

ONTWERPNOTA UO WATERBODEMVERLAGINGEN

Eerste Fase Marker Wadden



COLOFON

Revisie nummer	1
Revisie Beschrijving	Definitief
Auteur	
Contract nummer	52812492
Document nummer	H13084-04-R02-1-VFRI

DOCUMENT CONTROLE

Revisie controle

Revisie nummer

Status

Datum

Opgesteld door + paraaf

Review door + paraaf

Review niveau

1

Definitief

1 april 2016

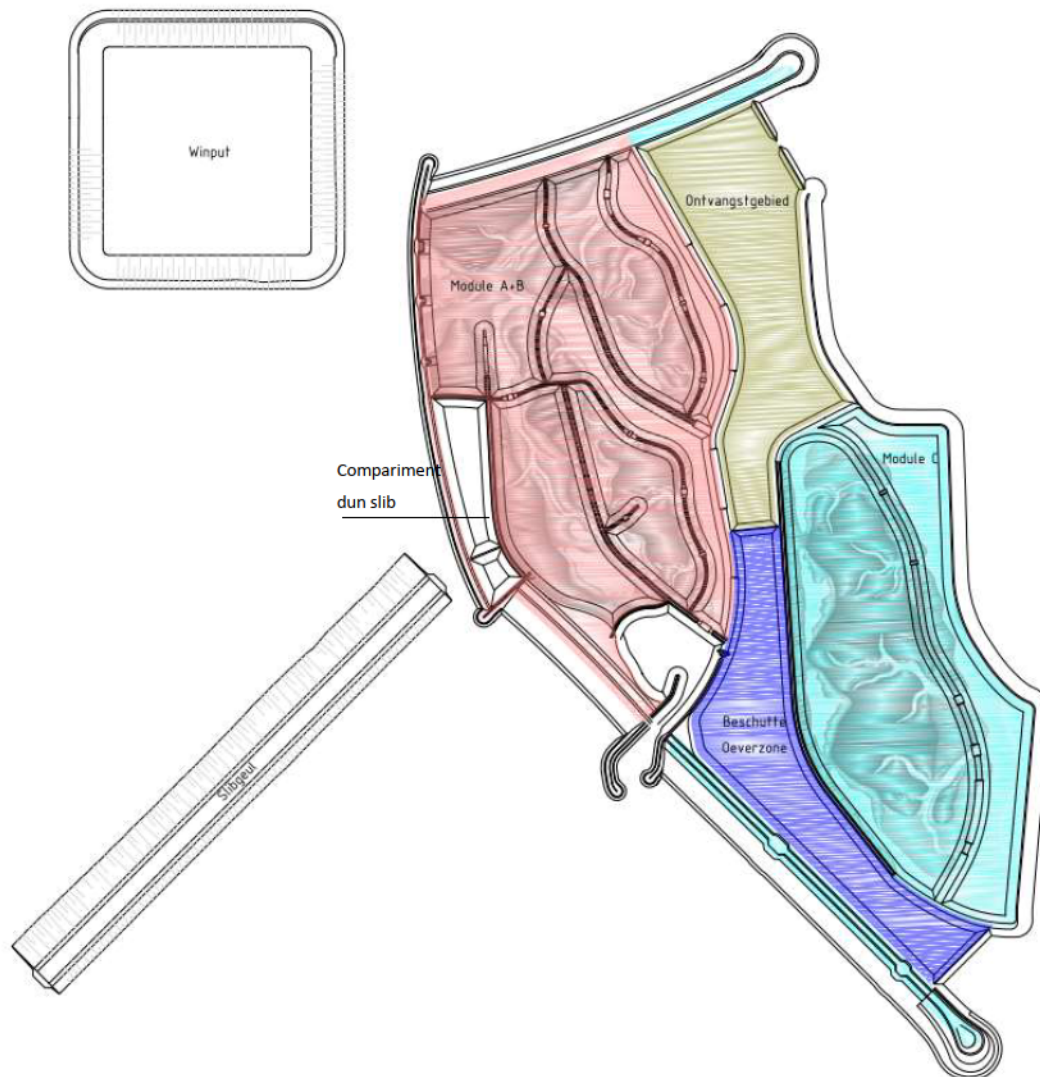
Hoofdpijnen, structuur, uitgangspunten, conclusies

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING ONTWERP	5
1. INLEIDING	8
1.1. Project en scope	8
1.2. Doel van het document	8
1.3. Leeswijzer	8
2. GERELATEERDE DOCUMENTEN	9
3. OBJECTSPECIFICATIE	10
3.1. Algemeen	10
3.2. Eisen Objecten	11
3.2.1. Eisen winput	12
3.2.2. Eisen slibgeul	12
4. UITGANGSPUNTEN	13
4.1. Ontwerpuitgangspunten	13
4.2. Grondgesteldheid	13
4.3. Omgeving	14
5. REALISATIE PRINCIPE	15
5.1. Eerste stap uitvoering	15
5.2. Materiaal winning en transport	15
5.3. Risicovolle raakvlakken	15
5.4. Veiligheid	16
6. ONTWERP WATERBODEMVERLAGINGEN	17
6.1. Algemeen	17
6.2. Ontwerpoplossing Winput	19
6.3. Ontwerpoplossing Slibgeul	21
6.4. Raakvlakken Waterbodemplagingen	22
6.5. Aanvullende uitvoeringseisen Waterbodemplagingen	22
6.6. Risico's Waterbodemplagingen	22
BIJLAGE 1. STABILITEIT ZANDWINPUT	
BIJLAGE 2. ANALYSE SLIBGEUL	

SAMENVATTING ONTWERP

In opdracht van Natuurmonumenten en Rijkswaterstaat realiseert Boskalis Nederland de Modules A en B van het Natuurarchipel Eerste Fase Marker Wadden. Het ontwerp richt zich op Modules A, B en C. Om deze modules te kunnen realiseren wordt materiaal gewonnen uit waterbodemplagingen bestaande uit een winput en een slijbgeul. Onderstaand figuur geeft het overzicht van de locatie van de waterbodemplagingen, benodigd voor de aanleg van de eilanden van de Marker Wadden.



Overzicht locatie Waterbodemplagingen

De functies van de waterbodemplagingen bestaande uit de winput en de slijbgeul zijn als volgt:

- Leveren van bouwmaterialen voor de aanleg van de natuureilanden
- Invangen en verzamelen van slijb.
Hierdoor wordt de hoeveelheid aan slijb dat onder stormsituaties vrijkomt verminderd. Dit heeft een gunstige invloed op de waterkwaliteit.
- Bieden nieuw habitat in de vorm van diep refugium.
De Marker Wadden bieden na realisatie meer diversiteit aan habitats dan in de huidige situatie het

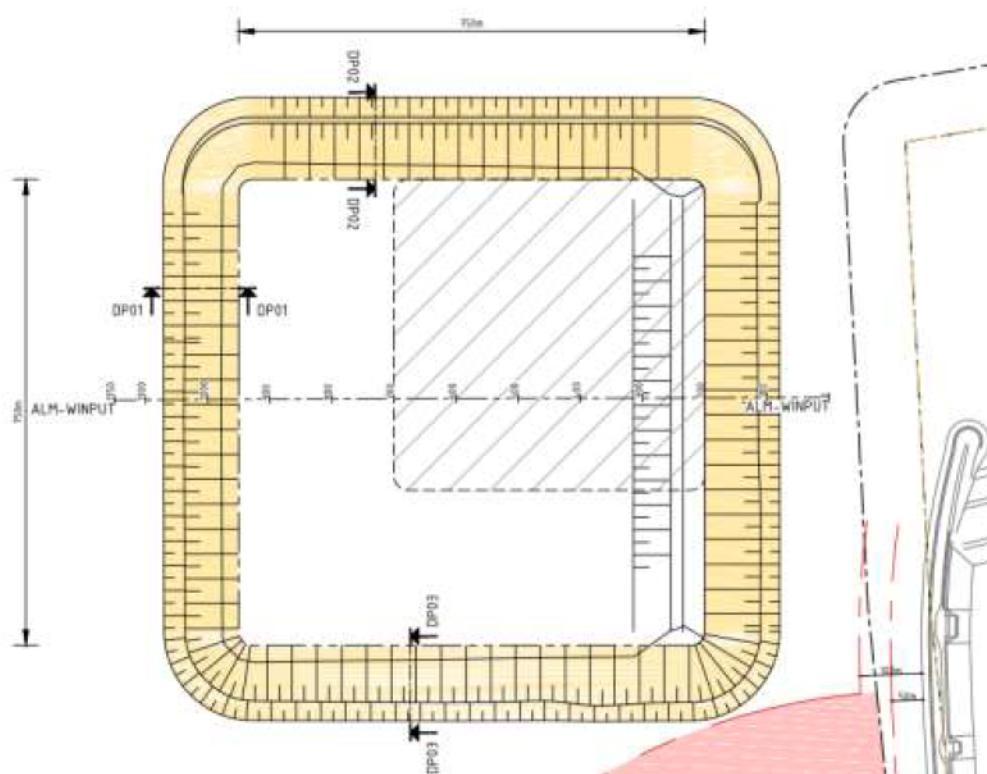
geval is. Zo bieden de waterbodemplageringen een leefomgeving en mogelijke rustplaats voor vissen.

Daarnaast heeft de winput als doel om een vervolg van de Marker Waden te vergemakkelijken door het bereikbaar maken van een hoeveelheid direct winbaar zand in de winput voor verdere aanbouw- en onderhoudswerkzaamheden.

De slibgeul heeft bijkomend als functie om bij te dragen aan het verwerven van kennis over de mate waarin slibmateriaal neerslaat in de geul. Ingevangen slib kan door Opdrachtgever overgebracht worden naar het Compartiment Dun Slib om experimenten uit te voeren over de geschiktheid van het materiaal als grondstof voor nieuwe eilanden.

Winput

De winput heeft een ontwerpdiepte van de putbodem van NAP-24,5m tot NAP-26,5m en breedte van 750m. Het talud in het holoceen is 1:4, in het pleistoceen 1:5. Aan de oostzijde van de put is een slibverzamelsleuf voorzien tot een diepte van NAP-35m met een talud van 1:7. De insteek van de winput is ruim 100m van de Marker Wadden verwijderd op het niveau van de bodem van het Markermeer.



Bovenaanzicht winput

Slibgeul

De slibgeul is 2km lang en 60 m breed op een diepte van NAP-10m. De oriëntatie is loodrecht op de harde rand westrand van de Markerwadden. De taluds naar de bodem van de slibgeul zijn vanaf meerbodem eerst flauw (1:75 en 1:25) worden steiler met 1:4 naar het diepste punt. De insteek van de slibgeul is ruim 50m van de Marker Wadden verwijderd op het niveau van de bodem van het Markermeer.



Bovenaanzicht slibgeul

1. INLEIDING

1.1. Project en scope

Natuurmonumenten en Rijkswaterstaat beogen in het Markermeer een archipel van natuureilanden te realiseren. Met de Eerste fase Marker Wadden wordt bedoeld op de aanleg van natuureilanden in 4 modules, genaamd A, B, C en D. Tot heden zijn middelen beschikbaar om modules A en B aan te leggen.

In September 2015 hebben Natuurmonumenten en Rijkswaterstaat opdracht verleend aan Boskalis Nederland tot de realisatie van modules A en B met als doel om een belangrijke bijdrage te leveren aan herstel en ontwikkeling van het ecosysteem van het Markermeer. Het voornemen is om dit te doen door een combinatie van maatregelen gericht op vermindering van de slibproblematiek van het Markermeer, het vergroten van de biodiversiteit door het ontwikkelen van moeras en overgangszones tussen water en land, waarin een vogelparadijs kan ontstaan. Modules A en B worden toegankelijk gemaakt voor recreatie door middel van een buitenhaven. Er wordt onder andere voorzien in zandstranden, wandelpaden, een uitkijktoren, vogelkijkhutten en een speelvallei.

In afstemming met Opdrachtgever is het ontwerp ingericht op modules A, B en C. In een latere fase is het mogelijk dat ook module D wordt toegevoegd aan de scope.

1.2. Doel van het document

Het voor u liggende document heeft de volgende doelen:

- het onderbouwen en beschrijven van de ontwerpplanning voor de waterbodemplagingen
- het beschrijven van de uitvoeringsmethode
- het aantonen dat het ontwerp aan de gestelde eisen voldoet
- het beschrijven van het proces om te borgen dat het beoogde resultaat wordt behaald

De objecten waarop dit document betrekking heeft zijn:

- de winput
- de slibgeul.

De afmetingen van de winput worden bepaald door de benodigde volumes holoceen en pleistoceen materiaal voor de aanleg van de eilanden. Gedurende de uitvoering wordt op basis van een adaptieve werkwijze (die in rapportage H13084-04-R01-1-VFRI is beschreven) het actuele ontwerp van de winput verfijnd en afgestemd op de voortschrijdende inzichten over de eigen gewicht consolidatie en de uitlevering.

1.3. Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de gerelateerde documenten, die in samenhang staan met dit voorliggende rapport. In het hierop volgende Hoofdstuk 3 worden de objecten en bijbehorende eisen uit de vraagspecificatie en EMVI documenten behandeld om het overzicht te geven welke randvoorwaarden gelden. Algemene uitgangspunten zijn in Hoofdstuk 4 opgenomen. In Hoofdstuk 5 wordt een toelichting gegeven op het ontwerp van de winput en de slibgeul. In Bijlage 1 is een risicobeschuiving voor de stabiliteit van de winput opgenomen. Bijlage 2 behandelt de oriëntatie en werking van de slibvanggeul.

2. GERELATEERDE DOCUMENTEN

De voorliggende rapportage maakt integraal onderdeel uit van een set rapporten ten behoeve van de technische onderbouwing van het object Eerste fase Marker Wadden. Een overzicht van de meest relevante documenten voor voorliggende ontwerpnota is gegeven in Tabel 1.

