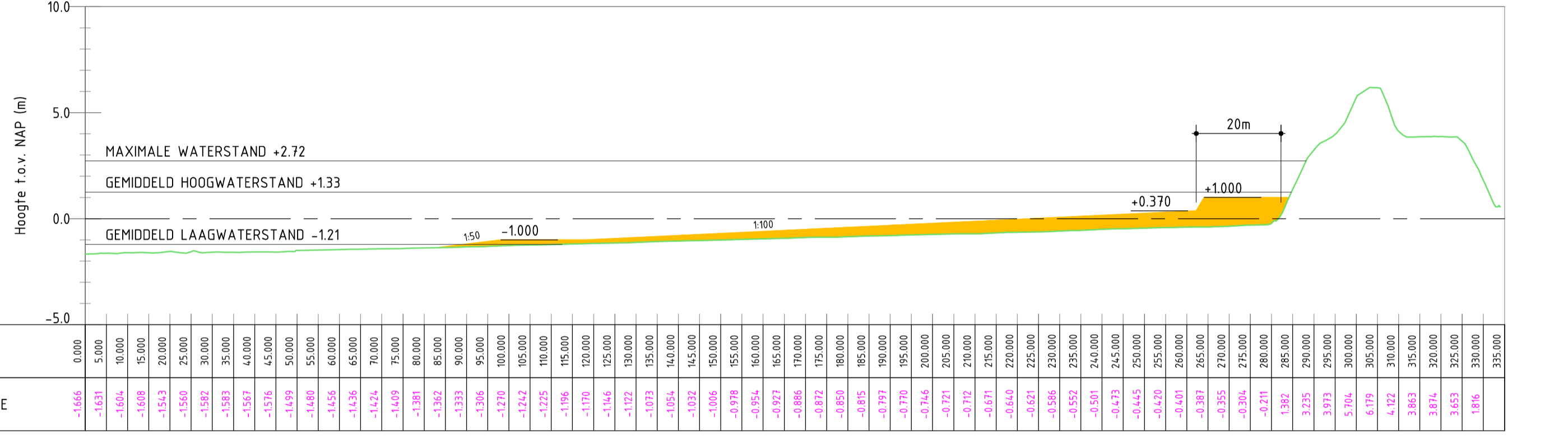
1. Rijkswaterstaat, TO Schelphoek, Inventarisatie van beschikbare en benodigde gegevens van de morfologie, ecologie en het gebruik in de Schelphoek, werkdocument RIKZ/ZDA/2007.812w, 27 augustus 2007.
2. Alkyon, Schorontwikkeling in de Schelphoek, A1930, December 2007.
3. E. van Zanten en L.A. Adriaanse, Verminderd getij, Verkenning naar mogelijke maatregelen om het verlies van platen, slikken en schorren in de Oosterschelde te beperken, 2008.
4. Deltares, Verslag Workshop Suppletie strategieën II, Februari 2010.
5. Deltares, Eerste Interimadvies ANT Oosterschelde, April 2010.
6. Cd-rom bij uitvraag met informatieve documenten.
7. Grasmeijer et al (2007).
8. Heunks 2006.
9. Rijkswaterstaat, Update golfcondities RAND2001, beïnvloedingsgebied OS-kering, golfrandvoorwaarden Schelphoek, A1483, augustus 2005.
10. Nota van Inlichtingen vs-2.
11. Tauw, innovatielocatie Schelphoek, Rapportage ontwerp opdracht, concept 18 december 2008.
12. Witteveen+Bos, workshop proef Schelphoek 19 mei 2010, referentie RW1809-28/rijm3/003.
13. CIRIA, CUR, CETMEF, Rock Manual, The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition), 2007, Published by C683, CIRIA, London.
14. Roshanka Ranasinghe, Ian L. Turner Shoreline response to submerged structures: A review, coastal engineering 53 (2006) 65 – 79.
15. D. Morgan Young, Firat Y. Testik, Onshore scour characteristics around submerged vertical and semicircular breakwaters, Coastal Engineering 56 (2009) 868–875.
16. Pilarczyk, Krystian W., Zeidler, Ryszard B., Offshore breakwaters and shore evolution control, A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1996.
17. B. Mutlu Sumer, Jørgen Fredsøe, Alberto Lamberti, Barbara Zanuttigh, Martin Dixen, Kjartan Gislason, Antonio F. Di Penta, Local scour at roundhead and along the trunk of low crested structures, Coastal Engineering 52 (2005) 995–1025.
18. D. Morgan Young, Firat Y. Testik, Onshore scour characteristics around submerged vertical and semicircular breakwaters, Coastal Engineering 56 (2009) 868–875.
19. Witteveen+Bos, Proef Schelphoek concept ontwerp, tekeningnummer RW1809.28.1002, concept 01.
20. D.C. van Maldegem & J.A. van Pagee, Zandhonger Oosterschelde, een verkenning naar mogelijke maatregelen, Rijksinstituut voor Kust en Zee, werkdocument RIKZ/ZDA/2005.802w, maart 2005.
21. offerteaanvraag.
22. Rijkswaterstaat, Afsluiting stroomgat Schelphoek, 1955.
23. Rijkswaterstaat, G. Beaufort, Keuze situering bouwplaats putten en pijlers in Schelphoek, nota WWW76.006.
24. Tauw, Passende beoordeling aanleggen oestermatrassen in Natura2000-gebied Oosterschelde, Slikken van Viane, definitief 8 maart 2010.
25. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, E. Patee, Schelphoek_OS_verschil_2007-2001.
26. Gonzalez, M., Medina, R. and Losada, M.A., 1999. Equilibrium beach profile model for perched beaches. Coastal Engineering, 36: 343-357.
27. TÜRKER U. (1) ; KABDASLI M. S. (2), 2005; The effects of sediment characteristics and wave height on shape-parameter for representing equilibrium beach profiles, Ocean Engineering 33(2006) 281 -291.
28. Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas,, L.C. van Rijn, Aqua Publications, 1993.
29. J. van de Graaff (2006) – CT5309: Coastal Morphology and coastal protection.
30. ENW, expertise netwerk veiligheid, Technisch rapport duinafslag, Mei 2007.
31. Sumer, B.M. & J. Fredsøe, 'The mechanics of scour in the marine environment', Technical University of Denmark, 2002.

32. Royal Haskoning, Ontgrondingskuildiepte Oosterschelde, referentie 9R9125.B0/N0002/901810/Rott1, 12 februari 2007.
33. ARENS BSDO, Duurzame verstuiving in de Hollandse duinen Kans, droom of nachtmerrie, RAPPORTNUMMER RAP2007.02, juni 2007.
34. Burcharth, F. Hans, Structural stability of detached low crested breakwaters, Coastal Engineering 53 (2006) 381 – 394.
35. Staatsbosbeheer regio Zuid, huurovereenkomst visserij Schelphoek buitendijks, contractnummer 57012, versienummer contract: 5.0.cr.13.06.1.
36. Ranasinghe, R., et al., Shoreline response to a single shore-parallel submerged breakwater, Coast. Eng. (2010),doi:10.1016/j.coastaleng.2010.06.002.
37. Zanuttigh, B., et al., Wave overtopping and piling-up at permeable low crested structures, Coastal Engineering 55 (2008) 484–498.
38. Bureau Waardenburg B.V. Effecten op beschermde soorten en gebieden van de proef zandsuppletie in de Schelphoek, Oriënterend onderzoek in het kader van de natuurwetgeving, rapport nr. 10-114, 22 juli 2010, concept.
39. Burcharth, F., Environmetal design of submerged breakwaters.
40. Witteveen+Bos, verslag workshop Proef Schelphoek proef ontwerprapport concept 02 en monitoringsplan concept 01, MIRT verkenning Zandhonger Oosterschelde, 11 januari 2011, referentie RW1809-28/rijm3/042, 13 januari 2011.
41. Witteveen+Bos, workshop proef Schelphoek 19 mei 2010, referentie RW1809-28/rijm3/003.
42. Witteveen+Bos, Stabiliteit dijk Schelphoek uitvoering, Zandhonger Oosterschelde, 7 december 2010, referentie RW1809-28/rijm3/036.
43. Witteveen+Bos, analyse zettingsvloeiing zandwingebied pilot Oosterschelde, MIRT verkenning zandhonger Oosterschelde, 18 januari 2011, concept 01.
44. van de Haterd, R.J.W., S. Bouma, M.T. Collombon & W. Lengkeek, 2010. Herintroductie getij in de Grevelingen en effecten op natuur in intergetijdengebieden Rapport 10-079. Bureau Waardenburg, Culemborg.
45. Bouma, H., D.J. de Jong, F. Twisk & K. Wolfstein, 2005. Zoute wateren Ecotopenstelsel (ZES.1). Voor het in kaart brengen van het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen in zoute en brakke rijkswateren. Rapport RIKZ / 2005 / 2005.024. RWS, RIKZ, Middelburg.
46. Boudewijn, T.J., W. Lengkeek, M. Japink & A.J. Nienhuis, 2007. Mogelijkheden voor estuariene natuurontwikkeling en integrale gebiedsontwikkeling in Waterdunen. Versterking van de estuariene kwaliteit Rapport 08-002. Bureau Waardenburg, Culemborg.
47. Rijkswaterstaat, Verslag overleg over de ecologische gevolgen en eventuele mitigatie van het gebruik van zand uit de aanloop roompot voor de suppletie Schelphoek, 20 oktober 2010.

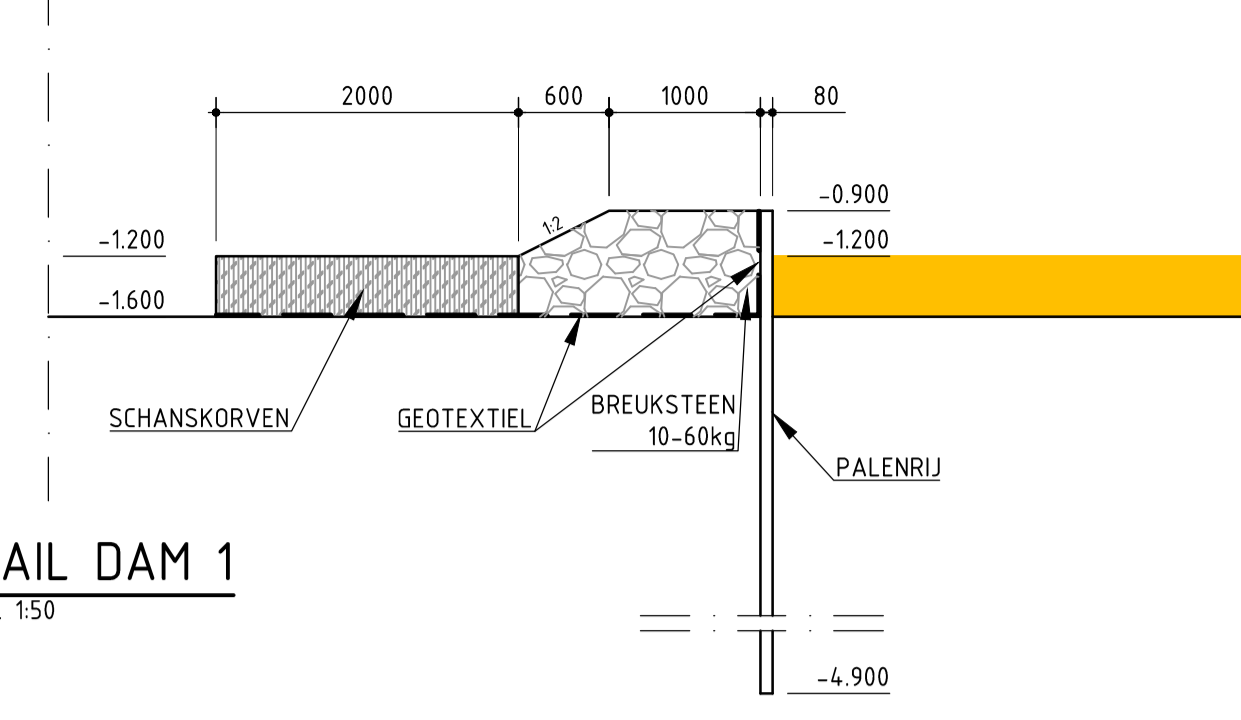
BIJLAGE I Tekening definitieve ontwerp van de proef