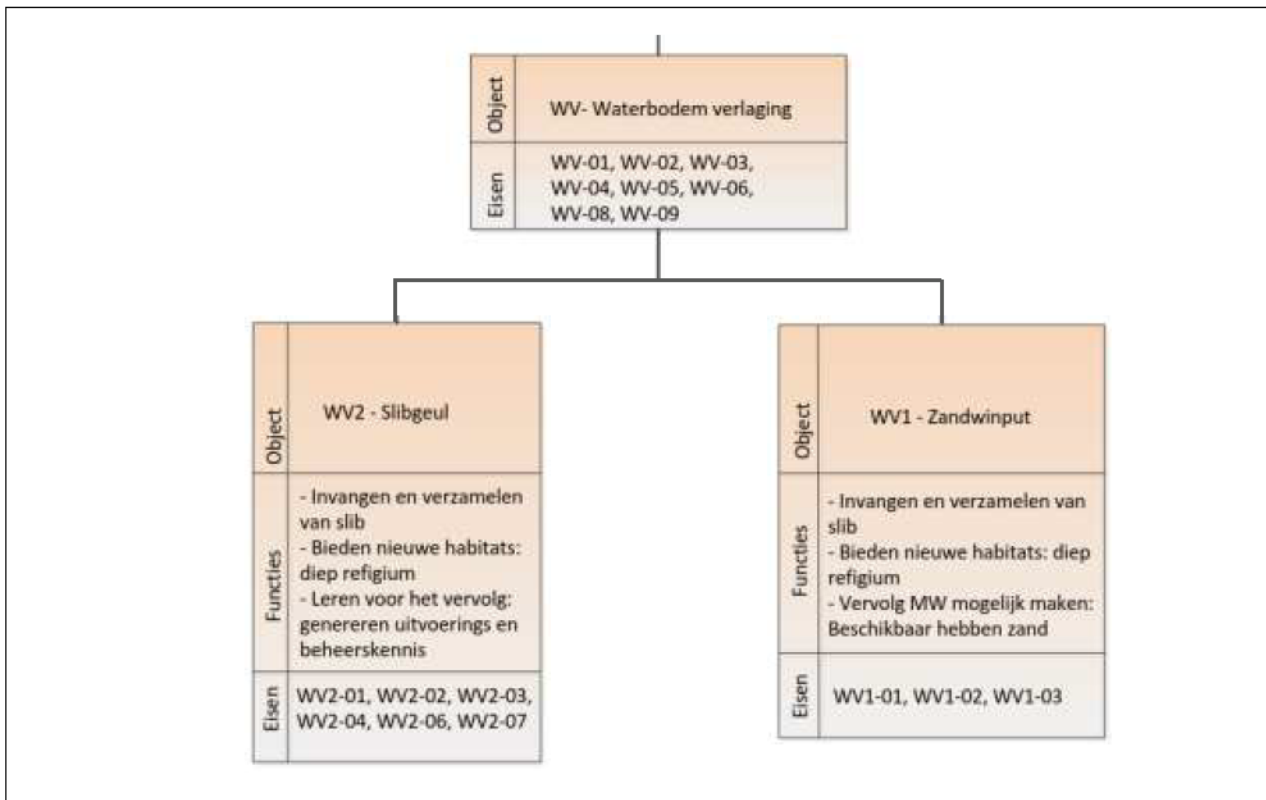
Titel	Documentnummer
Tekening Overzicht project	52812492-TEK-UO-0003, v1.0
Tekening Winput en slibgeul	52812492-TEK-UO-0015, v1.0
Tekening Locaties grondonderzoek	52812492-TEK-UO-0022, v1.0
Tekening Overzicht sonar- en gradicontacten	52812492-TEK-UO-0028, v1.0
Eerste fase Marker Wadden, Ontwerpnota Uo Moeras, Beschutte Oeverzone, Compartiment Dun Slib en Tijdelijke ontvangstvoorziening	H13084-04-R01-1-VFRI
Marker Wadden, Ontwerpbasis Geotechnisch Uitvoeringsontwerp	13084-04-R01-2-PTUR
Beoordeling positionering en oriëntatie slibgeul Marker Wadden	078776214 A
Risicoanalyse taludstabiliteit zandwinput	H13084-04-M01-1-MCSL
Verificatierapport UO Waterbodemplagingen	MW-VER-022
Verificatierapport proceseisen UO Waterbodemplagingen	MW-VER-028
ADC Archeo projecten, Voorlopige resultaten van Module 3: Inventariserend Veldonderzoek in de vorm van een verkennend booronderzoek	Briefrapport 4170387
Vooronderzoek Markerwadden, Sidescan sonar en gradiometer onderzoek van de waterbodem	ADC rapport 3770, maart 2015
Werk- en monitoringsplan Marker wadden ten behoeve van de ontgrondingsvergunning	ARCADIS, 04-12-2015
Vraagspecificatie Eisen Eerste Fase Marker Wadden	BA8757-107-101/R005/501063/402505/Nijm
Vraagspecificatie Proces Eerste Fase Marker Wadden	Zaaknummer 31091560 23 juni 2014 en 24 april 2015
Inschrijvingsdocument deel 1	Zaaknummer: 31091560 25 juni 2014
Inschrijvingsdocument deel 2	EMVI 2 Landschappelijke Kwaliteit Vogelparadijs
Inschrijvingsdocument deel 2	EMVI 3 Plan dun slib
Inschrijvingsdocument deel 2	EMVI 4 Risicobeheersplan

Tabel 1: Overzicht relevante documenten

3. OBJECTSPECIFICATIE

3.1. Algemeen

De objecten Zandwinput (WV1) en Slibgeul (WV2) vallen onder Waterbodemplaging (WV) en worden in deze nota behandeld.



Figuur 1: Objecten van toepassing op voorliggende nota

3.2. Eisen Objecten

In onderstaande paragrafen worden de eisen met betrekking de winput en de slibgeul behandeld. De eisen betreffen contracteisen uit de Vraagspecificatie Eisen en aanvullende eisen uit de aanbidding en EMVI beloftes. Deze laatste eisen hebben een aangepaste codering (letter 'E' toegevoegd in eis codering).

Code	Eistekst
WV-01	<p>Materialen welke uit het projectgebied zijn gewonnen dienen uitsluitend afkomstig te zijn uit het wingebied aangegeven op tekeningnr BA8757-107- 100-AF20140115.</p> <p>Toelichting: De eis is gesteld om te voorkomen dat er waterbodemplagingen plaatsvinden op locaties waar toekomstige modules/fasen (en dus waterbodemplagingen) zijn geprojecteerd.</p>
WV-03	<p>Een eenmaal ontgraven verlaging dient bij oplevering niet (meer) aangevuld te zijn.</p> <p>Toelichting: De ontstane gaten' in de waterbodem zijn van grote waarde voor de toekomstige natuurlijke invang van slib en als nieuwe gewenste habitat. Tijdelijke opvullingen met als doel tijdelijke depotvorming, zijn wel toegestaan mits deze opvullingen voor oplevering weer verwijderd zijn.'</p>
WV-05	<p>Binnen een zone van 1,0 km rondom de slibgeul WV2 dient er niet ontgraven te worden.</p> <p>Toelichting: Het slib in de 1 km zone rondom de 2 km slibgeul moet beschikbaar blijven voor de werkzaamheden in het kader van de innovatie-stelpost.</p>
WV-06	<p>De objecten WV1 zandwinput, WV2 slibgeul en WV3 oppervlakkige deklaag ontgravingen dienen materiaal te leveren voor de realisatie van de Marker Wadden.</p>
WV-09	<p>De insteek van het talud van een zandwinput of slibgeul dient minimaal 100m van de teen (op waterbodemplagingniveau) van een rand of eventuele vooroever te liggen.</p> <p>Toelichting: De afstand is voorgeschreven om de stabiliteit van de randen/dammen, ook op langere termijn, te waarborgen.</p> <p>Door VTW-001 is de minimale afstand van de slibgeul teruggebracht naar 50m. Er zijn 2 afgeleide eisen aangemaakt (eis WV-09 wordt door deze onderliggende eisen aangetoond):</p> <p>WV-A-01: De insteek van het talud van een zandwinput dient minimaal 100m van de teen (op waterbodemplagingniveau) van een rand of eventuele vooroever te liggen.</p> <p>WV-A-02: De insteek van het talud van een slibgeul dient minimaal 50m van de teen (op waterbodemplagingniveau) van een rand of eventuele vooroever te liggen.</p>
WV-10	<p>In afwijking op de eisen WV-02, WV-03 en WV-01 mag maximaal 1% van het opvulmateriaal benodigd voor rand en moeras gewonnen worden in het gebied voor de natuureilanden conform figuur 5: 'systeemgrenzen Eerste Fase Marker Wadden' (kaart BA8757-107-100-AF20140115), mits de ontstane verdiepingen bij oplevering weer tot het oorspronkelijk maaiveld zijn aangevuld. DF2, Nvl 4, MUT 16: Eis toegevoegd.</p>

3.2.1. Eisen winput

Code	Eistekst
WV1-01	Een zandwinput dient een stabiel dwarsprofiel conform de CUR aanbeveling 113 te hebben.
WV1-02	Een zandwinput dient niet dieper dan NAP-40 meter te zijn ontgraven DF2, Nvl 4, MUT 3: Eis gewijzigd.
WV1-03	Bij oplevering dient er minimaal 2,0 miljoen m ³ pleistoceen vergund, winbaar, ongeroerd zand beschikbaar te zijn in een zandwinput, bovenop de hoeveelheid die Opdrachtnemer nodig heeft voor het meerjarig onderhoud (zie de toelichting in Annex I). DF2, Nvl 4, MUT 4: Eis gewijzigd
WV1-04	De 2,0 miljoen m ³ zand genoemd in eis WV1-03 dient direct winbaar te zijn met een installatie die niet dieper reikt dan NAP-30 m zonder dat eerst ongeschikte gronden of slib verwijderd moeten worden.” Toelichting: onder direct winbaar wordt verstaan dat erboven geen ongeschikte grond aanwezig is (holocene lagen en te fijne zanden erboven zijn reeds verwijderd) en dat bezinkend slib niet blijft liggen op het winbare zand. DF2, Nvl 4, MUT 5: Eis toegevoegd.
WV1-E-01	In de winput wordt een onderwaterterras aangelegd van 10m breedte en een diepte van 12m.

3.2.2. Eisen slibgeul

Code	Eistekst
WV2-01	Een slibgeul dient dwars op de dominante slibstromen (aan de bodem) te liggen. Toelichting: Omdat de slibstromen aan de bodem sterk worden beïnvloed door de vorm van het bovenwater landschap heeft Opdrachtnemer hierin eveneens een ontwerp opgave.
WV2-02	Het object WV2 slibgeul dient op natuurlijke wijze dun slib in te kunnen vangen en te laten sedimenteren.
WV2-03	Een slibgeul dient op de bodem van de geul een breedte tussen de 60 en 120 meter te hebben en ter hoogte van de omringende waterbodemplafing een breedte van maximaal 300 m. Toelichting: Een smallere geul wordt geacht onvoldoende sedimentatie te bewerkstelligen, een te brede geul is eveneens niet effectief.
WV2-04	De bodem van een slibgeul dient te liggen tussen NAP-10 m en -12 meter. Toelichting: Een ondiepere geul heeft te weinig slib berging, een diepere geul leidt tot minder oppervlakte maaiveldverlaging (hetgeen gewenst is).
WV2-06	De slibgeul dient een lengte te hebben van 2,0 km. Toelichting: Deze 2,0 km geul is benodigd voor de werkzaamheden zoals beschreven bij de innovatie-stelpost (o.a. verzamelen dun-slib). Indien uit de modellering blijkt dat het slib-inzameland-vermogen van 2 of meer kortere geulen (met in totaal 2,0 km lengte) effectiever is dan 1 geul, dan is dat toegestaan.

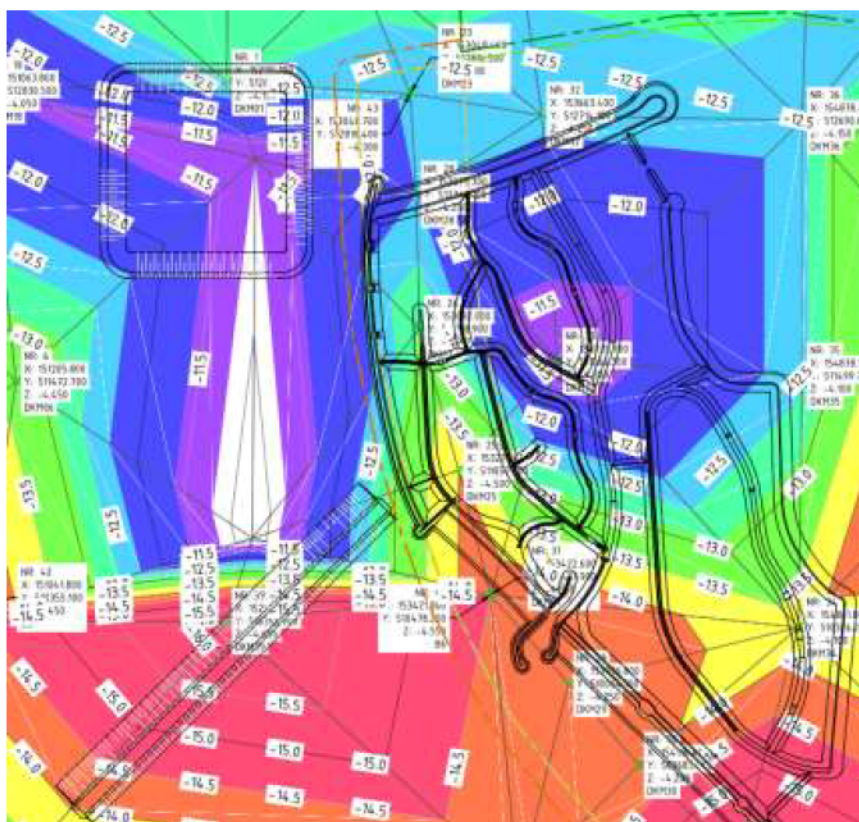
4. UITGANGSPUNTEN

4.1. Ontwerpuitgangspunten

- Het ontwerp richt zich op modules A, B en C samen.
- De afmetingen van de winput zijn bepaald voor de te verwachten maximaal benodigde volumes holoceen en pleistoceen materiaal voor de aanleg van de eilanden.

4.2. Grondgesteldheid

De grondgesteldheid in het projectgebied kenmerkt zich door een holocene laag van circa 7m tot circa 11m dikte met daar onder een pleistocene zandlaag, zie tekening 52812492-TEK-UO-0026.



Figuur 2: Laagdiepte pleistoceen zand

Ter plaatse van de winput is de laagdikte van de holocene laag circa 8m, bij de slibgeul is dit circa 8-11m. Voor de bepaling van de laagdiktes is gebruik gemaakt van geotechnisch onderzoek en archeologische boringen, voor een overzicht van de locaties zie tekening 52812492-TEK-UO-0022.

De Holocene laag is globaal als volgt opgebouwd:

- Bovenin de holocene laag wordt een laag kleiig/siltig tot zandig materiaal aangetroffen met een variabele dikte van ongeveer 1m.
- Onder boven genoemde laag bestaat de holocene laag voornamelijk uit slappe klei, waarbinnen lokaal veen kan voorkomen. Het volumieke gewicht van de holocene laag is in-situ circa 14kN/m^3 .

Voor meer informatie over de grondgesteldheid, zie Ontwerpbasis Geotechnisch Uitvoeringsontwerp 13084-1-R01-2-PTUR.

4.3. Omgeving

- De eilanden van de eerste fase Marker Wadden worden aangelegd in een grotendeels NGE onverdacht gebied. Lokaal zijn er NGE verdachte locaties aanwezig, de waterbodemplagingen worden echter buiten de verdachte locaties uitgevoerd, zie tekening 52812492-TEK-UO-0028.
- Ter plaatse van de eilanden van de eerste fase Marker Wadden en de waterbodemplagingen is verkennend archeologisch onderzoek uitgevoerd (Vooronderzoek Markerwadden, Sidescan sonar en gradiometer onderzoek van de waterbodem, ADC rapport 3770, maart 2015):
 - er zijn geen vondsten gedaan van scheepsarcheologie.
 - ter plaatse van de winput is een glooing gevonden in het zandprofiel. Op basis hiervan is aanvullend archeologisch onderzoek uitgevoerd, waardoor aanvullend onderzoek is uitgevoerd (briefrapport 4170387, Voorlopige resultaten van Module 3: Inventariserend Veldonderzoek in de vorm van een verkennend booronderzoek). Dit onderzoek wordt beoordeeld door de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed en indien de boringen het toelaten kan de dienst de locatie van de winput vrijgeven.
- Er zijn geen verontreinigingen aangetroffen binnen de systeemgrenzen op basis van het uitgevoerde waterbodemonderzoek (Rapport ATKB nr. 20151238/rap01_V02 d.d. 21 maart 2016).
- In juni 2015 is de ontgrondingsvergunning Marker Wadden verleend onder een aantal voorwaarden en voorschriften. Een van de voorwaarden is een werk- en monitoringsplan. Dit plan is opgesteld in december 2014 en beschrijft o.a. de uitvoeringswijze van de ontgraving.

5. REALISATIE PRINCIPE

5.1. Eerste stap uitvoering

Als basis voor de aanleg van de eilanden worden eerst onderwaterdammen aangebracht, die het vulmateriaal bestaande uit hoofdzakelijk holocene klei vasthouden. Deze dammen worden rond de buitenkant van modules A en B en rond module C aangebracht. De onderwaterdammen worden opgebouwd van zandig materiaal. De onderwaterdammen worden opgebouwd door een kraanschip vanaf het bodemniveau van het Markermeer op circa NAP-4,3m tot circa NAP-3,0m en eventueel voorzien van een beschermende laag.

5.2. Materiaal winning en transport

Ten westen van de eilanden van module A en B bevindt zich een winput. Een snijkopzuiger gaat op deze locatie holoceen materiaal winnen:

- het holoceen materiaal wordt gebruikt als vulling voor de realisatie van de eilanden en de ondiepe waterpartijen van de eerste fase Marker Wadden.
- het pleistocene zand wordt gebruikt voor de verdere opbouw van de randen en compartimenteringsdammen.

Het beoogde materiaal voor de aanleg van het moeras van de Marker Wadden bestaat voornamelijk uit holocene slappe klei, een laagje zavel en kleine hoeveelheden veen. Om dit materiaal zo efficiënt mogelijk te transporteren en aan te brengen is gekozen voor een hydraulische werkmethode. Dit houdt in dat materiaal met een snijkopzuiger uit de bodem van het Markermeer wordt losgemaakt en hydraulisch via een pijpleiding wordt getransporteerd naar de vulgebieden.

De huidige, in-situ dichtheid van het holocene materiaal is gemiddeld in de orde van 1400 kg/m^3 , zie paragraaf 4.2. Het materiaal zal in volume toenemen (uitleveren) doordat water wordt toegevoegd aan het in situ materiaal ten behoeve van het transport. Tijdens het transport en vullen wordt een dichtheid van het klei-water mengsel van circa 1175 kg/m^3 verwacht. Na aanbrengen van de vulling zal het uitgeleverde volume afnemen. Na aanbrengen zal de dichtheid van het materiaal toenemen en wordt een dieptegemiddelde dichtheid van circa 1250 kg/m^3 verwacht, waardoor de uitleveringsfactor circa 1,6 wordt. De uitleveringsfactor tussen de in-situ dichtheid van het holocene materiaal van 1400 kg/m^3 en het transport mengsel is circa 2,3.

Het werkplan MW-WP-002 beschrijft in meer detail het uitvoeringsprincipe en de fasering.

5.3. Risicovolle raakvlakken

- Het verloop en de samenstelling van de grondlagen en het consolidatiegedrag van het holocene materiaal na aanleg zijn onzeker. Hierdoor is ook het volume aan benodigd materiaal onzeker. Voor het ontwerp van de waterbodemplafing wordt in de voorbereidingsfase een zo goed mogelijke inschatting gemaakt van het materiaalgedrag, benodigde volumes en vertaling naar een geometrie van de waterbodemplafingen. Deze inschatting wordt tijdens de uitvoering geverifieerd en zo nodig aangepast. Tevens wordt de gevoeligheid rondom de verwachte volumes onderzocht en zal het ontwerp hier rekening mee houden betreffende mogelijke afmetingen van de winput.
- De waterbodemplafingen bevinden zich in de buurt van de landaanwinning. Om deze niet nadelig te beïnvloeden is een bepaalde afstand tussen de objecten nodig. De uit het ontwerp volgende afstanden en taluds moeten daarom in acht worden genomen.

5.4. Veiligheid

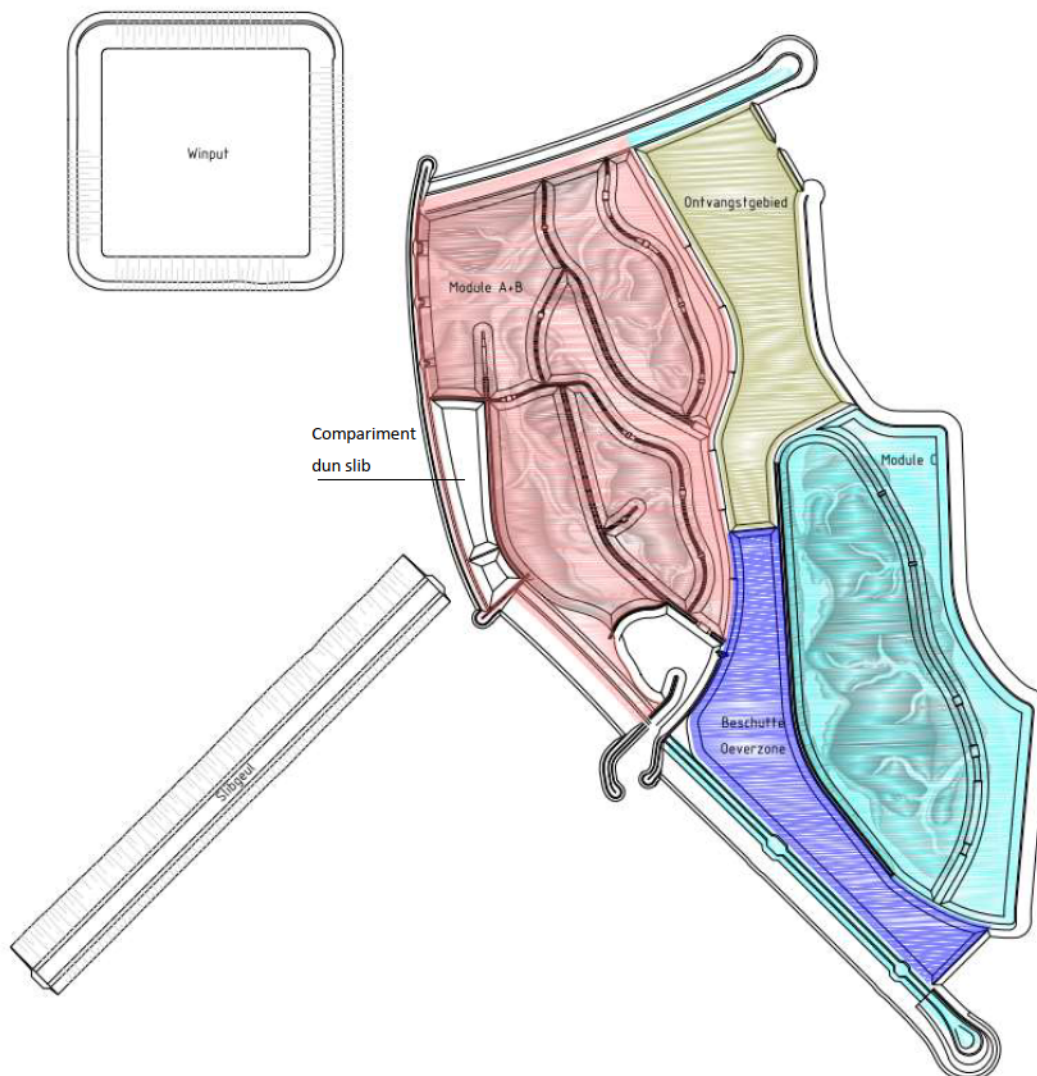
- Het grootste deel van het grondverzet vindt hydraulisch plaats, waardoor het grondverzet aan land wordt geminimaliseerd. In het algemeen levert hydraulisch werk minder veiligheidsrisico's op dan droog grondverzet.

6. ONTWERP WATERBODEMVERLAGINGEN

In onderstaande paragrafen worden de ontwerp oplossingen toegelicht.

6.1. Algemeen

De winput en slibgeul bevinden zich ten westen van de natuureilanden van de Marker Wadden. Tekening 52812492-TEK-UO-0003 en onderstaand Figuur geven een overzicht van de projectscope.

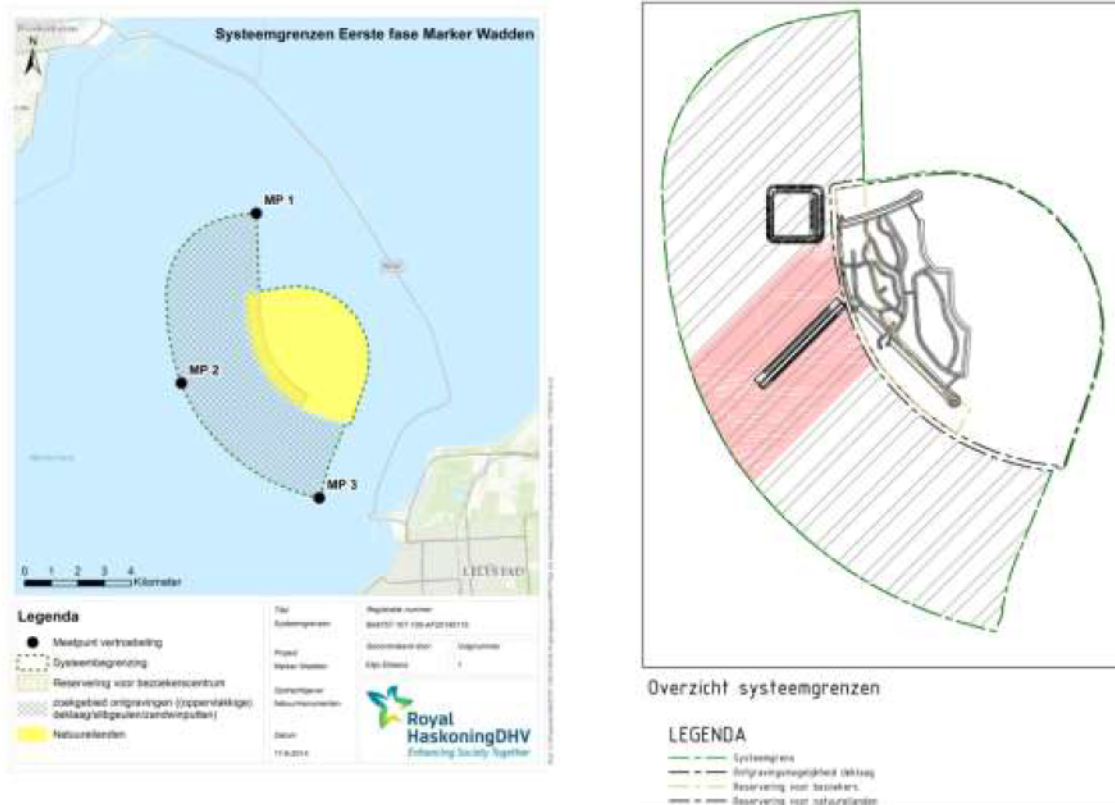


Figuur 3: Overzicht locatie winput en slibgeul

In deze paragraaf wordt beschreven hoe aan de eisen uit paragraaf 3.2 wordt voldaan.

- WV-01 Materialen welke uit het projectgebied zijn gewonnen dienen uitsluitend afkomstig te zijn uit het wingebed aangegeven op tekening BA8757-107-100-AF20140115. In tekening 52812492-TEK-UO-0015 is de locatie van de winput en de slibgeul gecontroleerd met de systeemgrenzen en de gebieden voor deklaagontgraving. In Figuur 4 is de het overzicht gegeven

van de ligging van de waterbodemplagering ten opzichte van deze gebieden (links: tekening BA8757-107-100-AF20140115, rechts: tekening 52812492-TEK-UO-0015).



Figuur 4: Overzicht systeemgrenzen

- Een eenmaal ontgraven verlagings dient bij oplevering niet aangevuld te zijn (WV-03). De ontstane verlagings in de waterbodemplagering zullen dienen als nieuw habitat voor vissen en als slibvang. Opvullingen met als doel tijdelijke depotvorming zijn toegestaan, maar dienen voor oplevering weer verwijderd te zijn. In tekening 52812492-TEK-UO-0015 is een toelichting opgenomen dat de verlagings bij opleveren niet opgevuld mogen zijn.
- Binnen een zone van 1,0 km rondom de slibgeul dient er niet ontgraven te worden (WV-05). In tekening 52812492-TEK-UO-0015 is weergegeven dat binnen deze zone geen waterbodemplagering uitgevoerd wordt. Dit gebied is tevens roze gearceerd in Figuur 4.
- De objecten zandwinput en slibgeul leveren materiaal voor de realisatie van de Marker Wadden (WV-06). Deze waterbodemplageringen bevinden zich ten westen van de toekomstige eilanden. Een snijkopzuiger gaat hier materiaal winnen:
 - het holoceen materiaal wordt gebruikt als vulling voor de realisatie van de eilanden en de ondiepe waterpartijen van de eerste fase Marker Wadden.
 - het pleistocene zand wordt gebruikt voor de verdere opbouw van de randen en compartimenteringsdammen.

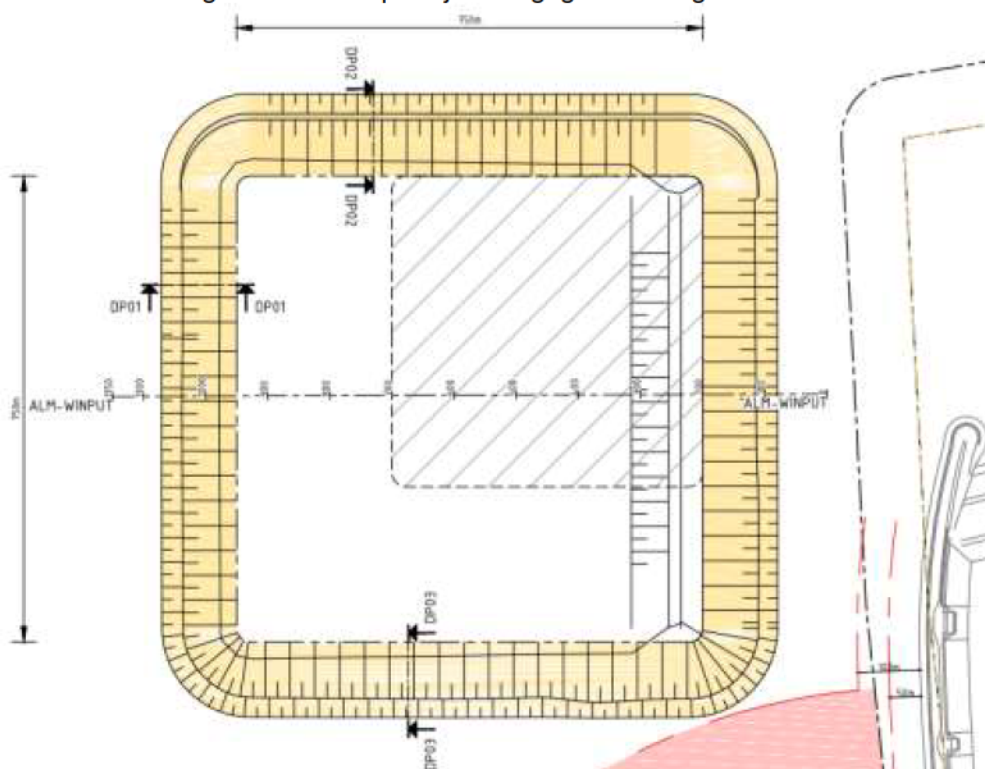
In paragraaf 6.2 wordt nader ingegaan op de vorm van de winput om voldoende materiaal voor de eilanden en randen beschikbaar te kunnen stellen.