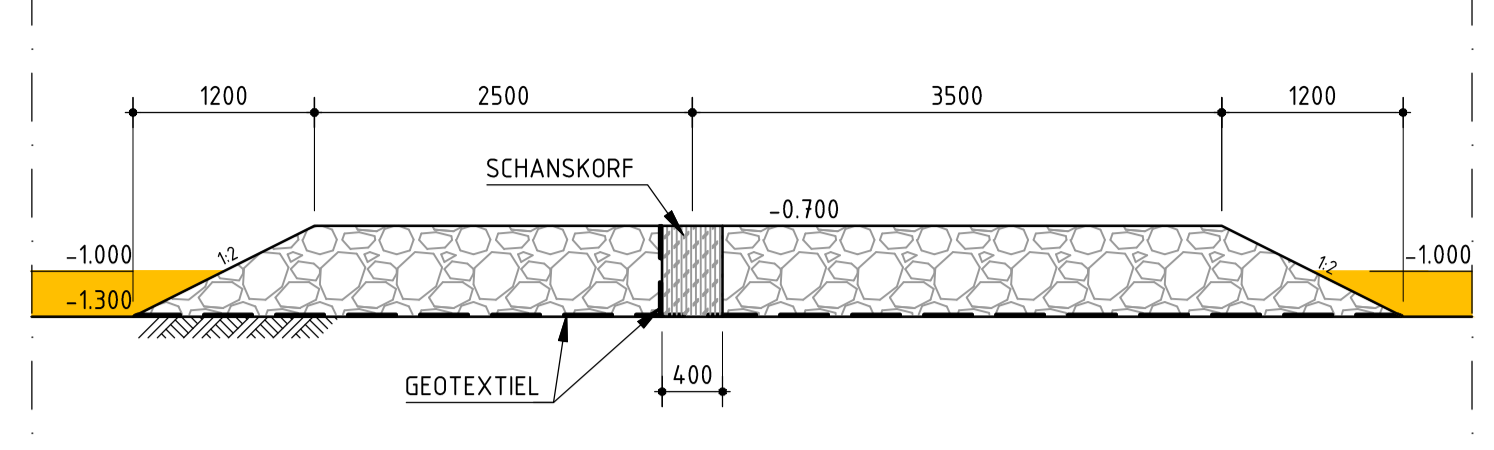
DOORSNEDEN A-A
HOR. SCHAAL 1:1000, VERT. SCHAAL 1:200



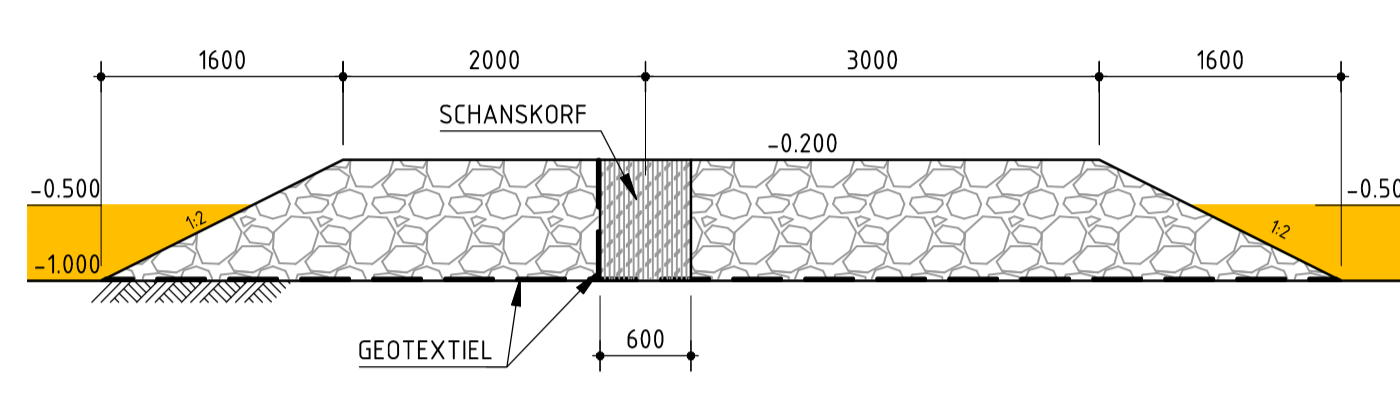
DOORSNEDEN B-B
HOR. SCHAAL 1:1000, VERT. SCHAAL 1:200



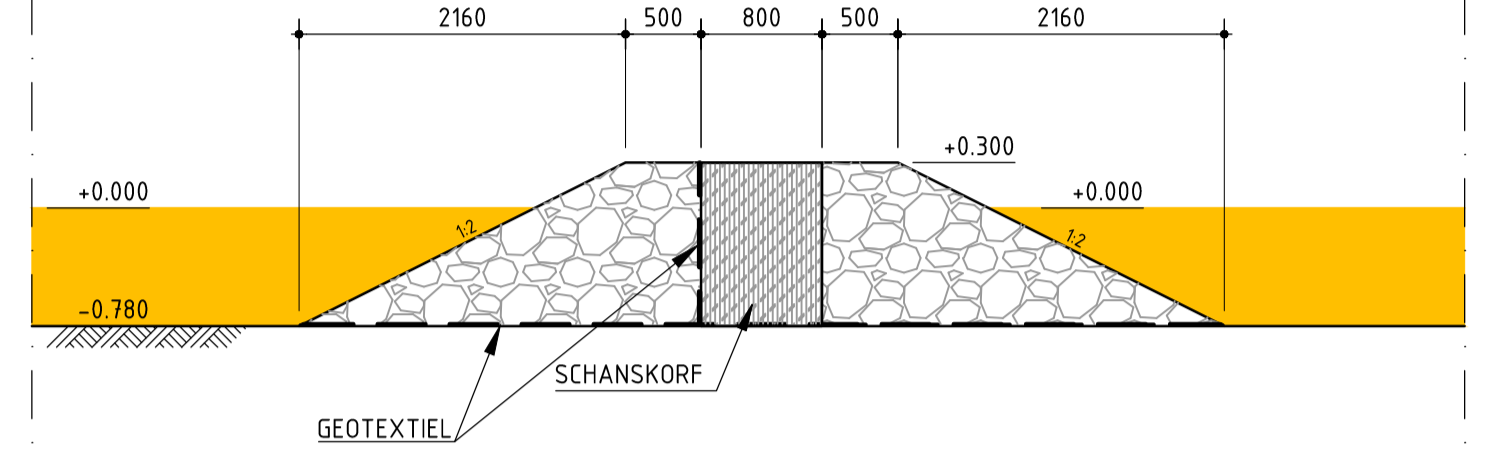
DETAIL DAM 1
SCHAAL 1:50



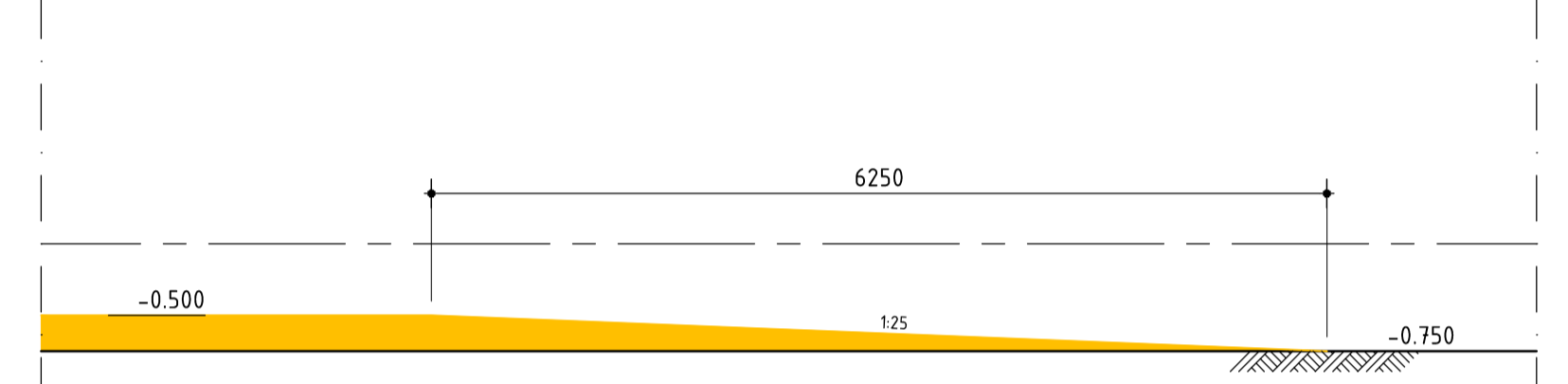
DETAIL DAM 2
SCHAAL 1:50



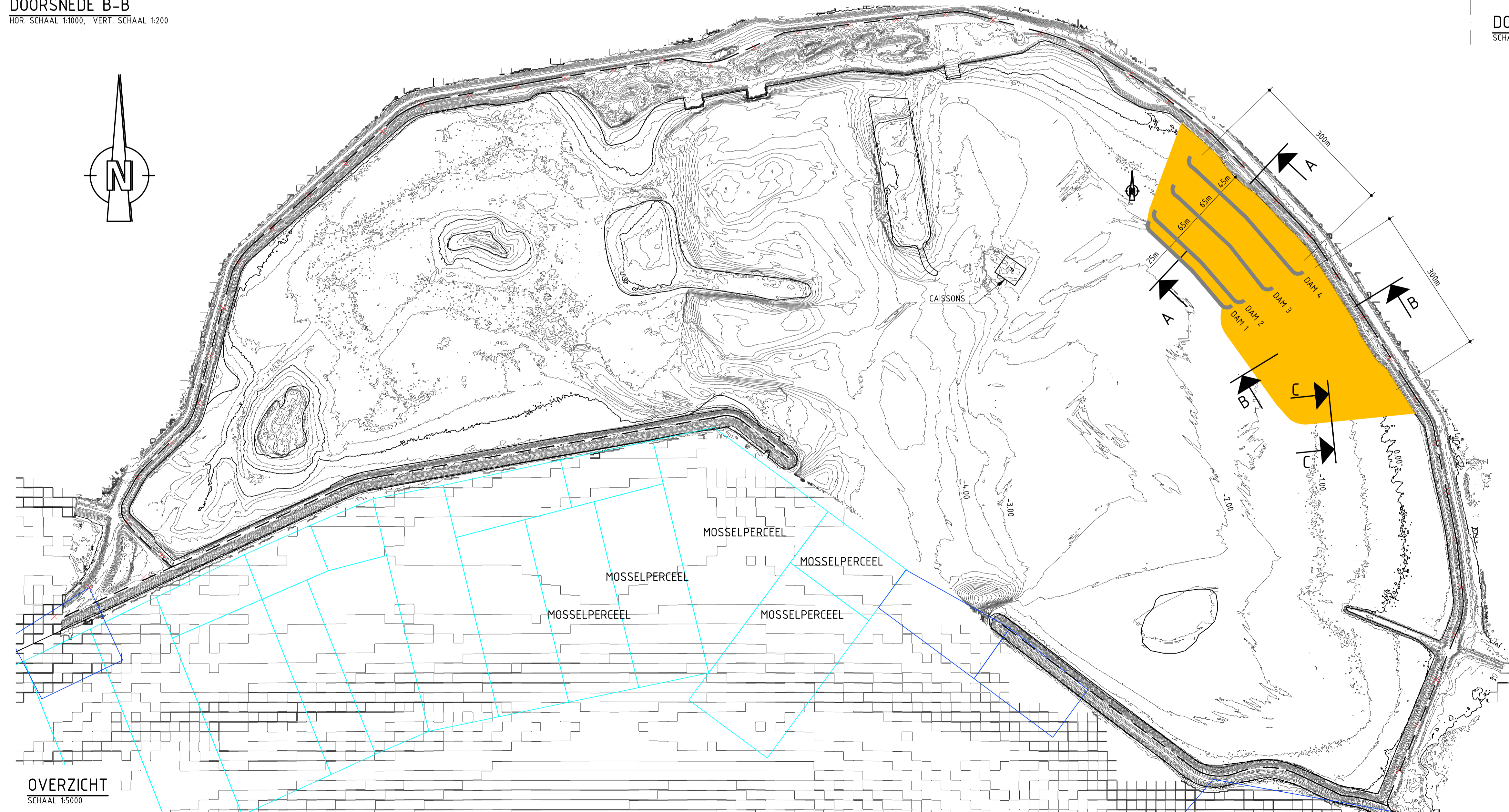
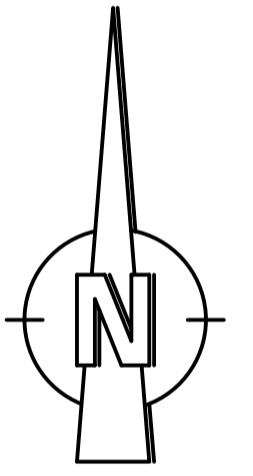
DETAIL DAM 3
SCHAAL 1:50