- De insteek van het talud van een winput ligt buiten de 100m contourlijn van de teen op het waterbodemplageniveau van een rand of eventuele vooroever gelegen (WV-A-01). Tekening 52812492-TEK-UO-0015 geeft de afstand tussen de waterbodemplageringen en de landaanwinning weer.

- De insteek van het talud van een slibgeul ligt buiten de 50m contourlijn van de teen op het waterbodemplaf van een rand of eventuele vooroever gelegen (WV-A-02). Tekening 52812492-TEK-UO-0015 geeft de afstand tussen de waterbodemplafingen en de landaanwinning weer.
- Er wordt geen materiaal voor rand en moeras gewonnen in het gebied met bestemming natuureilanden uit tekening BA8757-107- 100-AF20140115. Hierdoor wordt voldaan aan eis WV10.

6.2. Ontwerpoplossing Winput

De locatie en afmetingen van de winput zijn weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5: Locatie en afmetingen winput

- De zandwinput heeft een stabiel dwarsprofiel conform de CUR aanbeveling 113 (WV1-01). De resultaten van de risicobeschouwing zijn samengevat in H13084-04-M01-1-MCSL en opgenomen in Bijlage 1. Deze beschouwing geeft de toelaatbare taluds voor de zandwinput. In paragraaf 6.5 wordt ingegaan op de mogelijke taluds van de winput.
- De zandwinput wordt niet dieper dan NAP-40 meter ontgraven (WV1-02). De diepteligging van de winput blijft boven deze dieptelijng en is weergegeven in tekening 52812492-TEK-UO-0015.
- Bij oplevering dient er minimaal 2,0 miljoen m³ pleistoceen vergund, winbaar, ongeroerd zand beschikbaar te zijn in een zandwinput, bovenop de hoeveelheid die Opdrachtnemer nodig heeft (WV1-03). Dit volume moet direct winbaar te zijn met een installatie die niet dieper reikt dan NAP-30 m zonder dat eerst ongeschikte gronden of slib verwijderd moeten worden (WV1-04). De vormgeving van de winput is gedreven door het door Boskalis benodigde volume materiaal en het additioneel geëiste volume zand voor Opdrachtgever. De taluds in holoceen materiaal zijn 1:4 en in het pleistoceen zand 1:5. De overgang van het holocene klei naar pleistoceen zand is bepaald op basis van boringen en ligt op circa NAP-12,5m.



Figuur 6: Dwarsprofiel zuidkant winput

Rekening houdend met de verwachte uitlevering van de materialen is het benodigde volume bepaald en zijn de te verwachten boven- en ondergrens van de benodigde hoeveelheden onderzocht. Op basis van een digitaal ontwerpmodel zijn de passende afmetingen van de winput vastgesteld. Tekening 52812492-TEK-UO-0015 geeft de afmetingen van de winput voor de ruimste inschatting voor de benodigde volumes holoceen en pleistoceen materiaal. Op de bodem van de put bereikt de put een breedte van 750m.

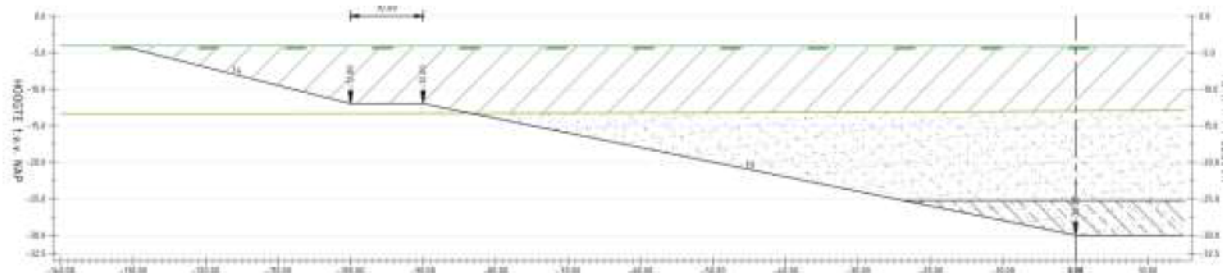
De volumereservering van 2 miljoen m³ zand voor Opdrachtgever is weergegeven op tekening 52812492-TEK-UO-0015. In het lengteprofiel is weergegeven tussen welke dieptes dit volume beschikbaar is over de bodem van de winput. Om te voorkomen dat bezonken slib blijft liggen op het winbare zand wordt de bodem boven de 2 miljoen m³ zand onder een talud aangelegd. Hiervoor wordt een verhang van 2m (NAP-24,5m naar NAP-26,5m) over circa 660m van de bodem van de put aangebracht zodat het waterige slib naar dieper gelegen delen van de put kan stromen. Aan de oostzijde van de winput is een verzamelsleuf ontworpen waarin slib kan worden geborgen. Indien het slib niet vanzelf in het verzamelbekken stroomt kan door middel van water injectie een slibstroom op gang worden gebracht richting het verzamelbekken.

De snijkopzuiger die voor de baggerwerkzaamheden wordt ingezet heeft een dieptebereik van circa NAP-26m. Om een dieper gelegen verzamelbekken voor slib aan te brengen kan eventueel een winzuiger worden ingezet.



Figuur 7: Lengteprofiel winput van oost naar west

- Aan de noordzijde van de winput wordt een onderwaterterras van 10m breedte aangelegd op een diepte van NAP-12m (WV1-E-01) ten behoeve van bevordering van de leefomgeving voor bodemfauna. Dit terras is weergegeven in tekening 52812492-TEK-UO-0015.



Figuur 8: Dwarsprofiel noordelijk talud winput met onderwaterterras

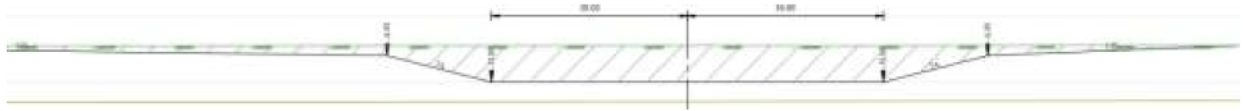
6.3. Ontwerpoplossing Slibgeul

- De slibgeul ligt dwars op de dominante slibstromen aan de bodem (WV2-01). De oriëntatie van de slibgeul is getoetst in rapportage 'Beoordeling positionering en oriëntatie slibgeul Marker Wadden' 078776214 A. Deze rapportage is opgenomen in Bijlage 2. Tekening 52812492-TEK-UO-0015 geeft de locatie en oriëntatie weer, zie ook Figuur 9.



Figuur 9: Bovenaanzicht slibgeul

- Het object WV2 slibgeul dient op natuurlijke wijze dun slib in te kunnen vangen en te laten sedimenteren (WV2-02). De optimale ligging voor het natuurlijk invangen en sedimenteren van slib is aangetoond in rapportage 078776214 A (Bijlage 2).
- De slibgeul dient op de bodem van de geul een breedte tussen de 60 m en 120 m te hebben en ter hoogte van de omringende waterbodemplafing een breedte van maximaal 300 m (WV2-03). Deze afmetingen zijn vastgesteld omdat een smallere geul naar verwachting onvoldoende sedimentatie bewerkstelligt om voldoende materiaal in te vangen voor een goede uitvoering van de experimenten in het Compartiment Dun Slib. De afmetingen van de slibgeul zijn weergegeven op tekening 52812492-TEK-UO-0015 en voldoen aan eis WV2-03.
- De bodem van een slibgeul dient te liggen tussen NAP-10 m en -12 m (WV2-04). Een ondiepere geul heeft te weinig slib berging, een diepere geul leidt tot minder oppervlakte maaiveldverlaging. De afmetingen van de slibgeul zijn weergegeven op tekening 52812492-TEK-UO-0015 en voldoen aan de eis.
- De taluds van de slibgeul zijn zodanig gekozen dat de dieptes vanaf bodemniveau langzaam toenemen en de stroming kan vertragen zodat sedimentatie van slib plaats kan vinden. Het talud aan de noordzijde dat de stroming moet verlagen is gekozen als 1:75. Vanaf een diepte van NAP-6m wordt het talud steiler met 1:4 naar het bodemniveau van de slibgeul, waarin met materiaal geborgen wordt. Het talud aan de zuidzijde van de slibgeul gaat ook met 1:4 naar NAP-6m om vervolgens met 1:25 weer aan te sluiten op de Markermeerbodem, zie 52812492-TEK-UO-0015 en Figuur 10 .



Figuur 10: Dwarsprofiel slibgeul

- De slibgeul dient een lengte te hebben van 2,0 km (WV2-06). Deze 2,0 km geul is benodigd voor werkzaamheden van de innovatie-stelpost. De afmetingen van de slibgeul zijn weergegeven op tekening 52812492-TEK-UO-0015 en voldoen aan de eis. De lengte van de slibgeul is op het bodemniveau van het Markermeer gemeten.

6.4. Raakvlakken Waterbodemplagingen

Zoals reeds in paragraaf 5.3 benoemd zijn de belangrijkste raakvlakken:

- Het verloop en de samenstelling van de grondlagen en het consolidatiegedrag van het holocene materiaal na aanleg zijn onzeker. Hierdoor is ook het volume aan benodigd materiaal onzeker. Voor het ontwerp van de waterbodemplaging wordt in de voorbereidingsfase een zo goed mogelijke inschatting gemaakt van het materiaalgedrag, benodigde volumes en vertaling naar een geometrie van de waterbodemplagingen. Deze inschatting wordt tijdens de uitvoering geverifieerd en zo nodig aangepast. Tevens wordt de gevoeligheid rondom de verwachte volumes onderzocht en zal het ontwerp hier rekening mee houden betreffende mogelijke afmetingen van de winput.
- De waterbodemplagingen bevinden zich in de buurt van de landaanwinning. Om deze niet nadelig te beïnvloeden is een bepaalde afstand tussen de objecten nodig. De uit het ontwerp volgende afstanden en taluds moeten daarom in acht worden genomen.

6.5. Aanvullende uitvoeringseisen Waterbodemplagingen

- De toleranties op de ontwerpafmetingen van de winput en slibgeul dienen maximaal 2m te bedragen in verticale en 10m in horizontale richting.
- De taluds van de winput dienen in holoceen kleilagen 1:4 of flauwer en in pleistocene zandlagen 1:5 of flauwer te bedragen.
- Het zuigproces dient te worden beheerst door monitoring van de zuigbuis positie en de productie.
- De gebaggerde taluds dienen regelmatig te worden gepeild.
- Het consolidatie- en uitleveringsgedrag van het holocene materiaal bepaalt samen met het zettingsgedrag van de ondergrond de benodigde volumes uit de winput en de slibgeul. Op basis van de adaptieve werkwijze (die in rapportage H13084-04-R01-1-VFRI is beschreven) dient het actuele ontwerp van de winput te worden verfijnd en afgestemd op de voortschrijdende inzichten over de eigen gewicht consolidatie en de uitlevering.

6.6. Risico's Waterbodemplagingen

- Er is een reële kans dat aan de eis dat 2 miljoen m³ zand voor Oprachtgever boven NAP-30m beschikbaar dient te zijn (WV1-04) niet kan worden voldaan door volgende oorzaken:
 - een eenmaal ontgraven verlagingsput dient bij oplevering niet (meer) aangevuld te zijn (WV-03). Dit betekent dat tijdelijk omputten mogelijk is maar dat bijvoorbeeld holoceen materiaal na ontgraven niet meer in de put mag worden achtergelaten bij opleveren. De benodigde volumes holoceen materiaal vormen een grote onzekerheid (grotere onzekerheid dan bij het pleistocene zand) bij het bepalen van de afmetingen van de winput. Voor het bepalen van de afmetingen van de winput is een voor het ruimtebeslag conservatieve benadering gekozen. De verwachte bovengrens van benodigd holoceen materiaal bepaalt in dit

ontwerp het benodigde ruimtebeslag van de winput. Naar verwachting is minder volume holoceen nodig voor de aanleg van de eilanden dan bij het huidige ontwerp is verondersteld. Als minder holoceen nodig is dan volgens het huidige ontwerp is een winput met kleinere dwarsafmetingen benodigd om niet teveel holoceen materiaal over te houden. Tegelijkertijd blijft zand onder de holocene laag benodigd voor de aanleg van de eilanden. Gevolg is dat naar verwachting onvoldoende zand bereikbaar is voor de snijkopzuiger boven NAP-26,5m. Om toch voldoende zand te winnen moet daarom de diepte van de winput worden vergroot middels de inzet van een steekzuiger. Hierdoor blijft dan ook niet meer voldoende materiaal boven NAP-30m over om aan eis WV1-04 (2 miljoen m³ winbaar zand voor Opdrachtgever) te kunnen voldoen.

- Ondanks een zorgvuldige planvorming is instabiliteit van taluds of bresvorming denkbaar, waardoor de afmetingen van de put kunnen afwijken van de ontwerptekeningen. De afstanden tussen de waterbodemplagingen en de randen van de eilanden zijn groot, waardoor dit risico naar verwachting een gering vervolg risico met zich introduceert voor de stabiliteit van de eilandranden.
- Archeologisch onderzoek dient dekkend te zijn met de afmetingen van de winput. Indien het ruimtebeslag van de winput afwijkt met het archeologisch onderzochte gebied moet rekening worden gehouden met aanvullend archeologisch onderzoek.
- Indien archeologische vondsten worden gedaan kan de realisatie vertraging oplopen.

BIJLAGE 1. STABILITEIT ZANDWINPUT

Aan
 Projectteam Markerwadden

Van

Kopie
 (review)

Datum
 10 december 2015

Kenmerk
 H13084-04-M01-1-MCSL

Pagina
 1 | 8

MEMO

Risicoanalyse taludstabiliteit zandwinput

Inleiding

Op dit moment zijn de ontwerp- en voorbereidende werkzaamheden ten behoeve van de aanleg van de Markerwadden in volle gang. Een onderdeel hiervan is het beschouwen van het risico op taludinstabiliteit van de te realiseren zandwinput.

Voor het opstellen van deze eenvoudige risico beschouwing is gebruik gemaakt van de CUR 113, 'Oeverstabiliteit bij zandwinputten'.