DETAIL DAM 4
SCHAAL 1:50



DOORSNEDEN C-C
SCHAAL 1:50



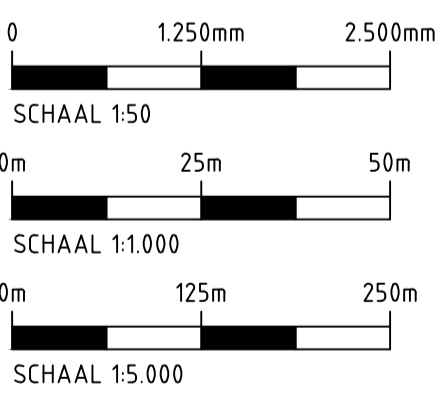
HOEVEELHEDEN	
PALENRIJ (4m)	254 m
BREUKSTEEN EXCL. SCHANSKORVEN	4000 m ³
SCHANSKORVEN (DAM 1 h = 0,4m)	508 m ²
SCHANSKORVEN (DAM 2 h = 0,6m)	107 m ²
SCHANSKORVEN (DAM 3 h = 0,8m)	180 m ²
SCHANSKORVEN (DAM 4 h = 1,08m)	267 m ²
BREUKSTEEN IN SCHANSKORVEN	650 m ³
ZANDSUPPLETIE EXCL. ZETTINGEN	70.000 m ³
OESTERSCHELPEN	51 m ³

LEGENDA

- CASCADE DREMPEL
- VISVAKKEN
- MOSSelperceel
- ZANDSUPPLETIE
- BREUKSTEEN 10-60kg
- SCHANSKORVEN
- GEOTEXTIEL

OPMERKINGEN:

- AFMETINGEN IN MILLIMETERS TENZIJ ANDERS VERMELD
- HOOGTES IN METERS T.O.V. NAP
- DE SCHANSKORVEN IN DAM 1 (ZIE DETAIL DAM 1) ZIJN GEVULD MET BREUKSTEEN 10-60kg OVER EEN AANSLUITENDE LENGTE VAN ONGEVEER 125m. DE OVERIGE SCHANSKORVEN ZIJN VOOR DE HELFT GEVULD MET BREUKSTEEN 10-60kg ONDERIN EN VOOR DE HELFT GEVULD MET OESTERSCHELPEN (BOVENIN) OVER EEN AANSLUITENDE LENGTE VAN ONGEVEER 125m.
- DE SCHANSKORVEN VAN DAM 2, DAM 3 EN DAM 4 ZIJN GEVULD MET BREUKSTEEN
- OPPERVLAKTES SCHANSKORVEN IN HOEVEELHEDEN VANUIT BOVENAANZICHT.



RIJKSWATERSTAAT
MIRT VERKENNING ZANDHONGER OOSTERSHELDE

Proef Schelphoek
Definitief Ontwerp
Overzicht en doorsneden

Witteveen Bos

Postbus 233
7400 AE Deventer
Telefoon 0570 69 79 11
Telefax 0570 69 73 44

Getekend	P. Strohschein	Schaal	VAR.
Gecontroleerd	A. van den Berg		
Goedgekeurd	M. Caljouw		
Datum	10-02-2011	Formaat	A1

RW1809.28.1002

OVERZICHT
SCHAAL 1:5000

BIJLAGE II Evenwichtsprofielen

In deze bijlage wordt het evenwichts- of afslagprofiel bepaald voor verschillende golfhoogte en verschillende korreldiameters. Dit wordt gedaan met behulp van het Vellinga-model [ref. 30]. Dit is in feite een erosiemodel en geen evenwichtsmodel maar de principes zijn hetzelfde. De vorm van het profiel wordt als volgt bepaald:

$$\left(\frac{7,6}{H_{0s}}\right)^y = 0,4714 \left[\left(\frac{7,6}{H_{0s}}\right)^{1,28} \left(\frac{12}{T_p}\right)^{0,45} \left(\frac{w}{0,0268}\right)^{0,56} x + 18 \right]^{0,5} - 2,0$$

waarin:

H_{0s} = de significante golfhoogte op diep water;

T_p = de golfperiode bij de piek van het energiedichtheidsspectrum;

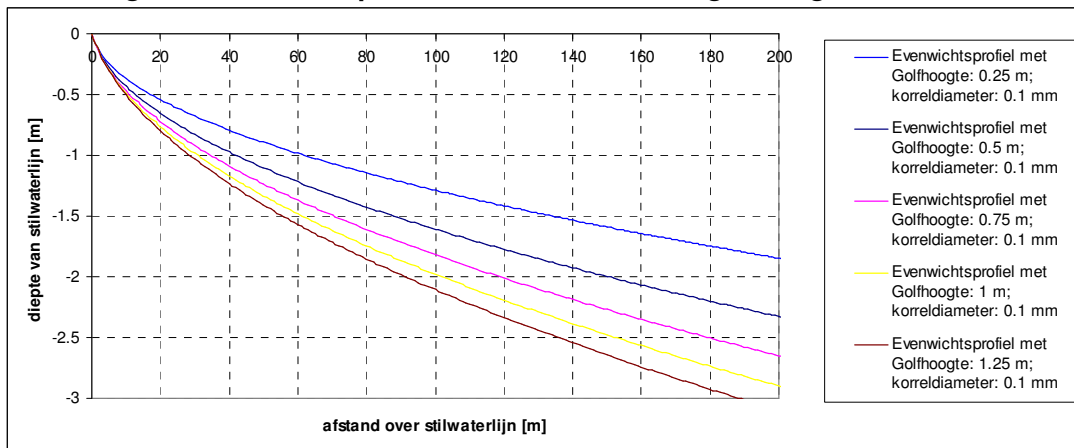
w = de valsnelheid van de sedimentdeeltjes;

x = de afstand vanaf de (nieuwe) duinvoet;

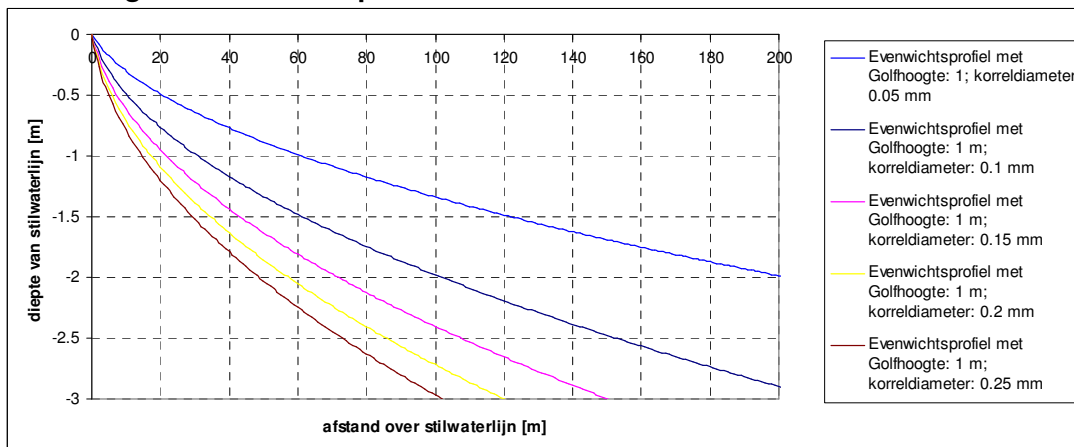
y = de diepte beneden stormvloedpeil.

In afbeelding II.1 en II.2 zijn de evenwichtsprofielen te zien. In afbeelding II.1 is gevarieerd in golfhoogte en in afbeelding II.2 in korreldiameter.

afbeelding II.1. Evenwichtprofiel voor verschillende golfhoogten



afbeelding II.2. Evenwichtprofiel voor verschillende korreldiameters



BIJLAGE III Toegepaste formules en methodes

III.1. Golftransmissie

De getransmitteerde golfhoogte wordt berekend met de formule van Briganti et al. [ref. 13.]). Voor constructies met een relatief smalle kruin geldt de volgende empirisch bepaalde formule:

$$C_t = -0,4 \frac{R_c}{H_s} + 0,64 \left(\frac{B}{H_s} \right)^{-0,31} (1 - \exp(-0,5\xi_p))$$

waarin :

C_t = Transmissiefactor

R_c = vrijboord

H_s = inkomende significante golfhoogte

B = breedte kruin

ξ_p = breker parameter

De inputparameters en de resultaten voor de 4 zandvangdrempels zijn gegeven in tabel III.1.

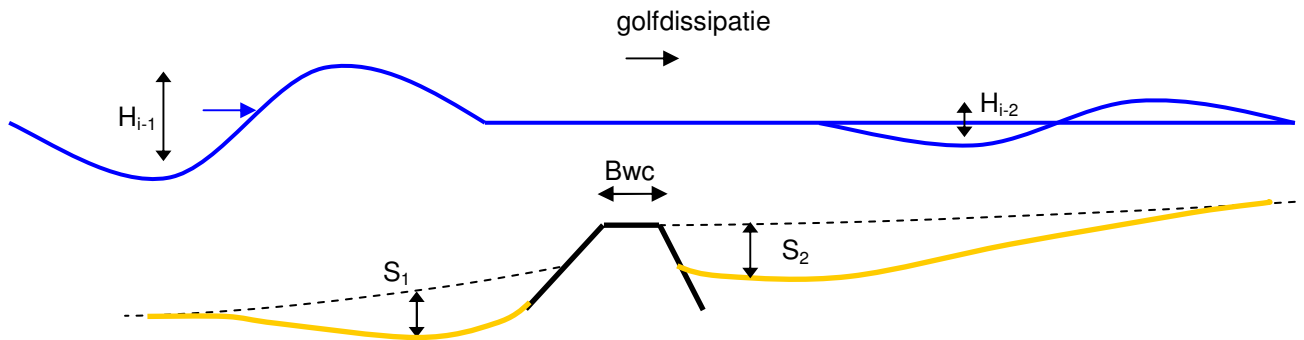
tabel III.1. Golftransmissie zandvangdrempels

para- meter	omschrijving		dam-1		dam-2		dam-3		dam-4	
			NAP +0	NAP+2	NAP+0	NAP+2	NAP+0	NAP+2	NAP+0	NAP+2
Hi	inkomende golf- hoogte	[m]	0.8	1.5	0.7	1.4	0.4	1.2	-	1.1
Rc	vrijboord	[m]	-0.9	-2.9	-0.7	-2.7	-0.2	-2.2	-	-1.7
	breakerparameter	[-]	2.4	1.8	2.6	1.9	3.3	2.0	-	2.1
Bwc	kruin breedte dam	[m]	1.0	1.0	6.0	6.0	5.0	5.0	1.5	1.5
Ct	transmissiecoefficient	[-]	0.9	0.9	0.6	0.9	0.4	0.9	-	0.9
Htr	golfhoogte achter de dam	[m]	0.7	1.4	0.4	1.2	0.2	1.1	-	1.0

III.2. lokale ontgrondingen

Voor het bepalen van de lokale ontgrondingen voor een constructie worden er in de literatuur verschillende methoden voorgesteld. Geen van de bestaande methoden is strikt toepasbaar omdat een methode uitgaat van grof materiaal of omdat de methode uitgaat van een dam die boven het water uitsteekt. In deze bijlage worden eerste de verschillende methoden belicht. Vervolgens wordt met behulp van deze methoden de ontgroning voor en achter de drempels bepaald. Op basis van de bepaalde waarden wordt vervolgens een ontgrondingskuil voorgesteld die gebruikt zal worden als input voor het ontwerp van de drempels. In afbeelding III.1 zijn de belangrijkste parameters die een rol spelen bij het bepalen van de ontgrondingen gegeven.

afbeelding III.1. Parameters



III.2.1. Ontgrondingsdiepte door Young

In [ref. 18.] wordt door Young een methode voorgesteld om de ontgraving aan de landzijde van een onderwaterdam te bepalen. De methode die door Young wordt voorgesteld is als volgt:

$$\frac{S_{\max}}{W_{bw}} = 0.0125\psi^{0.5} KC$$

waarin :

S_{\max} = maximale ontgrondingskuil landzijde

ψ = mobiliteitsnummer

KC = Keulegan Carpenter getal

De methode van Young is niet strikt toepasbaar omdat deze geldig is voor relatief grover materiaal.