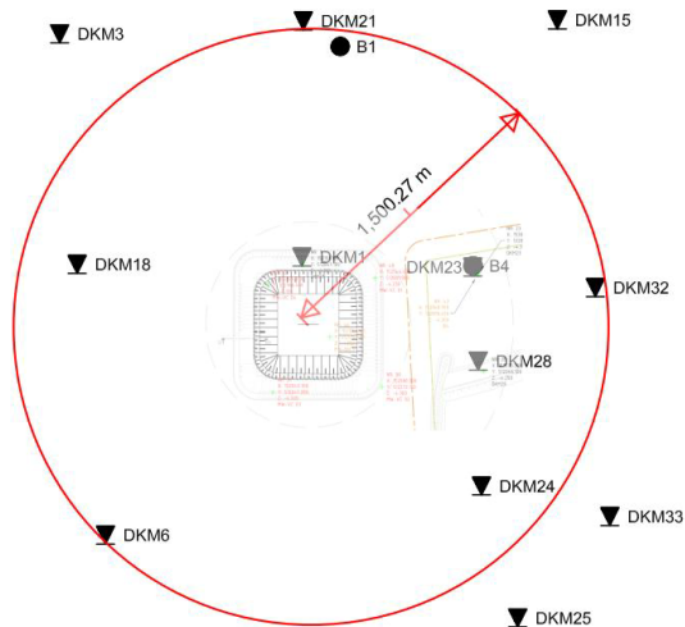
Uitgangspunten

In onderstaande tabel is een overzicht van de contracteisen weergegeven.

Tabel 1: overzicht contracteisen zandwinput

1.2.1 - WV1 - Zandwinput			
Code	Eistitel	Eistekst	Toelichting OG
WV1-04	Direct winbaar zand	De 2,0 miljoen m3 zand genoemd in eis WV1-03 dient direct winbaar te zijn met een installatie die niet dieper reikt dan NAP-30 m zonder dat eerst ongeschikte gronden of slib verwijderd moeten worden. ^a	Toelichting: onder direct winbaar wordt verstaan dat erboven geen ongeschikte grond aanwezig is (holocene lagen en te fijne zanden erboven zijn reeds verwijderd) en dat bezinkend slib niet blijft liggen op het winbare zand. DF2, Nvl 4, MUT 5: Eis toegevoegd
WV1-02	Diepte zandwinputten	Een zandwinput dient niet dieper dan NAP-40 meter te zijn ontgraven DF2, Nvl 4, MUT 3: Eis gewijzigd	
WV1-03	Zand in zandwinput	Bij oplevering dient er minimaal 2,0 miljoen m3 pleistoceen vergund, winbaar, ongeroerd zand beschikbaar te zijn in een zandwinput, bovenop de hoeveelheid die Opdrachtnemer nodig heeft voor het meerjarig onderhoud (zie de toelichting in Annex I). DF2, Nvl 4, MUT 4: Eis gewijzigd	
WV1-01	Stabiliteit zandwinputten	Een zandwinput dient een stabiel dwarsprofiel conform de CUR aanbeveling 113 te hebben.	verificatiemethode door OG: eenvoudige risicobeschouwing conform CUR113

Een overzicht van het beschikbare grondonderzoek (sonderingen) is weergegeven in figuur 1.



Figuur 1: Overzicht omliggend grondonderzoek Fugro en locatie zandwinput.

Er is 1 sondering beschikbaar ter plaatse van de putlocatie. Voor deze analyse wordt de sondeerresultaten van sondering DKM1 zoals bijgevoegd in bijlage 1, als representatief gezien voor de ondergrond ter plaatse van de zandwinput.

Hierbij wordt opgemerkt dat er een blinde vlek in de ondergrond zit waarvan niet kan worden uitgesloten dat lokaal een oude stroomgeul (klei zandig) wordt aangetroffen binnen de contouren van de zandwinput. Het gaat hier specifiek om de ondergrond beneden de -29 m NAP. De meeste sonderingen (waaronder DKM1) zijn niet dieper uitgevoerd dan -29 m NAP, het is aannemelijk dat vanwege de fors oplopende conusweerstand in het vastgepakte pleistocene zand de sondering is gestopt. Sondering DKM 18 is hierop een uitzondering, waar van -25 tot -44 m NAP een diepe insnijding in het pleistocene zand is aangetroffen. Door middel van aanvullende sonderingen met waterspanning (u_2) tot een diepte van -40 m NAP is het mogelijk de grondgesteldheid op grotere diepte in kaart te brengen.

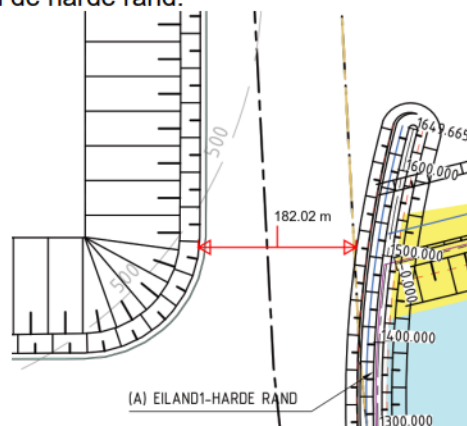
Analyse

Een beschouwing van de taludstabiliteit volgens de eenvoudige methode is samengevat in tabel 2 uit de CUR 113 (deel A) en gaat in op drie faalmechanismen, te weten; afschuiving (macrostabiliteit), verwekingsvloeiing (ofwel zettingsvloeiing) en bresvloeiing. Voor elk van deze faalmechanismen zal een analyse worden uitgevoerd.

Afschuiving

Controle op de volgende voorwaarden is uitgevoerd;

- Indien er een gronddepot of andere bovenbelasting vlak langs de oever wordt aangebracht, dient hiervoor de invloed hiervan op de stabiliteit beschouwd te worden. Vlak langs de oever is in dit geval gekwantificeerd als; “de kruin van het depot zich bevindt op een horizontale afstand tot de waterlijn die kleiner is dan 5 maal de hoogte van de kruin boven de waterlijn”. Zie figuur 2 voor de minimale afstand tussen zandwinput en de harde rand.



Figuur 2: Afstand tussen insteek talud en harde rand minimaal 180 m¹

Gezien de grote afstand tot insteek van de zandwinput en de relatief flauwe taluds (DWP 5, 1:4 boven waterlijn en 1:7 onder waterlijn) wordt geconcludeerd dat de harde rand geen invloed heeft op de stabiliteit van de zandwinput (dit wordt bevestigd door berekening Dgeostability).

- De cohesieve lagen zijn zover bekend meegenomen in onderstaande berekening.
- De gekozen hellingen zijn flauwer dan 1:3. De volgende hellingen zijn aangenomen in de berekening:
 - Talud van 1:4 in klei/veen pakket van -4,3 m NAP tot -12,5 m NAP
 - Talud van 1:4,67 in zand (-12,5 tot -38 m NAP).

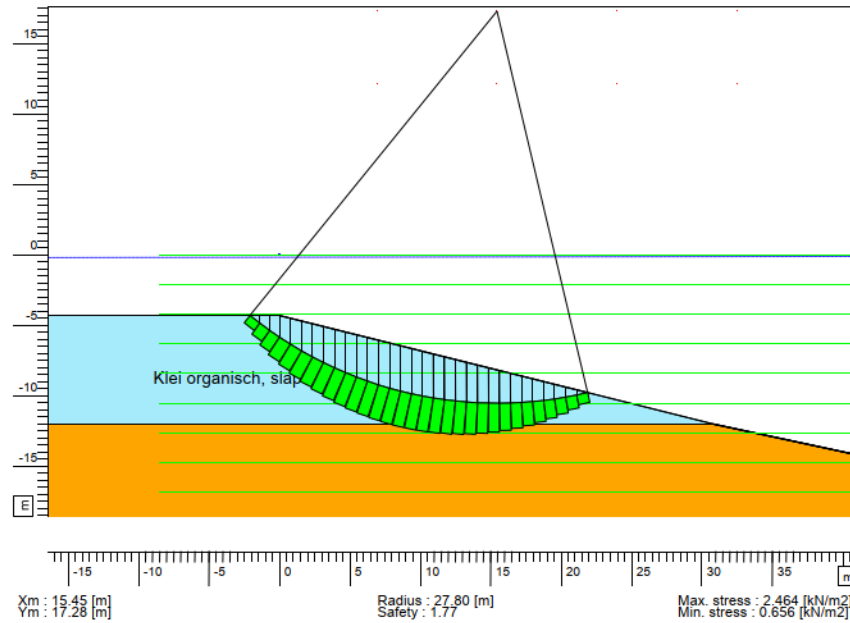
Omdat aan 1 van voorgaande voorwaarden niet wordt voldaan (namelijk aanwezigheid van cohesieve lagen) is een stabiliteitsberekening volgens methode Bishop met geschatte grondparameters uit tabel 2.b. uit de Eurocode uitgevoerd.

Tabel 2 geeft een overzicht van de grondopbouw ter plaatse van de zandwinput (DKM 1) en geschatte grondparameters volgens de Eurocode.

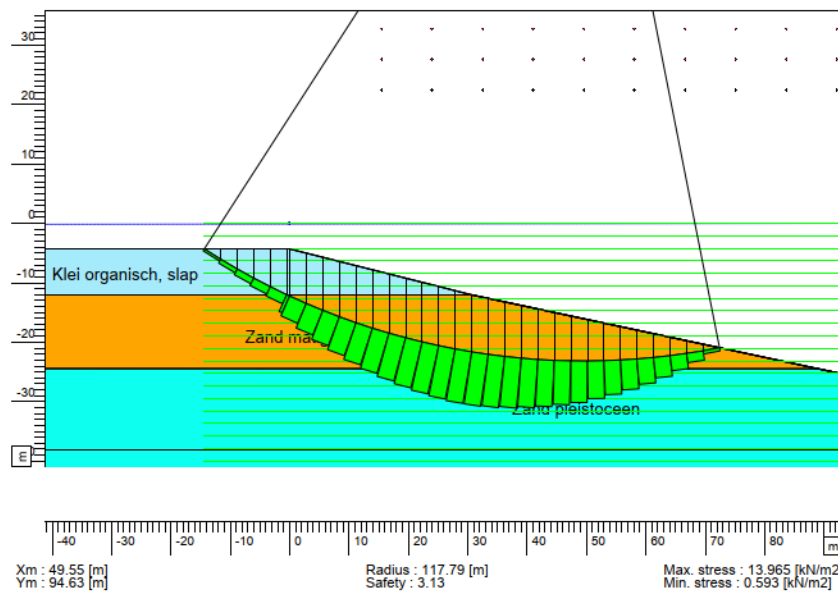
Tabel 2: Grondopbouw en sterkteparameters conform tabel 2.b. uit de Eurocode.

GRONDSOORT	VAN	TOT	C (KPA)	PHI (DEGREES)
Klei, organisch, slap	-4.30	-12.5	1	15
Zand, matig fijn	-12.5	-24.5	0	27
Zand, pleistoceen (grof)	-24.5	-38.0	0	35

Het resultaat hiervan is weergegeven in figuur 3a (ondiep glijcirkel) en 3b (diepe glijcirkel).



Figuur 3a: resultaat stabiliteit ondiepe glijcirkel



Figuur 3b: resultaat diepe stabiliteit ondiepe glijcirkel

De veiligheidsfactor voor zowel de ondiepe glijcirkel (1.77) als voor de diepe glijcirkel (3.13) voldoet aan de minimaal vereiste veiligheidsfactor van 1.6 conform CUR 113 (A 7.5, tabel 4).

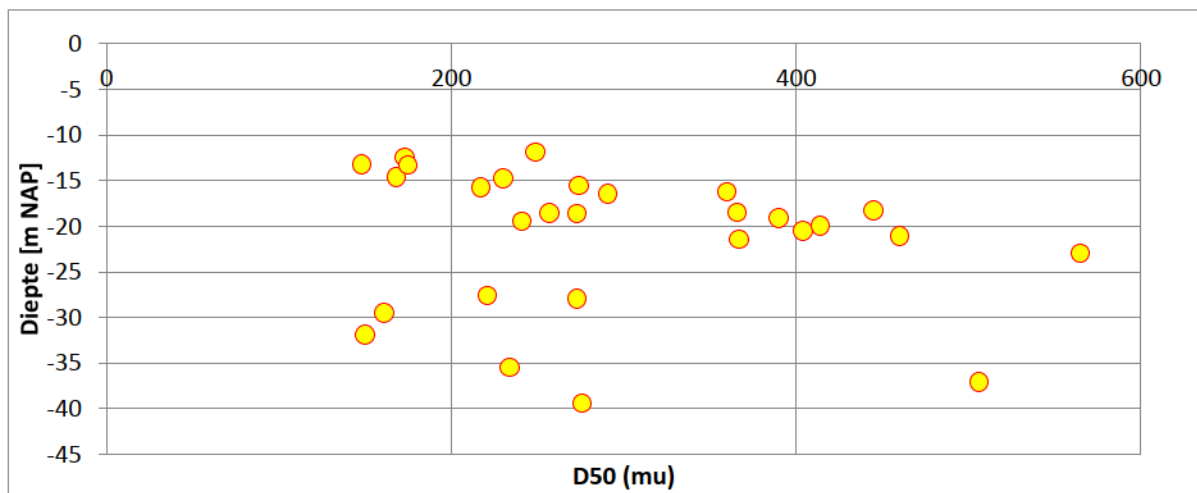
Verwekingsvloeiing

Sondering DKM 1 voldoet aan een vereiste relatieve dichtheid van 50% volgens de correlatie volgens Baldi et al (1986). De resultaten van de gecorrigeerde sonderingwaarde inclusief correlaties zijn gepresenteerd in bijlage 1. Tevens is de correlatie met de state parameters getoond (zie voor uitleg CUR 113, paragraaf 5.5.4). Voor de zandlagen (vanaf -12.5 m NAP) blijkt dat de afgeleide stateparameter lager is dan -0.07 waaruit kan worden afgeleid dat deze laag niet verwekingsgevoelig is.

Bresvloeiing

Controle op de volgende voorwaarden is uitgevoerd:

- Dikke stoorlagen worden verwijderd met geschikt materieel. Het betreft hier het de ca 8 m dikke laag organische klei. Het onderliggende zand dient voldoende grof te zijn. Criterium hiervoor is $D_{50} > 200$ μ m en $D_{15} > 130$ μ m. Zie figuur 5 voor een overzicht van de D_{50} over de diepte. Te zien valt dat de D_{50} waarde toeneemt in de diepte. De gemiddeld D_{50} is 296 μ m. Met uitzondering van enkele dunne laagjes fijner zand direct onder het klei/veen pakket rond de -13 m NAP wordt aan beide criteria wordt voldaan.



Figuur 5: Overzicht verschillende waarde voor D_{50} (μ m) uitgezet tegen de diepte (m NAP).