III.2.2. Ontgrondingskuildiepte Oosterschelde

In [ref. 31.] is een methode opgesteld om de ontgrondingskuildiepte te bepalen die tijdens storm kunnen ontstaan voor de dijkteen bij onbeschermd vooroevers in de Oosterschelde. Deze methode geldt voor de Oosterschelde maar is niet strikt toepasbaar voor de drempels omdat wordt uitgegaan van een constructie die geheel boven water gelegen is.

$$d = 0,52 * (H_s/1,7)^{3,85} * (150/D_{50})^{2,1} * (\log(1500/B))^{3,46} / 1,55$$

Met:

d ontgrondingsdiepte [m.]

H_s significante golfhoogte [m.]

D_{50} korreldiameter die door 50% van de zeefkromme overschreden wordt [micrometer]

B voorlandbreedte. Hierbij wordt altijd uitgegaan van een onbeschermd voorland van de dijkteen tot NAP meter.

III.2.3. Ontgrondingsdiepte Sumer/ Fredsøe voor dam boven water

Op basis van een experimenteel onderzoek naar de diepte van de ontgrondingskuil voor een breuksteen golfbreker is een empirische relatie opgesteld voor zowel grof als fijn materiaal [ref. 31.]:

$$\frac{S}{H_s} = \frac{f(\alpha)}{\left(\sinh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \right)^{1,35}}$$

(V.3)

Waarbij:

- h de waterdiepte ter plaatse van de constructie;
- L de golflengte;
- H_s de significante golfhoogte;
- $f(\alpha)$ voor fijn materiaal: 0,4; voor grof materiaal: functie op basis van de talud helling

$$f(\alpha) = 0,3 - 1,77e^{-\frac{\alpha}{15}}.$$

Deze methode is niet strikt toepasbaar voor constructies met een kruin onder water. Deze methode geeft wel verschillende waarden voor grof en fijn materiaal waardoor het effect van het relatief kleinere materiaal in de Oosterschelde duidelijk is.

III.2.4. Ontgrondingsdiepte Fredsøe voor onderwaterdam

In [ref. 17.] wordt een simpele relatie gegeven voor de ontgroning aan de voor en de achterzijde van een onderwaterdam. Deze relatie geldt voor relatief grof materiaal en is daarom niet strikt toepasbaar voor de huidige situatie. De relatie is als volgt:

$$\frac{S}{H} = O(0,2 - 0,40)$$

waarin :

S = ontgrondingsdiepte aan de voor of achterzijde van de dam

H = inkomende golfhoogte

III.2.5. Resultaten en conclusie

Tabel III.1 vat de gevonden maximale diepten van de ontgrondingskuil samen. Bij de berekeningen is uitgegaan van de berekende golfhoogtes zoals deze zijn gepresenteerd in tabel III.1. Voor het bodemmateriaal (suppletiezand) is uitgegaan van een korreldiameter van 100 μm . Dit is conservatief. Het suppletie materiaal is namelijk grover. Er wordt echter getracht om van het suppletie materiaal de fijne fractie tussen de drempels te plaatsen. De grootte van deze fijne fractie is op voorhand niet in te schatten. De variatie in de berekende ontgrondingskuilen is groot. Zo wordt bijvoorbeeld voor de buitenste dam een diepste ontgrondingskuil gevonden van 1,1 m. met de formule van Young en een kleinste maximale diepte van 0,2 m. met de formule van Fredsøe.

Een aantal methodes zijn niet strikt toepasbaar omdat het bodemmateriaal fijner is dan waarvoor de formule is opgesteld. Het effect van het relatief fijne materiaal hangt van meerdere factoren af en daarom is niet op voorhand vast te stellen of dit leidt tot een grotere of tot een kleinere ontgrondingskuil. Zo leidt een kleinere korreldiameter over het algemeen tot een grotere ontgroning (makkelijker erodeerbaar) maar wanneer er sprake is van zandtransport in suspensie ontstaat de ontgroning mogelijk op enige afstand van de constructie, is de ontgroning kleiner en daardoor is het gevaar voor ondermijning van de constructie mogelijk kleiner [ref. 31.].

Een aantal methodes zijn opgesteld voor constructies met een kruin boven water. Voor een kruin boven water is de golfreflectie groter en daarom wordt een grotere ontgrondingskuil verwacht. In [ref. 17.] wordt gesteld dat de ontgroning voor constructies boven en onder water, hoewel de mechanismen die spelen anders zijn, van dezelfde orde grootte zijn.

Voor de ontgroning aan de landzijde van een onderwaterdam spelen andere mechanismen een rol dan bij de ontgroning aan de waterzijde (waar vooral de golfreflectie een grote rol speelt). In [ref. 17.] wordt gesteld dat de ontgroning aan weerszijden van de dam van dezelfde orde grootte zijn.

Voor het ontwerp van drempels wordt uitgegaan van de methode van Fredsøe voor onderwaterdammen. De toepasbaarheid van deze formule komt het dichtst bij ontwerpsituatie (onderwaterdam en ontgron-

ding voor zowel de land- als de waterzijde van de dam). Deze formule geeft een kleinere ontgroning in vergelijking met de formule van Youngh en zit aan de conservatieve kant in vergelijking met de overige formules.

tabel III.1. Diepte ontgrondingskuil volgens verschillende methoden

methode		dam-1	dam-1	dam-2	dam-2	dam-3	dam-3	dam-4	dam-4
		NAP+0	NAP+2	NAP+0	NAP+2	NAP+0	NAP+2	NAP+0	NAP+2
Youngh	landzijde	0,6	1,1	0,8	1,2	0,3	0,9	0,1	1,2
Fredsoe	onderwaterdam landzijde en waterzijde	0,3	0,6	0,3	0,5	0,2	0,5	0,1	0,4
Oosterschelde	- waterzijde	0,0	0,3	0,0	0,4	0,0	0,3	0,0	0,2
Fredsoe	bovenwaterdam - waterzijde - grof materiaal	0,3	0,2	0,5	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4
Fredsoe	bovenwaterdam - waterzijde - fijn materiaal	0,4	0,3	0,7	0,4	0,4	0,3	0,3	0,5

III.3. Steenstabiliteit

Voor het bepalen van de steenstabiliteit van de drempels kan de volgende formule worden toegepast ([ref. 13.] en [ref. 34].):

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 0.06 \left(\frac{R_c}{D_{n50}} \right)^2 - 0.23 \frac{R_c}{D_{n50}} + 1.36$$

waarin:

parameter	omschrijving	eenheid	waarde
H_s	significant golfhoogte	[m]	
ρ_w	soortelijke dichtheid water	kg/m ³	1030
ρ_a	soortelijke dichtheid vulmateriaal	kg/m ³	2650
Δ	relatieve dichtheid	[-]	0,61
n_v	porositeit	[-]	0,35
D_{n50}	equivalente steendiameter	[m]	
R_c	vrijboord	[m]	

De formules is geldig voor de gehele constructie. Dat wil zeggen voor zowel het middengedeelte als voor de uiteinden (het versterf) maar ook voor zowel de kruin als de teen van de constructie. De formule is geldig voor $-3 < R_c/d_{n50} < 2$: daarmee is de formule geldig voor zowel onder water als boven water omstandigheden. Daarnaast is de formule geldig voor een helling van 1:2 voor diepte gelimiteerde kort kammige golven.

tabel III.3. Berekende steendiameter

para- meter	omschrijving		dam-1	dam-1	dam-1	dam-2	dam-2	dam-2	dam-3	dam-3	dam-4	dam-4
			NAP +0	NAP+ 2	NAP- 0,9	NAP+0	NAP+2	NAP- 0,7	NAP+0	NAP+2	NAP+0	NAP+2
Hi	Inkomende golfhoogte	[m]	0,8	1,5	0,5 ²	0,7	1,4	0,5 ²	0,4	1,2	-	1,1
Rc	vrijboord	[m]	-0,9	-2,9	0	-0,7	-2,7	0	-0,2	-2,2	-	-1,7
dn50	steendiamete- ter	[-]	<0,2 ¹	<0,2 ¹	0,24	<0,2 ¹	<0,2 ¹	0,24	0,15	<0,2 ¹	-	<0,2 ¹

1. De randvoorwaarden vallen buiten de toepassingsvoorwaarden, de gegeven waarde is een bovenwaarde.

2. Golfhoogte is dieptegelimiteerd. De golfhoogte is bepaald met $H=0,7 \cdot h$.

In tabel III.2 zijn de berekende steendiameters gegeven. Bij maatgevende condities ligt de constructie relatief diep onder water. Hierdoor is de formule niet altijd strikt van toepassing. De waarden die hier zijn berekend, zijn bepaald door extrapolatie en kunnen worden gezien als een bovenwaarde. De grijs gearceerde kolommen geven de maatgevende waarden. De golfhoogtes die hier zijn gebruikt zijn dieptegelimiteerd waarbij uitgegaan is van een waterlijn gelijk aan de kruin.

III.4 Afstand tussen doorstroomopeningen

Bij loodrecht invallende golven kan erosie optreden achter een onderwaterdrempel. Of er erosie op zal treden of dat er aanzanding zal zijn hangt af van de kracht van de retourstroming. De kracht van de retourstroming hangt af van de dimensies van de dam. Hierin zijn met name de lengte en breedte van de dam van belang. In [ref. 36.] worden formuleringen gegeven waarmee bepaald kan worden bij welke dimensies wel en geen erosie wordt verwacht bij een onderwaterdrempel. Deze formulering wordt gebruikt om de maximale lengte van de drempels te bepalen. Door deze formule te hanteren wordt getracht tot een configuratie te komen waarbij de retourstromingen beperkt zijn en de ontgrondingen relatief klein.

De formule die in [ref. 36] wordt gegeven:

$$\frac{h_B}{H_0} = 2 \log_{10} \left\{ \left(\frac{s_B}{h_B} \right)^{3/2} \left(\frac{L_B}{h_B} \right)^2 \left(\frac{A^3}{h_B} \right)^{1/2} \right\} + 0.65$$

waarin:

h_B = waterdiepte voor de dam

H_0 = significante golfhoogte

L_B = lengte golfbrekersegment

A = vorm parameter voor evenwichtsprofiel

s_B = vrijboord

In tabel III.4 is met behulp van bovenstaande formulering de lengte van een segment bepaald waarbij geen erosie door retourstromingen wordt verwacht. Voor de omstandigheden is uitgegaan van de dagelijkse omstandigheden. Per drempel is aangegeven wat voor lengte gekozen is voor de verschillende segmenten. Voor de derde en vierde drempel is een grotere lengte gekozen. Dit omdat de formulering een onderschatting van de berekende lengte geeft bij een kruin lager dan 0,5 meter onder het gemiddelde waterniveau en een relatief brede kruin.

tabel III.4. Golfbrekerlengte waarbij geen erosie optreedt

parameter	omschrijving	dam-1		dam-1		dam-2		dam-2		dam-3		dam-3		dam-4	
		NAP+ NAP -0,5	0	NAP+ 0,5	NAP+ 0,5	NAP+ 0,5	0	NAP+ 0,5	0	NAP+ 0,5	0	NAP+ 0,5	0,5	NAP+ 0,5	0,5
Hi	inkomende golf- hoogte [m]	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,54	0,6	0,6	0,3	0,54	0,48	0,48	0,48	0,48
Rc	vrijboord [m]	0,4	0,9	1,4	1,4	0,2	0,7	1,2	1,2	0,2	0,7	0,2	0,7	0,2	0,2
L	lengte golfbreker- segment [m]	32	59	117	117	31	40	73	73	45	45	40	40	26	26
L-2	gekozen lengte golfbrekerseg- ment [m]			50	50			50	50			50	50	50	50

III.5 Grootte van de doorstromopeningen

In [ref. 37] wordt een conceptueel model voorgesteld waarmee de retourstroming voor langsdammen kan worden bepaald. Dit conceptuele model wordt gebruikt om de grote van de retourstroming vast te stellen. Op basis van de retourstroming worden de dimensies van de doorstromopeningen vastgesteld.

Aan de achterkant van een dam wordt het waterniveau hoger door golfoverslag en golftransmissie (wordt ook wel 'piling up' genoemd). De waterstand wordt hoger totdat het een retourstroom genereert waarna zich een evenwicht instelt tussen het water dat zich opstapelt en de retourstroom. De stroom over de constructie bestaat uit de volgende componenten:

In geval van een drempel onder water:

- q_D = drijvend debiet: de top van de golf transporteert water in de richting van het land. Deze wordt bepaald met:

$$q_D = \lambda_s \frac{H_{rms}^2}{8} \frac{c_s}{h_D} + \lambda_R 0.9 \frac{H_{rms}^2}{T}$$

waarin:

λ_s en λ_R = calibratiefactoren

H_{rms} = golfhoogte (root mean square)

h_D = gemiddelde waterdiepte boven de dam

T = golfperiode

- q_U = onderstroom debiet: door de cirkelvormige beweging van de golf of 'piling up' ontstaat onder water maar boven de drempel een stroom;

$$R = -\frac{1}{2} \rho f \kappa_U \frac{q_U}{h_m} \tilde{u}_{rms} B_c$$

waarin:

R = weerstand over de drempel;

u_{rms} = stroomsnelheid aan de bodem door golven

h_m = gemiddelde waterdiepte boven de dam zonder opstuwing;

B_c = breedte van de dam;

f = wrijvingsfactor;

κ_U = parameter voor snelheidsprofiel.

in geval van een drempel boven water:

- q_o = overslag debiet: het debiet wat over de drempel slaat.

$$\frac{q_0}{\sqrt{gH_{si}^3}} = 0.2 \cdot \exp\left(-2.6 \frac{R_c}{H_{si}\gamma_f\gamma_\beta}\right).$$

waarin:

H_{si} = inkomende golfhoogte;

R_c = vrijboord;

γ_f en γ_β = calibratiefactoren

Daarnaast zijn er nog twee componenten die een stroom geven in de richting van het water:

- q_f = filtratiedebiet: het debiet door de constructie: de constructie is door de damwandconstructie echter slecht doorlatend.
- q_g = retourstroom: het debiet door de doorstroomopeningen.

Het conceptuele model uit [ref. 37] is gebaseerd op de volgende vergelijking:

$$(q_0(p) - q_f(p)) \cdot L_b - q_g(p) \cdot L_g = 0$$

Hierin is:

p = 'piling up' of de opstuwung = het waterstandsverschil voor en direct achter de drempel: de aandrijvende kracht voor de retourstroming;

L_b = de lengte van een drempelsegment;

L_g = breedte van het doorstroomgat.

De retourdebieten (onderstroom en stroom door de openingen) hangen af van de opstuwung. Wanneer er geen doorstroomopeningen zijn is de opstuwung maximaal en stroomt het water alleen terug door de onderstroom. Door het creëren van openingen vermindert de opstuwung. Hierdoor wordt de retourstroming echter kleiner. En ontstaat een evenwichtopstuwung waarbij evenwicht bestaat tussen het debiet in de richting van het land en in de richting van het water (massabalans).

In tabel III.5 is voor de buitenste dam de retourstroom bepaald voor een doorstroomopening met een breedte van 6 meter. De maximale stroomsnelheid die is berekend is 0,78 m/s. Deze wordt als acceptabel beschouwd. Een doorstroomopening met een breedte van 6 meter wordt gehanteerd voor de constructies.

tabel III.5. Stroomsnelheden door de geul

parameter	omschrijving	eenheid	situatie 1	situatie 2	situatie 3
h	waterstand	[m]	NAP + 2	NAP + 0	NAP - 0,9
Hs	golfhoogte	[m]	1,5	0,8	0,4
p	Opstuwung	[m]	0,009	0,011	0,031
qd	debiet golfdrijving	[m ² /s]	0.48	0,17	0,023
qu	debiet onderstroom	[m ² /s]	0.18	0,04	-0,06
qf	debiet door constructie	[m ² /s]	0	0	0
qr	retourdebiet	[m ² /s]	1,53	0,9	0,62
Qr	totale debiet door opening	[m ³ /s]	9,15	5,4	3,7
ur	stroomsnelheid door opening	[m/s]	0,43	0,56	0,78

Er wordt benadrukt dat het toegepaste model een conceptueel model is met veel onzekerheden en dat het model niet gekalibreerd of gevalideerd is voor de huidige situatie. De uitkomst geeft daarom een orde-grootte schatting. Daarnaast wordt aangegeven in [ref. 37.] en [ref. 39.] dat naar het overslag debiet van transmissie golven (q_u en q_d in de vergelijking) relatief weinig onderzoek is gedaan en dat de onzekerheid in bestaande empirische formules groot is.

Een mogelijkheid is om te kiezen voor een kleinere golfbrekerlengte. Een lengte van circa 25 zal leiden tot een reductie van de stroomsnelheid in de opening tot 0,55 m/s.

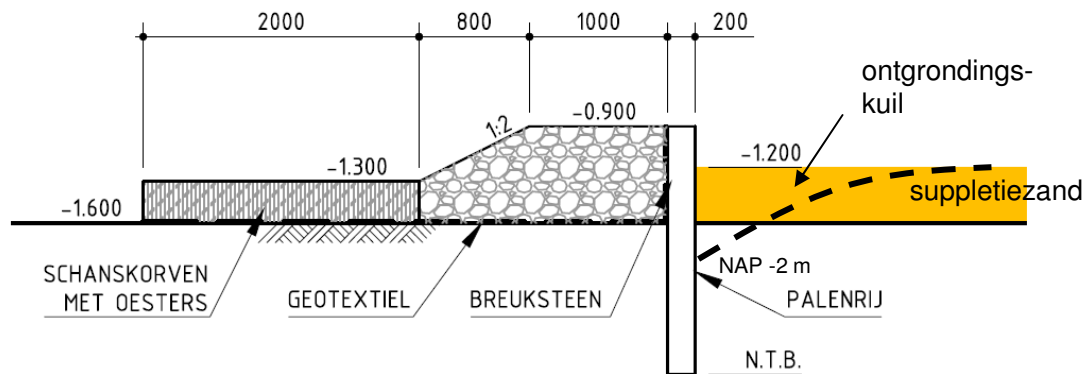
BIJLAGE IV Dimensies houten damwand

vraagstelling

Onderdeel van een proeflocatie is de aanleg van een golfbreker bestaande uit een breuksteen bestorting tegen een houten damwand. De proeflocatie heeft een gewenste levensduur van 20 jaar. Zie ook afbeelding IV.1. Gevraagd is de afmetingen en kwaliteit van de houten damwand te bepalen (opmerking: waar in deze memo houten damwand staat kan ook houten palenwand worden gelezen).

In deze memo wordt één snede doorgerekend voor de totale strekking van circa 300 m. De geometrie en belastingen zijn gelijk over deze strekking. De invloed van variatie in de grondopbouw wordt beschouwd in deze memo.

afbeelding IV.1. Golfbreker



referenties

1. Boorstaten TNO in Schelphoek, periode 1958 - 1977.
2. CUR166 Damwandconstructies 4^{de} druk.
3. NEN6760 Houtconstructies.

grondopbouw en parameters

De bodemopbouw in Schelphoek is bepaald op basis van boorstaten van TNO uit de periode 1958-1977. Hierbij wordt opgemerkt dat het beschikbare grondonderzoek summier is en slechts globaal inzicht geeft in de laagopbouw van de ondergrond. Sonderingen zouden het beeld vollediger maken. Op basis van de conusweerstand en kleeftgetallen kan veel duidelijker inzicht in de ondergrond en de te hanteren parameters worden verkregen.

Uit de beschikbare boorstaten blijkt dat de waterbodem van de beschouwde projectlocatie in de gegeven periode varieerde tussen NAP - 1,40 m en NAP - 3,10 m. Uitgangspunt voor deze analyse is dat de golfbreker op de dieptecontourlijn van NAP -1,6 m wordt aangelegd.

Uit de beschikbare boorstaten blijkt dat direct onder het maaiveld een laag aanvangt die voornamelijk bestaat uit klei. Deze laag is echter sterk variabel qua zandigheid en hoeveelheid organisch materiaal. Vanaf ca. NAP - 10,0 m à NAP - 14,0 m bevindt zich een zandige laag tot de verkende diepte.

De voor deze berekeningen gehanteerde bodemopbouw is gegeven in tabel IV.1.

tabel IV.1. Gehanteerde bodemopbouw en grondparameters

grondsoort	bovenkant laag [NAP + 0,0 m]	$\gamma/\gamma_{\text{sat}}$	ϕ'	c'
klei, slap (*)	- 2,0	14/14	20	2
zand	- 11,0	17/19	30	0

(*) de hier gehanteerde parameters voor deze laag lijken een redelijke keus op basis van het beschikbare grondonderzoek. Het is echter niet uitgesloten dat lokaal nog slechtere plekken worden gevonden. Zie ook de resultaten bij het kopje gevoeligheidsanalyse.

belastingen

De maatgevende golfbelasting ontstaat bij een submerged situatie. Bij lagere waterstanden ontstaan veel kleinere golfhoogten en lagere horizontale belasting. De situatie waarbij een waterstandsverschil ontstaat (stel max. circa 1 m) zal ook lagere horizontale krachten opleveren dan de gegeven golfbelastingen.

De gegeven golfbelastingen zijn gepresenteerd in tabel IV.2.

tabel IV.2. Golfbelastingen

waterstand	frequentie van voorkomen [1/jaar]	hor. golfdruk op b.k. wand (NAP -0,9 m)	hor. golfdruk op bodemniveau (NAP -1,6 m)	gehanteerde belasting in MSheet op niveau NAP -1,2 m
NAP +0 m	1/1	6,9 kPa	5,9 kPa	4,5 kN/m
NAP +0 m	1/1000	10,0 kPa	9,0 kPa	6,7 kN/m

Opmerkingen:

- invloed van het voorliggende breuksteen is meegenomen in de berekening van de golfbelastingen;
- de hydrostatische druk is niet verwerkt.

toe te passen houtsoort

Uitgangspunt is dat gezaagd hardhout wordt toegepast (zgn D-klasse conform NEN6760). De gehanteerde dikte is 80 mm. Belangrijkste reden voor deze dikte is het creëren van stijfheid zodat de vervormingen ten gevolge van de dynamische golfbelasting relatief klein zijn. Gehanteerde sterkteklasse is D30.

Het hout dient te worden toegepast in klimaatklasse IIIb (100 % verzadigd met vocht). Bij deze gegeven klimaatklasse dient een houtsoort uit duurzaamheidsklasse I (zeer duurzaam) te worden toegepast. Om aantasting te voorkomen door bijvoorbeeld larven, insecten en/of schimmels te voorkomen dient het hout mogelijk te worden verduurzaamd. Dit onderdeel dient nader te worden beschouwd.

De belastingduurklasse is IV (dominante belasting is golfbelasting, zeer kort durende belasting, minder dan 5 sec.).