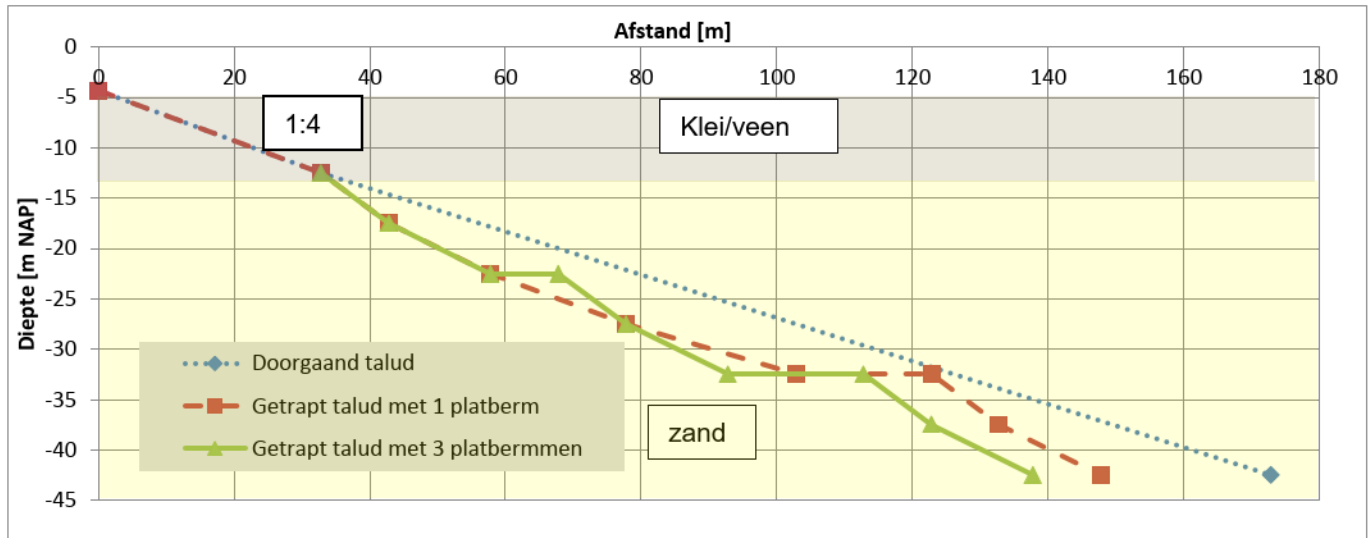
- Er dient een werkplan voor de uitvoering te zijn vastgesteld.
- Zuigproces dient te worden beheerst door monitoring van positie zuigbuis en productie.
- Gezogen taluds dienen regelmatig te worden gepeild.

Een aantal van voorgaande eisen dien te worden opgenomen in een keuringsplan en worden geverifieerd voor start uitvoering. Volgens de CUR 113 kan vervolgens de taludhelling worden bepaald op basis van tabel 2b. Criteria in deze tabel is de te realiseren putdiepte (waarvan wordt verondersteld dat dit de diepte in het zand is) en de grofheid van het zand (twee criteria voor D_{50} en D_{15}).

Uit de tabel zijn drie verschillende varianten af te leiden te weten;

- Doorgaand talud zonder platbermen met een helling van afgerond 1:5 (op basis van putdiepte 25 tot 30 meter).
- Getrapt talud met 1 platberm met een gemiddelde helling van afgerond 1:4.
- Getrapt talud met 3 platbermen met een gemiddelde helling van 1:3,5.

Met het maaiveldniveau op -4.3 m NAP en insteek zandwinput (=onderkant klei/veen pakket) op -12.5 m NAP zijn de resultaten van de drie varianten samengevat in figuur 6.



Figuur 6: Drie mogelijke taludvarianten voor zandwinput Markerwadden volgens CUR113.

De resultaten van de in figuur 6 weergegeven dwarsprofielen zijn in tabelvorm weergegeven in bijlage 2.

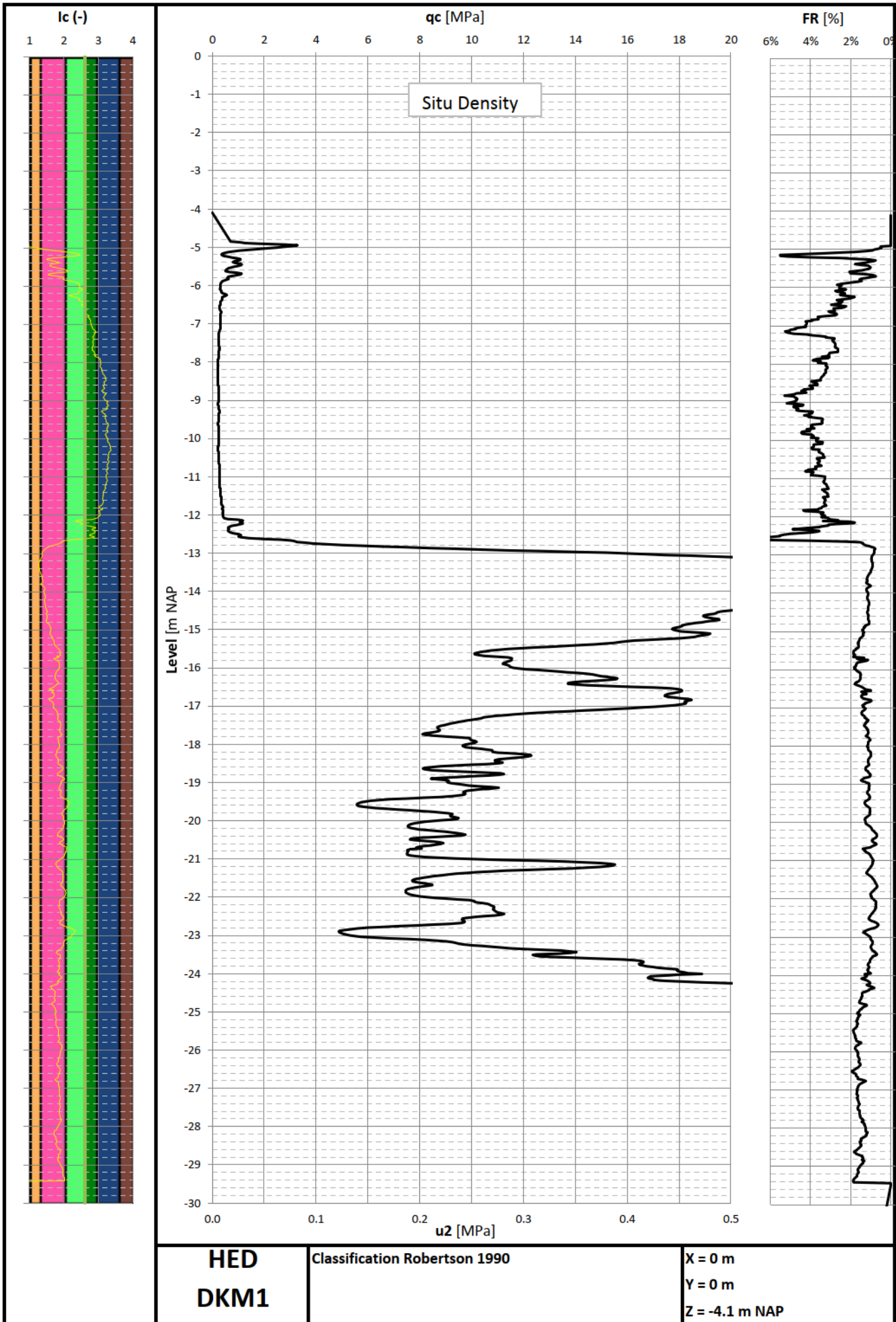
Conclusie

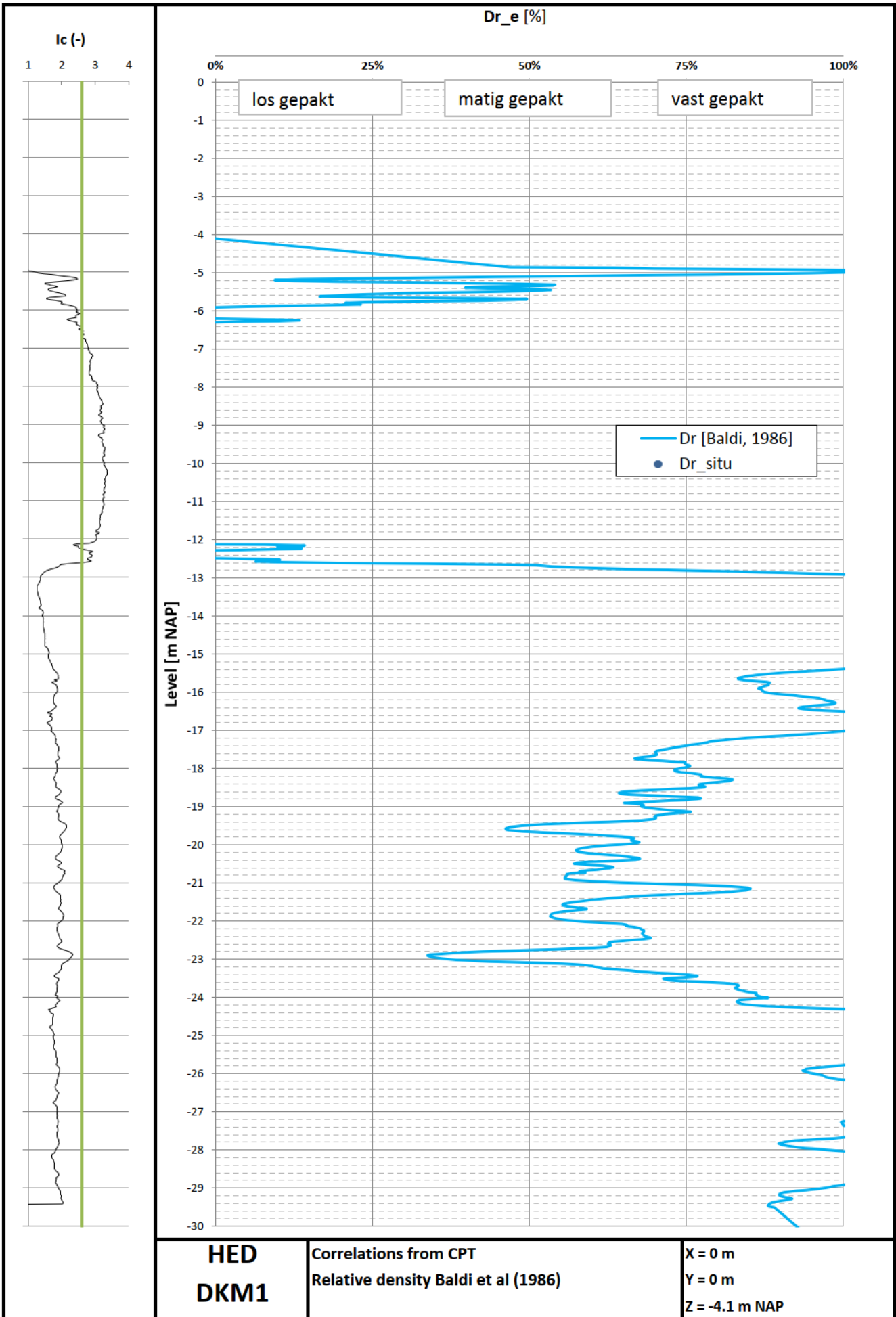
In deze memo is een eenvoudige risicobeschoouwing conform de CUR 113 gepresenteerd, waarbij controle heeft plaatsgevonden op de verschillende faalmechanismen die van invloed zijn op de taludstabiliteit van de zandwinput voor de aanleg van de Markerwadden. Op basis van deze risicobeschoouwing is de conclusie dat met inachtneming van de onderstaande afgeleide eisen voor de uitvoering het risico op taludstabiliteit beheersbaar en acceptabel is. Hierbij zijn drie verschillende varianten van het talud volgens tabel 2b uit CUR 113 mogelijk, welke zijn samengevat in figuur 6 en bijlage 2.

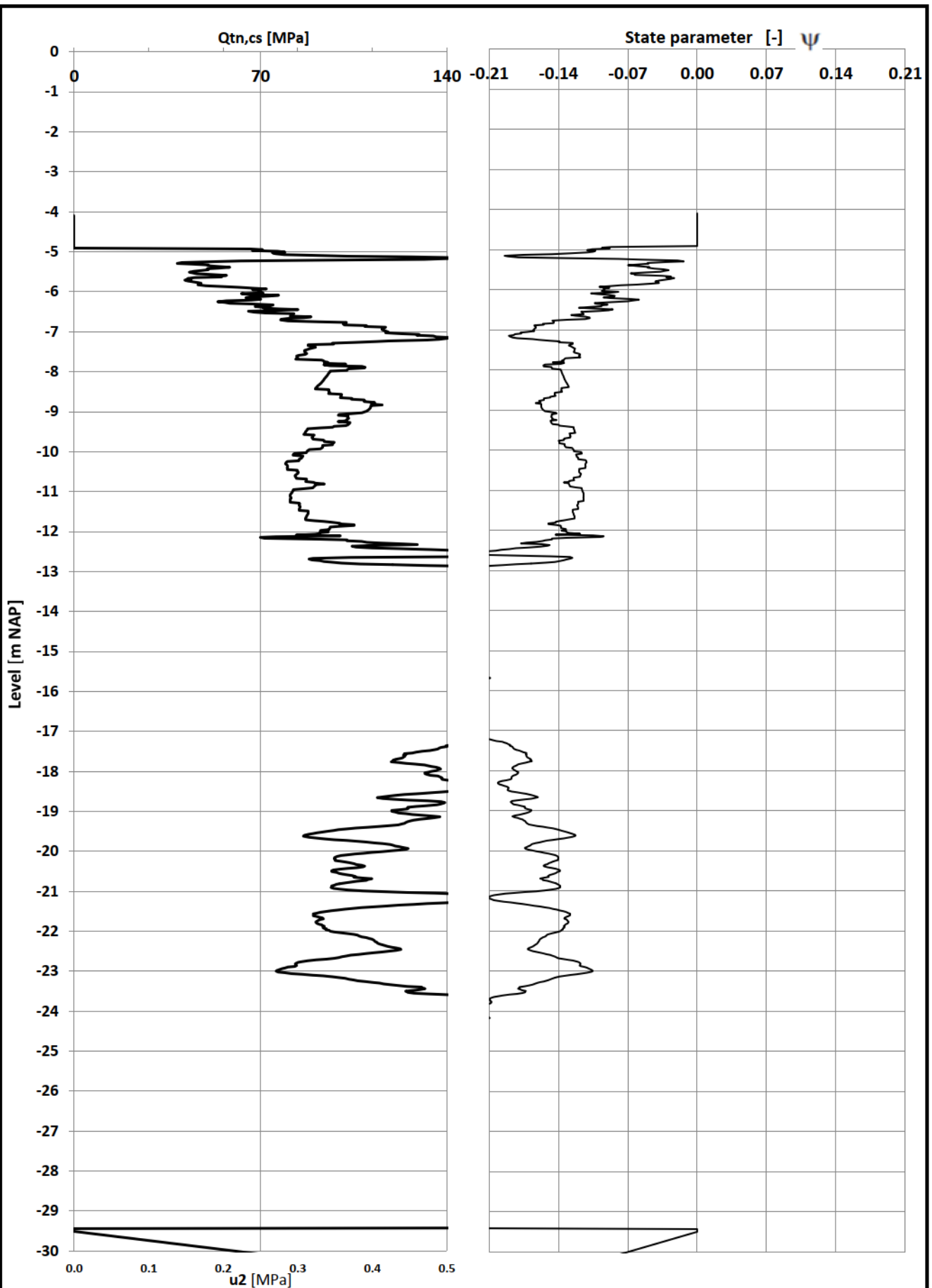
De volgende afgeleide eisen dienen geverifieerd te worden voor start uitvoering;

- Er dient een werkplan voor de uitvoering te zijn vastgesteld
- Cohesieve lagen (maaiveld tot -12.5 m NAP) dienen te worden verwijderd met geschikt materiaal.
- Zuigproces dient te worden beheerst door monitoring van positie zuigbuis en productie
- Gezogen taluds dienen regelmatig te worden gepeild

Bijlage 1: Correlatie sondering DKM







**HED
DKM1**

Correlations from CPT
 $Q_{tn,cs}$ en state parameter Robertson et al (2010)

X = 0 m
 Y = 0 m
 Z = -4.1 m NAP

Bijlage 2: Varianten talud volgens tabel 2a CUR 113.

	Diepte (m)	NAP Afstand (m)	helling (v:h / 1:..)
Doorgaand talud	-4.3	0	
	-12.5	32.8	4
	-42.5	172.9	4.67
Getrapt talud met 1 platberm	-4.3	0	
	-12.5	32.8	4
	-17.5	42.8	2
	-22.5	57.8	3
	-27.5	77.8	4
	-32.5	102.8	5
	-32.5	122.8	0
	-37.5	132.8	2
	-42.5	147.8	3
Getrapt talud met 3 platbermm	-4.3	0	
	-12.5	32.8	
	-17.5	42.8	2
	-22.5	57.8	3
	-22.5	67.8	
	-27.5	77.8	2
	-32.5	92.8	3
	-32.5	112.8	
	-37.5	122.8	2
	-42.5	137.8	3

BIJLAGE 2. ANALYSE SLIBGEUL

ONDERWERP
Beoordeling positionering en oriëntatie slibgeul Marker
Wadden

PROJECTNUMMER
C01021.200906

DATUM
26-1-2016

ONZE REFERENTIE
078776214 A

VAN
[redacted]

AAN
[redacted] (Boskalis)

KOPIE AAN
[redacted] (Arcadis), [redacted] (Arcadis),
[redacted] (Arcadis)

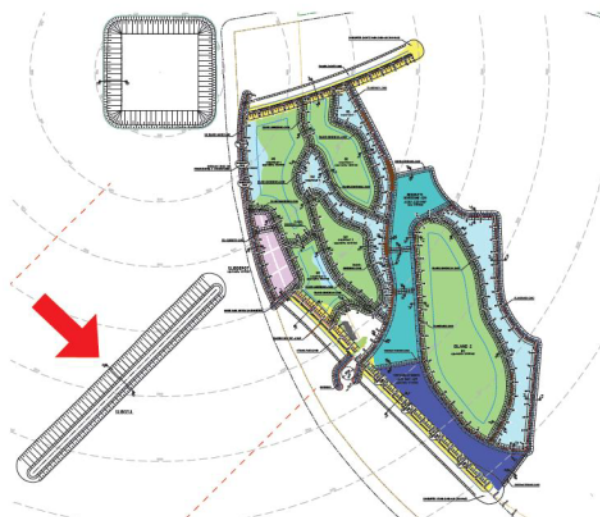
Inleiding

In dit memo beoordelen we de positionering van de slibgeul die onderdeel uitmaakt van het project Marker Wadden zoals vastgelegd in het ontwerp door Boskalis.

Het memo geeft een antwoord op de volgende vragen:

- Waardoor wordt de waterbeweging in het Markermeer hoofdzakelijk bepaald?
- Hoe ziet de waterbeweging (stroming en golven) eruit rondom het ontwerp van Marker Wadden?
- Wat is de invloed van verschillende positioneringen van de slibgeul op de aanslibbing en is deze optimaal gepositioneerd in het uiteindelijke ontwerp van Marker Wadden?

Figuur 1 toont een bovenaanzicht van het ontwerp met de slibgeul, een (vierkante) zandwinput en het Compartiment Dun Slib (in paars). De rode pijl geeft de dominante transportrichting van slib aan.



Figuur 1. Boven­aanzicht van het ontwerp voor de Marker Wadden met de slibgeul, de (vierkante) zandwinput en het Compartiment Dun Slib (in paars). De rode pijl geeft de dominante transportrichting van slib aan.

De slibgeul is optimaal gepositioneerd. Op basis van door ons uitgevoerde modelberekeningen met het slibmodel van Van Kessel et al (2009, 2011) blijkt de slibgeul met een oriëntatie van 50° ten opzichte van het noorden het meeste slib in te vangen. Dit is loodrecht op de stroming, die ter plekke verminderd door lokale verdieping, zodat maximale sedimentatie plaatsvindt. Ook blijkt dat een min of meer centrale locatie voor de (noordwest-zuidoost) luwtedam (stenen dam + zandrug) optimaal is voor het invangen/vasthouden van slib over de gehele lengte van

de geul. Op basis hiervan hebben wij de slibgeul georiënteerd zoals weergegeven in de plankkaart. Voordeel van deze locatie is bovendien dat de slibgeul qua aanstroming niet in het verlengde van de zandwinput ligt, waardoor deze geen slib afvangt voor de slibgeul maar voor een eigen invang van slib uit het systeem zal zorgen.

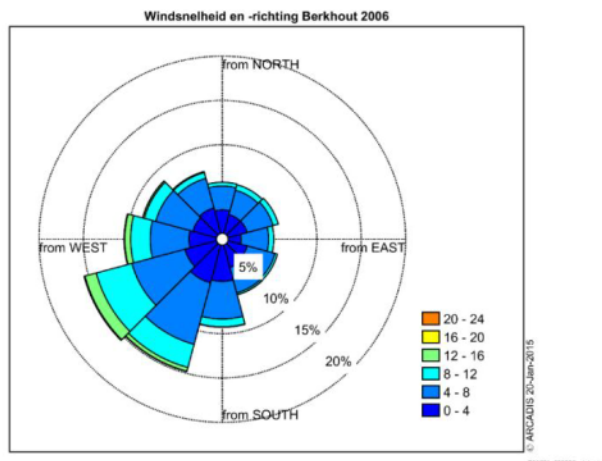
In dit memo geven we een nadere onderbouwing voor de gekozen positionering en oriëntatie van de slibgeul aan de hand van modelberekeningen. We behandelen achtereenvolgens het windklimaat, de golven en de stroming in de huidige situatie. Vervolgens bespreken we de berekende invloed van de luwtedam (stenen dam + zandrug), de eilanden en de slibgeul op de golven en de stroming. We maken een vergelijking met berekeningen in een eerdere studie en een vergelijking met waargenomen sedimentatie in slibputten. We bespreken de verschillen en beperkingen van de toegepaste modellen. Tot slot vatten we de bevindingen samen in een zestal conclusies en geven we aanbevelingen voor het vervolg.

Commentaar en aanvullingen door Thijs van Kessel (Deltares) zijn in dit memo verwerkt.

Windklimaat Markermeer

Golven en stroming worden in het Markermeer opgewekt door de wind. De wind drijft met name de toplaag aan. Bij persistente wind ontstaat een waterstandsverhang over het meer. Hierbij stroomt langs de bodem water 'tegen de wind in' terug. Dit effect wordt ook met het 3D-stromingsmodel berekend.

Figuur 2 toont het windklimaat dat karakteristiek is voor het Markermeer. Duidelijk is te zien dat de heersende windrichting zuidwest is en dat ook de grootste windsnelheden uit die richting optreden. Dit betekent dat ook de golven en de stroming door wind uit het zuidwesten in belangrijke mate het sedimenttransport bepalen.

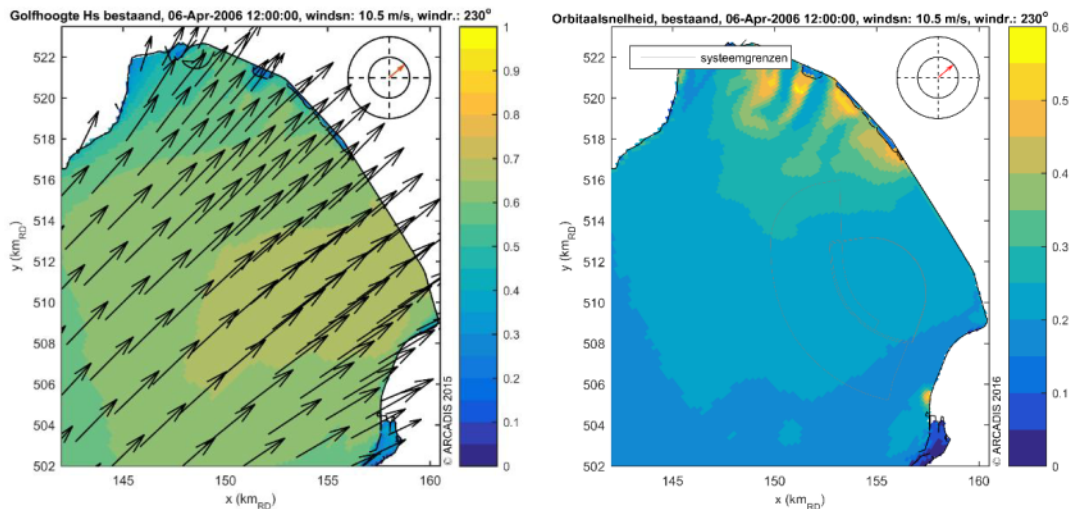


Figuur 2. Percentage van voorkomen windsnelheid en -richting bij Berkhout. Windsnelheid in m/s.

Golven zonder Marker Wadden

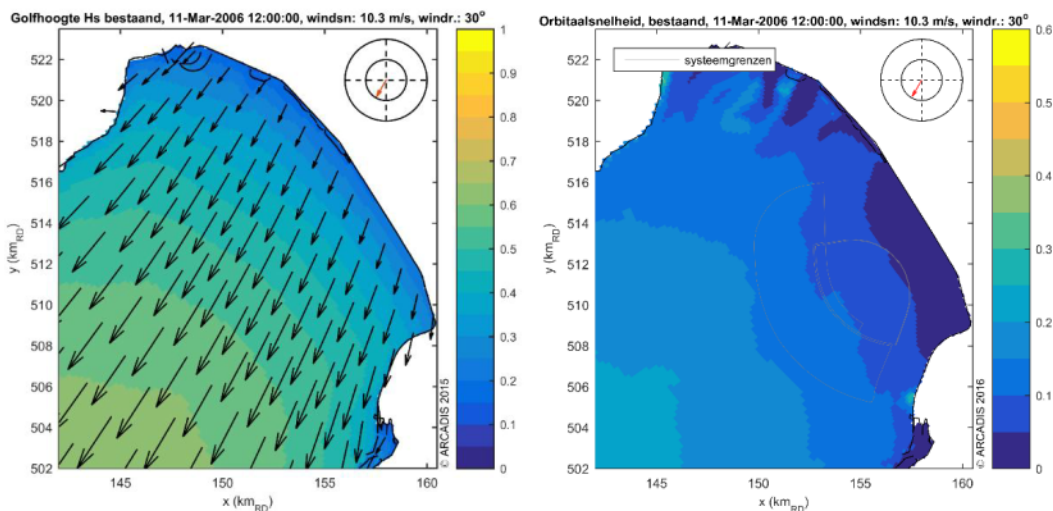
Golven worden op het Markermeer opgewekt door de wind. De golfhoogtes worden groter naarmate de wind een langere strijklengte heeft. Golven genereren een orbitaalsnelheid bij de bodem die voor opwoeling van sediment zorgt. Hogere golven zorgen bij dezelfde waterdiepte voor een grotere orbitaalsnelheid en kleinere golven voor een kleinere orbitaalsnelheid. Een kleinere waterdiepte zorgt bij dezelfde golfhoogte voor een grotere orbitaalsnelheid en een grotere waterdiepte voor een kleinere orbitaalsnelheid. In een diepe put of geul zullen de orbitaalsnelheden dus klein zijn.

Figuur 3 toont een voorbeeld van de berekende golfhoogtes (links) en orbitaalsnelheden (rechts) bij een zuidwesten wind (windkracht 5-6). De golfhoogte door de toenemende strijklengte toe richting het noordoosten. De golven zijn aan de oostzijde hoger dan aan de westzijde. De orbitaalsnelheden bedragen binnen de Marker Wadden systeemgrenzen ongeveer 0,20-0,25 m/s.



Figuur 3. Voorbeeld van berekende golfhoogtes (links) en orbitaalsnelheden (rechts) bij zuidwesten wind

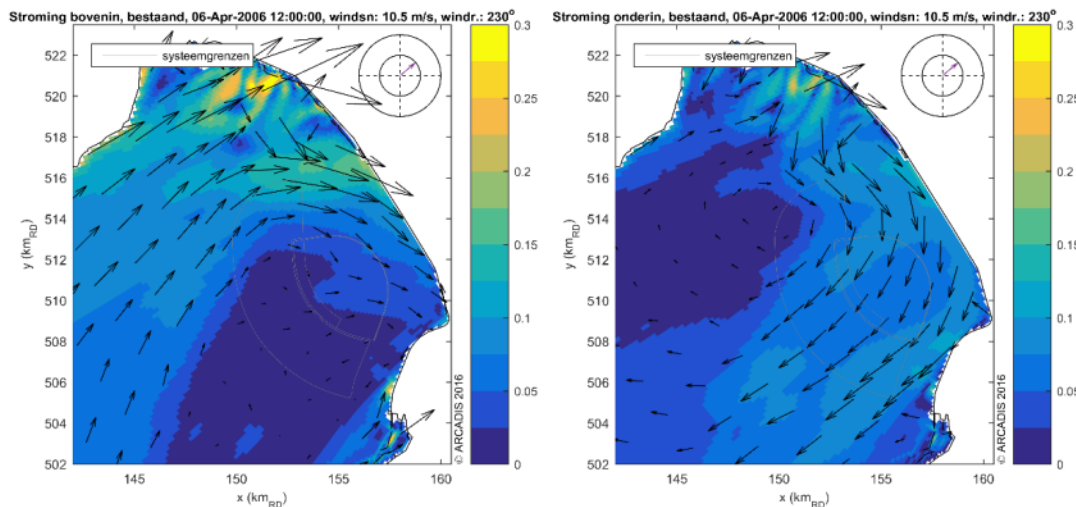
Figuur 4 toont een voorbeeld van de berekende golfhoogtes (links) en orbitaalsnelheden (rechts) bij een *noordoosten wind* (windkracht 5-6). De invloed van een grotere strijklengte naar het zuidwesten is duidelijk zichtbaar in de golfhoogte die richting het zuidwesten toeneemt. De orbitaalsnelheden binnen de Marker Wadden systeemgrenzen bedragen bij deze omstandigheden ongeveer 0,05-0,15 m/s.