Onderstaande factoren worden gehanteerd conform NEN6760:

sterkte UGT

γ_m ,sterkte = 1,2

k_{mod} ,sterkte = 0,95

k_h ,sterkte = 1,0 (voor D-sterkte klasse)

k_{mod} , stijfheid = 0,8

stijfheid BGT

γ_m ,stijfheid = 1,0

k_{mod} ,stijfheid = 0,8

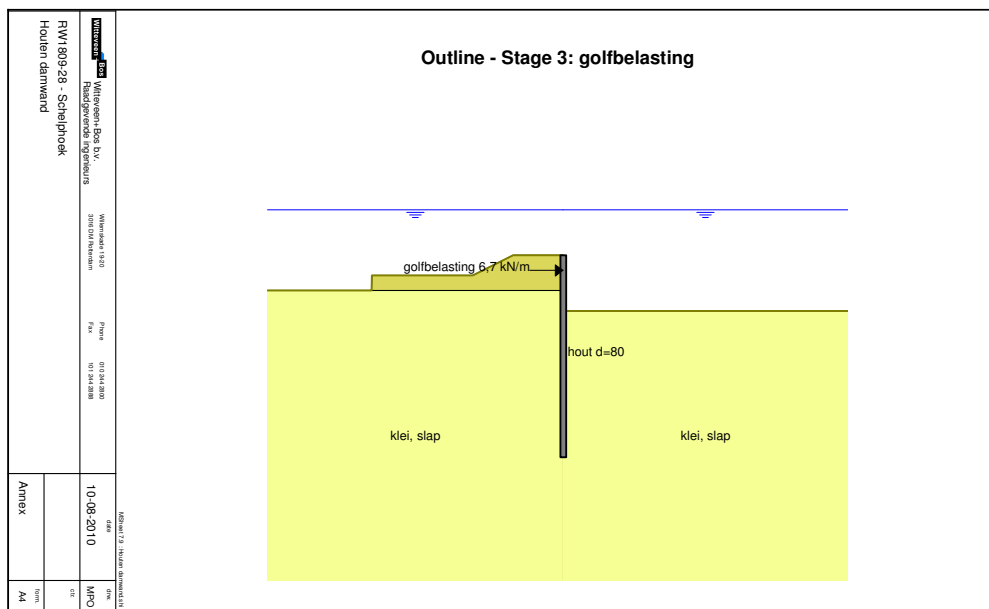
overige uitgangspunten

- veiligheidsklasse I conform CUR166 (relatief geringe schade bij falen, geen persoonlijke veiligheidsrisico's);
- verwachte ontgrondingskuil tot NAP -2 m (conservatief), zie afbeelding IV.1;
- gehanteerde fasering:
 48. installatie planken;
 49. aanbrengen breuksteen achter wand en optreden ontgrondingskuil;
 50. golfbelasting;
- maximaal toelaatbare vervorming gesteld op 100 mm (beperking problemen onderlinge aansluiting planken, beperken grondvervormingen van achtergelegen breuksteen en passieve wig, etc.);
- bijzondere belastinggevallen tijdens de bouw (tijdelijke ontgravingen, tijdelijke belastingen, etc.) zijn niet beschouwd in deze analyse.

berekeningsresultaten

De constructie is geschematiseerd conform afbeelding IV.2. Puntniveau van de planken is gesteld op NAP - 4,9 m.

afbeelding IV.2. Geschematiseerde constructie



De resultaten van de berekening zijn gepresenteerd in tabel IV.3.

tabel IV.3. Berekeningsresultaten

situatie	Mmax [kNm/m]	% gemobiliseerde weerstand	BGT vervorming [mm]
golfbelasting 4,5 kN/m	7,5	41	52
golfbelasting 6,7 kN/m	11,4	47	95

Bij toepassing van gezaagde hardhouten planken met $d = 80$ mm en sterkteklasse D30 geldt $M_{max} = 25$ kNm/m. Zie bijlage I. OK

gevoeligheidsanalyse keuze grondparameters

Om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van de constructie ten aanzien van de gekozen grondparameters voor de kleilaag is een gevoeligheidsanalyse gemaakt. Voor een conservatief scenario is uitgegaan

van een ondergrens qua parameters. Voor een optimistisch scenario is uitgegaan van een bovengrens qua parameters.

tabel IV.4. Variatie grondopbouw en parameters

grondsoort	bovenkant laag [NAP + 0,0 m]	$\gamma/\gamma_{\text{sat}}$	ϕ'	c'
conservatief: klei, slap, humeus	- 2,0	13/13	15,0	2
optimistisch: klei, sterk zandig	-2,0	18/20	27,5	1

Uitgaande van een golfbelasting 6,7 kN/m zijn de berekeningsresultaten gepresenteerd in tabel IV.5.

tabel IV.5. Resultaten gevoeligheidsanalyse

situatie	puntniveau [NAP m]	Mmax [kNm/m]	% gemobiliseerde weerstand	BGT vervorming [mm]
conservatief	- 5,4	13,1	56	153
optimistisch	- 3,9	11,0	58	69

Geconcludeerd wordt:

- wanneer lokaal een zeer slappe humeuze klei wordt aangetroffen zullen de vervormingen niet meer voldoen aan de gestelde vervormingseis. De wand dient daarnaast nog 0,5 m dieper te worden doorgezet om voldoende passieve wig te mobiliseren;
- wanneer lokaal een zeer zandige klei wordt aangetroffen kan de wandlengte worden verkleind (in het beste geval mogelijk met circa 1 m).

conclusie en aanbevelingen

Op basis van de gestelde uitgangspunten in deze memo wordt geconcludeerd wordt dat een houten damwand (c.q. houten palenwand) met onderstaande gegevens en afmetingen (of gelijkwaardig) voldoet aan de gestelde eisen van sterkte en stijfheid:

- gezaagd hardhout toepasbaar in duurzaamheidsklasse I conform NEN6760;
- lengte = 4,0 m;
- dikte = 80 mm;
- sterkteklasse conform NEN6760 = D30;
- toepassen verduurzaming om gewenste levensduur van 20 jaar te halen (nader te beschouwen).

Opgemerkt wordt dat stijfheid maatgevend is bij de gestelde vervormingseis van circa 100 mm.

Geadviseerd wordt:

- toepassen van nader grondonderzoek (sonderingen h.o.h. circa 50 m langs strekking) om beter inzicht te krijgen in de grondopbouw en de te hanteren parameters. Op basis hiervan kan het ontwerp mogelijk worden geoptimaliseerd en kunnen de aanwezige risico's worden verkleind;
- toepassen van een praktische gording langs de damwand om verschilvervormingen van de damwand te reduceren.

BIJLAGE V Eigenschappen houten damwand

parameter	waarde	
sterkteklasse	D30	conform NEN6760
klim.klasse	III	
kmod	0,95	
b	1000 mm	
h	80 mm	
W	1067 cm ³ /m ¹	
I	4,27E+03 cm ⁴ /m ¹	
sigma_d	28,5 N/mm ²	
kh	1 -	= 1 voor alle D-klasse
gamma_m	1 BGT	
	1,2 UGT	

BGT stijf		UGT laag slap	
invoer Msheet		invoer Msheet	
EI	341 kNm ² /m ¹	EI	228 kNm ² /m ¹
M	30,4 kNm/m ¹	M	25,3 kNm/m ¹
section area	800 cm ² /m ¹	section area	800 cm ² /m ¹
W	1067 cm ³ /m ¹	W	1067 cm ³ /m ¹
width	1000 mm	width	1000 mm
height	80 mm	height	80 mm
coating area	1 m ² /m ² wall	coating area	1 m ² /m ² wall

kmod

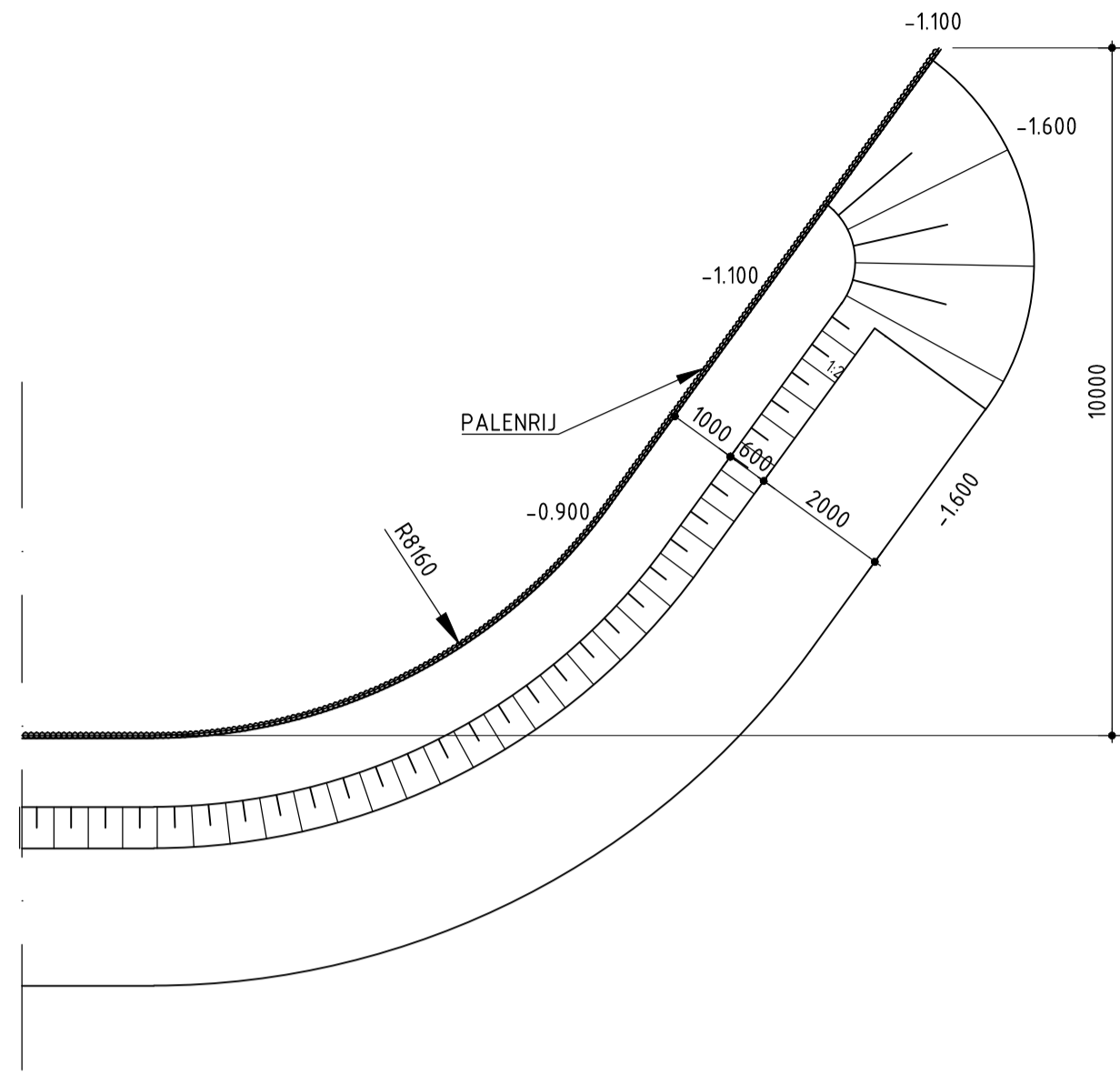
belastingsduurklasse IIIb

I	1,1
II	1,1
III	0,95

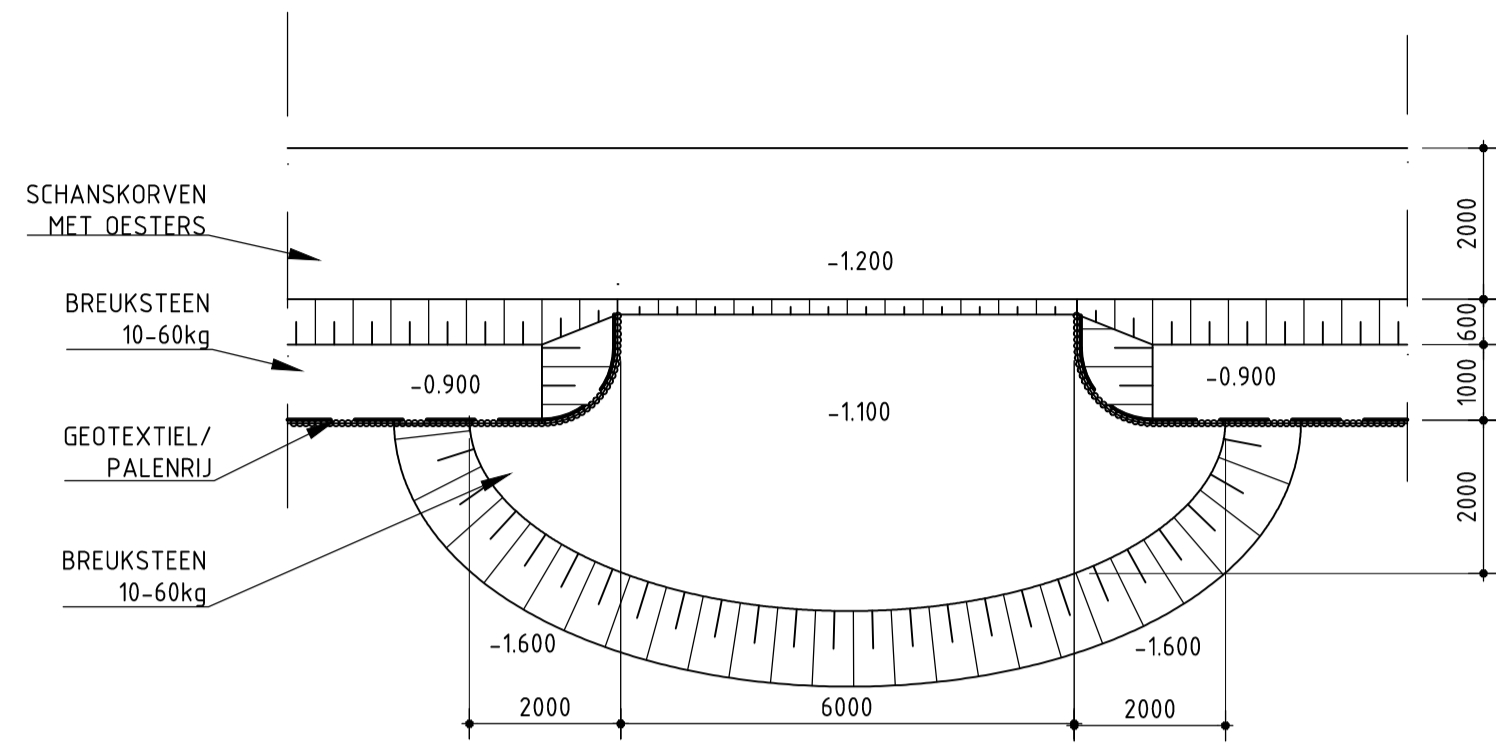
gamma_m

BGT	1
UGT	1,2

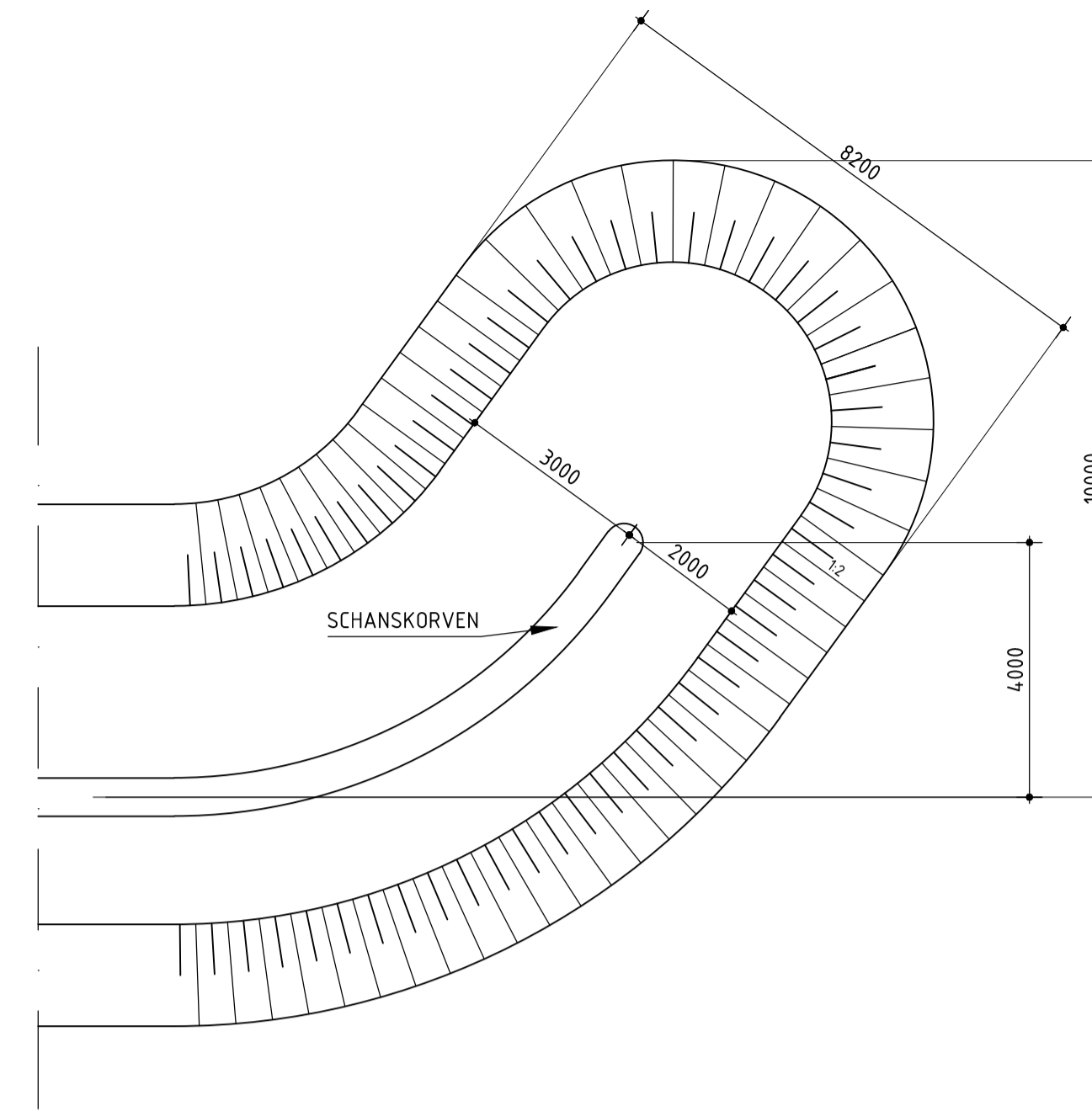
BIJLAGE VI Tekening definitief ontwerp van de proef - details



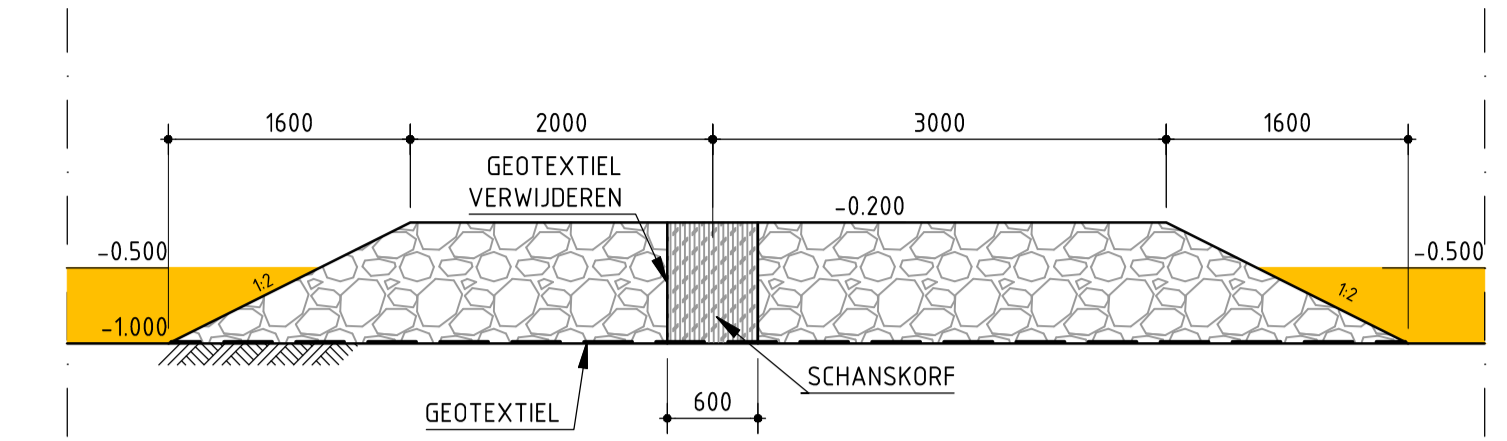
DETAIL 1 VERSTERF DAM 1
SCHAAL 1:100



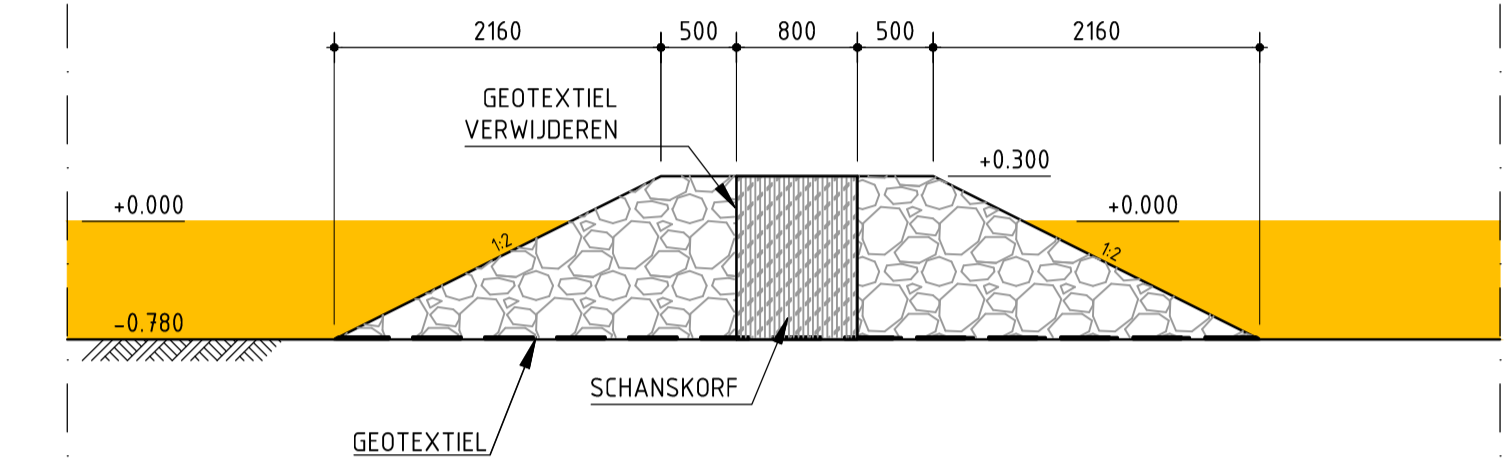
DETAIL 2 DOORSTROOMOPENING DAM 1 (5x h.o.h. 50m)
SCHAAL 1:100



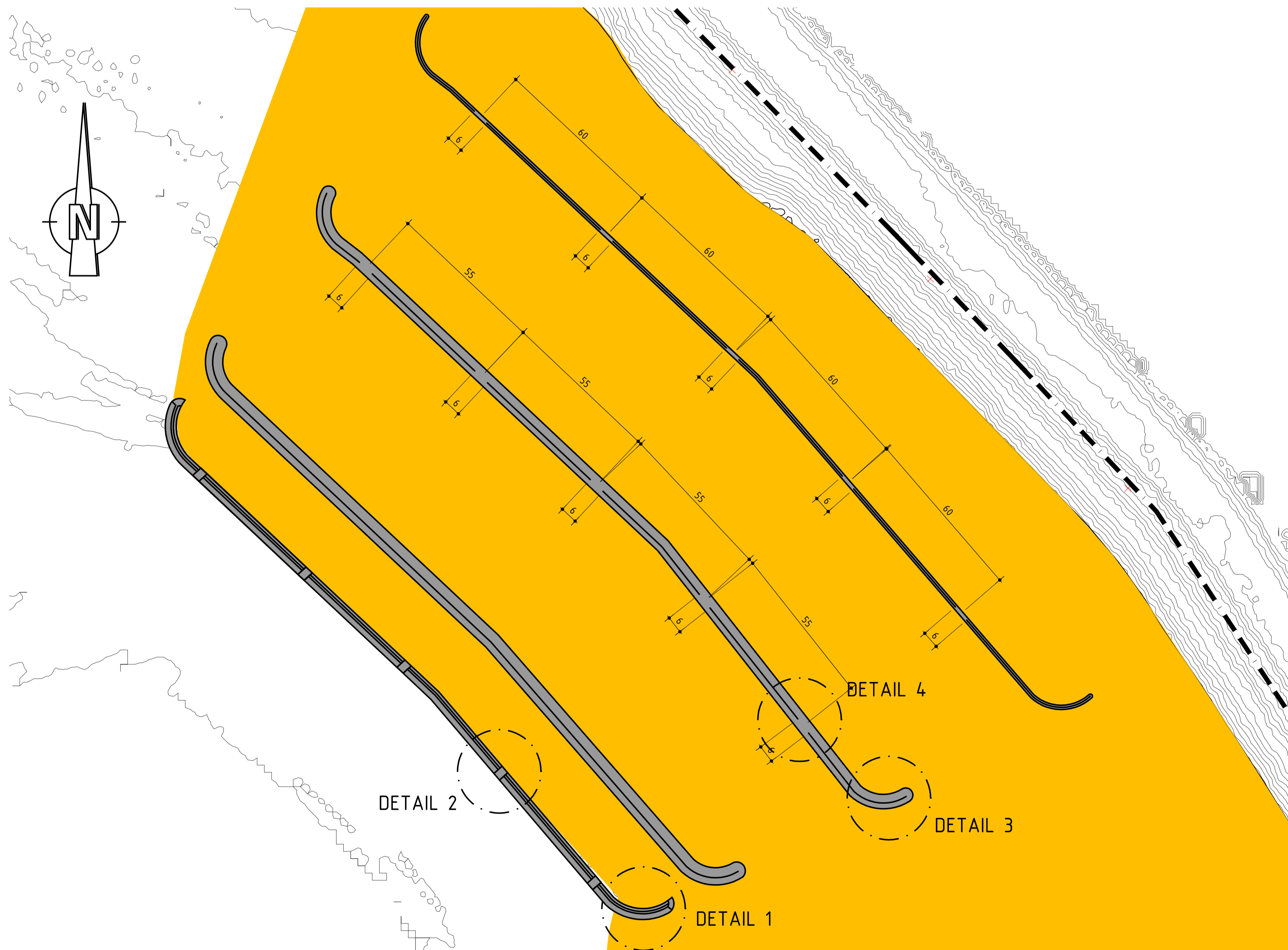
DETAIL 3 VERSTERF DAM 3
SCHAAL 1:100



DETAIL 4 DOORSTROOM DAM 3 (5x h.o.h. 55m)
SCHAAL 1:50



DETAIL 5 DOORSTROOM DAM 4 (5x h.o.h. 60m)
SCHAAL 1:50



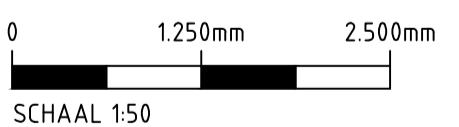
OVERZICHT
SCHAAL 1:1000

LEGENDA

- ZANDSUPPLETIE
- BREUKSTEEN 10-60kg
- SCHANSKORVEN
- GEOTEXTIEL

OPMERKINGEN:

- AFMETINGEN IN MILLIMETERS TENZIJ ANDERS VERMELD
- HOOGTES IN METERS T.O.V. NAP
- IN DAM 1, DAM 3 EN DAM 4 WORDEN DOORSTROOMOPENINGEN GECREËERD. IN DAM 2 WORDEN GEEN DOORSTROOMOPENINGEN GECREËERD.



RIJKSWATERSTAAT
MIRT VERKENNING ZANDHONGER OOSTERSHELDE
Proef Schelphoek
Definitief Ontwerp
Details

Getekend	P. Strohschein	Schaal	VAR.
Gecontroleerd	A. van den Berg		
Goedgekeurd	M. Caljouw		
Datum	10-02-2011	Formaat	A1

Postbus 233
7400 AE Deventer
Telefoon 0570 69 79 11
Telefax 0570 69 73 44

Witteveen Bos

RW1809.28.1004

BIJLAGE VII Specificaties bouwmaterialen cascade drempels

VII. Materiaalspecificaties

In deze bijlage worden de minimale vereisten gegeven waaraan de bouwmaterialen van de cascade-drempels dienen te voldoen.

VII.1 Schanskorven

In het ontwerp zijn er twee type schanskorven. Het eerste type fungeert als teenconstructie in de buitenste drempel (dempel 1) en kan worden gezien als een schanskorfmattas. Het tweede type schanskorf is ontworpen in het midden van de overige drie drempels. Door het plaatsen van deze schanskorf is het mogelijk een verticaal geotextiel toe te passen. Deze laatste schanskorf wordt geclassificeerd als een 'box'. Voor deze twee type schanskorven zijn verschillende materiaal- en parametereigenschappen vereist.

VII.1.1. Schanskorven teenconstructie

De schanskorven die fungeren als teen worden geclassificeerd als matras en dienen te voldoen aan de volgende specificaties:

- materiaal draad: staal;
- maas type: conform EN 10223-3. De maaswijdte moet voldoende klein zijn, zodat oesterschelpen niet uit de schanskorf kunnen ontsnappen;
- diameter draad: conform EN 10244-2 of EN 10244-3;
- corrosieprotectie:
 - galvanisatie met coating conform Klasse A (EN 10244): massa van de coating (m_c) voor draaddiameter van 2,2 mm is 230 g/m^2 ;
 - polymeer coating volgens EN 10245 (PVC of PE).

VII.1.2 Schanskorven midden drempelconstructie

De schanskorven die fungeren als onderdeel van de cascadedrempel kunnen geclassificeerd worden als box:

- materiaal draad: staal
- maas type: conform EN 10223-3. De maaswijdte moet voldoende klein zijn, zodat de vulling niet uit de schanskorf kan ontsnappen;
- diameter draad: conform EN 10244-2 of EN 10244-3;
- corrosieprotectie:
 - galvanisatie met coating conform Klasse A (EN 10244): massa van de coating (m_c) voor draaddiameter van 2,7 mm is 245 g/m^2 .
 - polymeer coating volgens EN 10245 (PVC of PE).

In de schanskorven waar breuksteen verwerkt wordt, moet het breuksteen aan de eisen uit tabel 8.1.

Tabel 8.1. Eisen voor breuksteen gebruikt in schanskorven

eigenschap	geldende standaard	voorgestelde eis
mechanische sterkte van steen	compressiesterke (EN 13383-1)	CS_{60}
	Loas Angeles, LA (EN 1097-2)	$LA < 45$
	Fragmentability, FR (EN 1097-2)	of $LA > 45$ en $FR < 7$
weerstand tegen wrijving	Micro-Deval (EN 1097-1)	$M_{DE} < 45$
	Fragmentability FR (EN 1097-2)	of $M_{DE} > 45$ and $FR < 7$
weerstand tegen vorst en dooi	EN 13383-1	FTA categorie:
		Verlies aan massa $< 0.5 \%$
steendichtheid	EN 13383-2	$> 2.2 \text{ t/m}^3$
breuksteen gradering	EN 13883-1	$CP_{90/180}$ of equivalent
		$CP_{90/130}$ voor matrassen
vorm	-	geen specifieke eis

eigenschap	geldende standaard	voorgestelde eis
type steen	petrografie	kalkrijke, kiezelhoudend, metamorf of stollingsgesteente

VII.2. Breuksteen

Voor het breuksteen moet de gradering bepaald worden volgens EN 13383-2 en goed gegradeerd ('well-graded') zijn.

De gradering moet voldoen aan het criterium voor interne stabiliteit:

$$D_{60}/D_{10} < 10.$$

De volgende eisen gelden voor 'lichte graderingen' volgens EN 13383-1:

- ELL : uiterste ondergrens;
- NLL : nominale ondergrens;
- NUL : nominale bovengrens;
- EUL : uiterste bovengrens.

M_{em} is de effectieve gemiddelde massa is de gemiddelde massa van een monster van stenen zonder fragmenten (welke kleiner zijn dan de uiterste ondergrens).

Tabel 8.2 toont de massaverdeling waar het breuksteen aan moet voldoen.

Tabel 8.2. EN 13383 standaard gradering eis

Klasse benaming [kg]	ELL < 2% [kg]	NLL < 10 % [kg]	NUL > 70 % [kg]	EUL > 97 % [kg]	M_{em} lower limit [kg]	M_{em} upper limit [kg]
10 - 60	2	10	60	120	20	35

Tabel 8.3 toont kwaliteits- en duurzaamheidseisen voor het breuksteen.

Tabel 8.3.

eigenschap	geldende standaard	waarde	eenheid
massadichtheid	EN 13383-2	> 2,5	t/m ³
waterabsorptie	EN 13383-2	< 2	%
vorm van de stenen* LT>3	EN 13383-2	< 10	%
methylene blue adsorption	Verhoef (1992)	< 0,7	g/100g
point load strength	ISRM (1985)	> 4	MPa
Micro-Deval	EN 1097-1	< 20	% verlies
MgSO ₄ soundness	EN 1367-2	< 10	% verlies

* Het breuksteen moet ruw en hoekig zijn. Het is niet toegestaan om ronde stenen te gebruiken

VII.3. Geotextiel

In het ontwerp zijn twee geotextielen verwerkt:

- een horizontaal doek tussen de bodem en de breuksteenconstructie, welke alleen zanddicht hoeft te zijn. Ten aanzien van de waterdoorlatendheid is er voor dit geotextiel geen specifieke eis;
- een verticaal doek aan de schanskorven in de drempels, welke zanddicht en waterdoorlatend moet zijn.

Het geotextiel moet ten alle tijden beschermt zijn tegen mogelijke fysische of chemische schade. Ook moet het geotextiel beschermt zijn tegen direct zonlicht.

De rollen geotextiel moeten worden opgeslagen op het maaiveld en mogen niet meer dan 5 rollen hoog worden gestapeld. Er mag geen ander materiaal bovenop het geotextiel worden gestapeld.

Alle geotextielen moeten door een gecertificeerde fabrikant worden gemaakt die volgens ISO 9000 werkt. Geotextielen moeten gefabriceerd worden volgens de geldende BS, BS EN, BS EN ISO en PD-CRISO 13434 en 6533.

VII.3.1 Horizontaal geotextiel

De volgende specificaties gelden voor het horizontale geotextiel:

- materiaal: het geotextiel moet een weefsel of vlies van polyester, polypropreen, polyetheen, polyamide of nylon zijn;
- poriënafmeting: $O_{90} < D_{90} < 0,4$ mm (uitgangspunt D50, ondergrond = 0,035 mm (zandige klei));
- waterdoorlatendheid: geen specifieke eis;
- gewicht: bij een maximum valhoogte van breuksteen (10-60 kg) van 0,75 m moet het geotextiel een gewicht van ten minste 300 g/m² hebben. Bij een maximum valhoogte van de breuksteen (10-60 kg) een valhoogte van 1,50 m moet het weefselgewicht minstens 600 gr/m² hebben;
- treksterkte $\geq 20,0$ kN/m;
- static puncture strength: ≥ 3 kN;
- overlap $\geq 0,5$ m.

VII.3.2. Verticaal geotextiel

De volgende specificaties gelden voor het verticale geotextiel:

- materiaal: het geotextiel moet een weefsel of vlies van polyester, polypropreen, polyetheen, polyamide of nylon zijn;
- poriënafmeting: $O_{90} < D_{90} = 0,6$ mm; (uitgangspunt: D50, zand = 100 μ m zie tabel 8 herziene versie CUR174, Europese 'standaard'. Bij D50, zand = 200 μ m $O_{90} < D_{90} = 0,7$ mm);
- waterdoorlatendheid: $kg > ckb = 10 * 10^{-3} = 10^{-2}$ m/s;
- gewicht: ≥ 300 g/m²;
- treksterkte $\geq 20,0$ kN/m;
- static puncture strength: ≥ 3 kN.
- overlap $\geq 0,5$ m.

VII.4. Palenrij

Specificatie voor de palenrij op de onderste drempel:

- gezaagd hardhout: D-klasse (conform NEN6760);
- dikte: 80 mm;
- lengte: 4,0 m;
- sterkteklasse: D30. (conform NEN 6760);
- duurzaamheidsklasse I (zeer duurzaam).

VII.5. Referenties

1. EN 10244-1 Staaldraad en draadproducten - Deklagen van non-ferrometaal op staaldraad - Deel 1: Algemene principes.
2. EN 10244-1 Staaldraad en draadproducten - Deklagen van non-ferrometaal op staaldraad - Deel 2: Deklagen van zink en zinklegeringen.

3. EN 10223-3 Staaldraad en draadproducten voor omheiningen - Deel 3: Gaas met zeshoekige mazen van staaldraad voor toepassingen in de bouw.
4. EN 1097-1 Beproevingmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 1: Bepaling van de weerstand tegen afslijting (micro-Deval).
5. EN 1097-2 Beproevingmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 2: Methoden voor de bepaling van de weerstand tegen verbrijzeling.
6. EN 13383-1 Waterbouwsteen - Deel 1: Specificatie.
7. EN 13383-2 Waterbouwsteen - Deel 2: Beproevingmethoden.
8. EN 1367-2 Beproevingmethoden voor de thermische eigenschappen en vertering van toeslagmaterialen - Deel 2: Magnesiumsulfaatproef.
9. ISRM (1985). Commission on testing methods. Suggested method for determining point load strength (revised version). Int J Rock Mech, Min Sci and Geomech Abstr, vol 22, pp 51-60.
10. Verhoef, P.N.W. (1992). The methylene blue test applied to geomaterials. GEOTMAT.02. Delft, pp85.