Figuur 4. Voorbeeld van berekende golfhoogtes (links) en orbitaalsnelheden (rechts) bij noordoosten wind

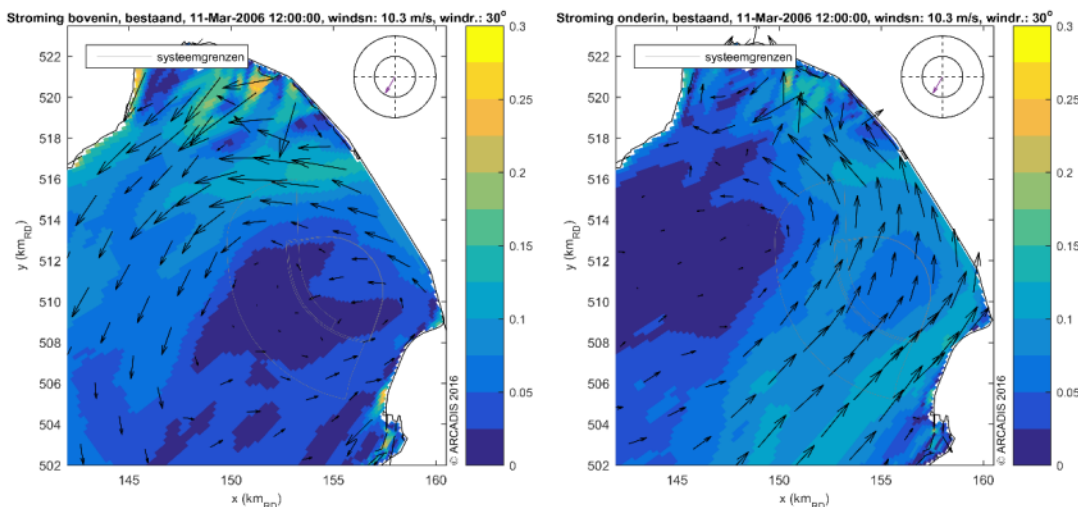
Stroming zonder Marker Wadden

Golven zorgen voor de opwoeling van sediment en de stroming neemt het vervolgens mee. De stroomsnelheden in het Markermeer zijn over het algemeen betrekkelijk klein. Figuur 5 toont voorbeelden van berekende stroomsnelheden bij het wateroppervlak (links) en bij de bodem (rechts) bij een *zuidwesten wind* (windkracht 5-6). Duidelijk is te zien dat bij deze windrichting de stroming bovenin de waterkolom een rechtsdraaiende circulatie vertoont waarbij de grootste stroomsnelheden in het noordwesten optreden. Onderin de waterkolom is de stroming eveneens rechtsdraaiend maar hier zijn de stroomsnelheden het grootst in het oosten. Het water wordt als het ware tegen de Houtribdijk geduwd en duikt dan 'rechtsom naar beneden'. Aan het oppervlak stroomt het water met de wind mee naar het NO, aan de bodem stroomt het tegen de wind in naar het ZW. Vanwege geometrische en frictie-effecten treedt de maximale heen- en terugstroming niet op dezelfde plek op.



Figuur 5. Voorbeeld van berekende stroomsnelheden bij het wateroppervlak (figuur links) en bij de bodem (figuur rechts) bij zuidwesten wind

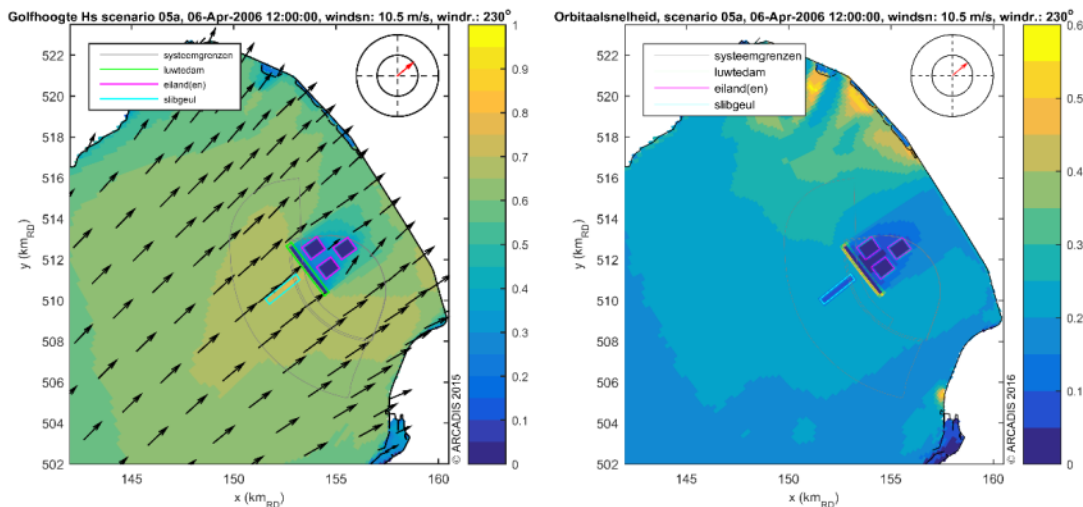
Figuur 6 toont voorbeelden van de stroomsnelheden bij het wateroppervlak (links) en bij de bodem (rechts) bij *noordoosten wind* (windkracht 5-6). De stroming vertoont hier bij het oppervlak juist een linksdraaiende circulatie waarbij de grootste stroomsnelheden eveneens in het noordwesten optreden. Bij de bodem is de stroming eveneens linksdraaiend maar hier zijn de stroomsnelheden het grootst in het oosten.



Figuur 6. Voorbeeld van berekende stroomsnelheden bij het wateroppervlak (figuur links) en bij de bodem (figuur rechts) noordoosten wind

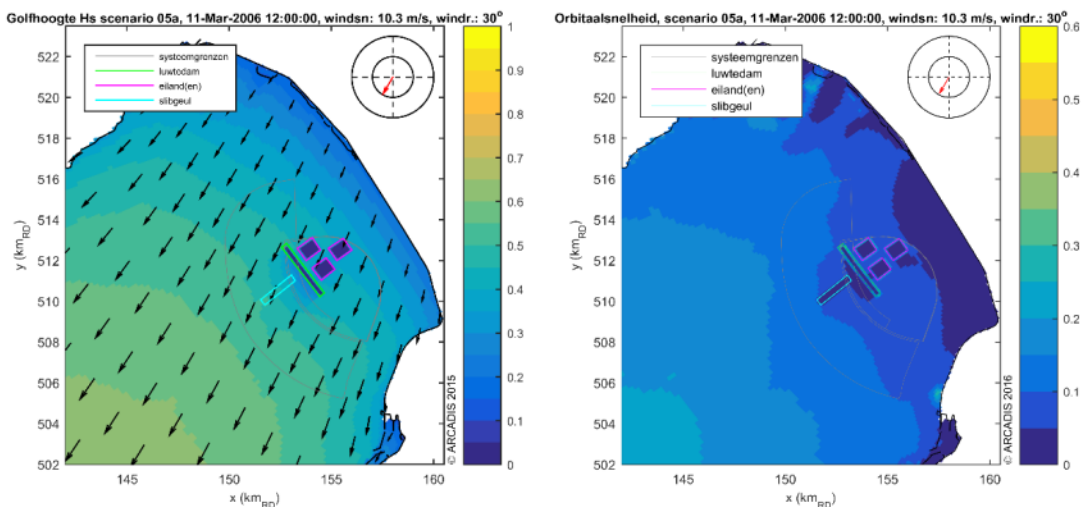
Golven met Marker Wadden

Figuur 7 toont een voorbeeld van berekende golfhoogtes (links) en orbitaalsnelheden (rechts) bij *zuidwestenwind* (windkracht 5-6) inclusief een geschematiseerde versie van de Marker Wadden. Achter de luwtedam nemen de golven met enkele decimeters af. Nabij de Houtribdijk, ruim 4 km ten noordoosten van de dam, is de afname nog steeds enkele centimeters. Ter hoogte van de slibgeul neemt de golfhoogte bij deze condities toe met ongeveer 0,05 m. Dit effect loopt door tot dichtbij de luwtedam. De orbitaalsnelheden zijn direct achter de luwtedam nihil en bedragen tussen eilanden ongeveer 0,05-0,10 m/s. Rondom de slibgeul bedragen de orbitaalsnelheden, vergelijkbaar met de situatie zonder Marker Wadden, 0,20-0,25 m/s. In de slibgeul, op NAP-10 m, is dit afgenomen tot 0,05-0,10 m/s. Dit betekent dat de golven beduidend minder opwoelend vermogen in de slibgeul hebben dan in de omgeving. Hierdoor zal er zich slib in de geul afzetten.



Figuur 7. Voorbeeld van berekende golfhoogtes (links) en orbitaalsnelheden (rechts) bij zuidwesten wind inclusief Marker Wadden (schematisch)

Bij *noordoostenwind* (windkracht 5-6) is het door de luwtedam beïnvloedde gebied ongeveer de helft kleiner en is er geen duidelijk effect van de slibgeul op de golfhoogte zichtbaar (figuur 8 links). Wel is er een duidelijk effect op de orbitaalsnelheden in de slibgeul. In de omgeving van de geul bedragen de orbitaalsnelheden 0,05-0,15 m/s. In de slibgeul zelf is dit 0-0,05 m/s. Ook onder deze omstandigheden is het opwoelend vermogen in de slibgeul dus beduidend lager dan in de omgeving en zal er zich onder deze omstandigheden dus ook slib in de geul afzetten.



Figuur 8. Voorbeeld van berekende golfhoogtes (links) en orbitaalsnelheden (rechts) bij noordoosten wind inclusief Marker Wadden (schematisch)

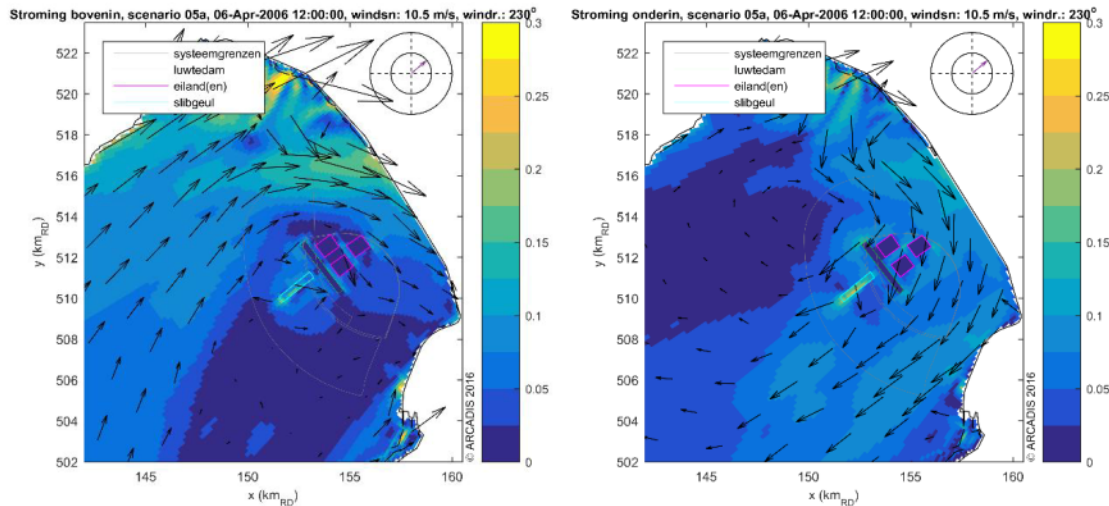
Stroming met Marker Wadden

De aanwezigheid van de verschillende elementen van Marker Wadden heeft grootschalig een kleine invloed maar lokaal wel een duidelijke invloed op het stromingspatroon in het Markermeer. De luwtedam en de eiland werken als een blokkade voor de stroming en een slibgeul kan de stroming enigszins aantrekken omdat het water daar iets meer ruimte krijgt. Dit effect is nog wel afhankelijk van de exacte vormgeving van de buitenrand van de Marker Wadden. Er is in het model gerekend met een sterk geschematiseerde weergave van de constructie.

Figuur 9 toont voorbeelden van berekende stroomsnelheden bij het wateroppervlak (links) en bij de bodem (rechts) bij een zuidwesten wind (windkracht 5-6) inclusief Marker Wadden. Het grootschalige stromingspatroon vertoont bij het oppervlak een rechtsdraaiende circulatie waarbij de grootste stroomsnelheden in het noordwesten

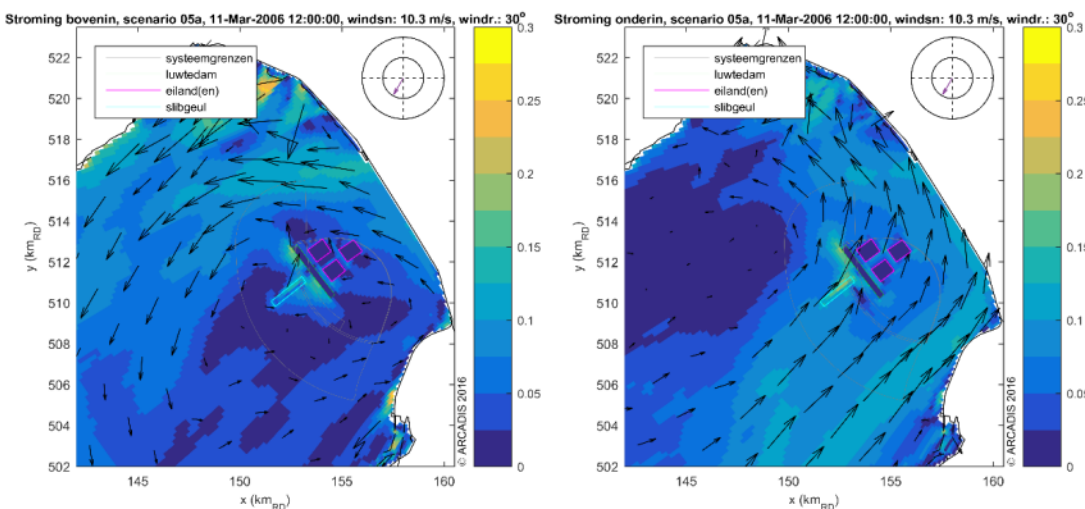
optreden. Bij de bodem is de stroming eveneens rechtsdraaiend maar hier zijn de stroomsnelheden het grootst in het oosten. Het water wordt als het ware tegen de Houtribdijk geduwd en duikt dan rechtsonder naar beneden.

Het stromingspatroon is een combinatie van een horizontale en verticale circulatie. Het is als het ware een transportband die aan de bovenkant in de richting NO loopt, vervolgens naar rechts en naar beneden draait en aan de onderkant in de richting ZW terugloopt. Op kleinere schaal heeft de luwtedam eenzelfde soort effect als de Houtribdijk. Hierdoor stroomt het water langs de luwtedam en min of meer dwars op de slibgeul. Verder van de luwtedam heeft de slibgeul wel de neiging om stroom te trekken die van de luwtedam af gericht is ($\sim 0,20$ m/s). In het model ligt de slibgeul iets verder van de luwtedam (500 m) dan in het uiteindelijke ontwerp (250 m).



Figuur 9. Voorbeeld van berekende stroomsnelheden bij het wateroppervlak (figuur links) en bij de bodem (figuur rechts) bij zuidwesten wind inclusief Marker Wadden (schematisch)

Figuur 10 toont voorbeelden van de stroomsnelheden bij het wateroppervlak (links) en bij de bodem (rechts) bij noordoosten wind (windkracht 5-6) inclusief Marker Wadden. De stroming vertoont hier bij het oppervlak juist een linksdraaiende circulatie waarbij de grootste stroomsnelheden eveneens in het noordwesten optreden. Bij de bodem is de stroming eveneens linksdraaiend maar hier zijn de stroomsnelheden het grootst in het oosten. Ook hier hebben de luwtedam en de eilanden een vergelijkbaar effect, op kleinere schaal, als dat van de Houtribdijk.

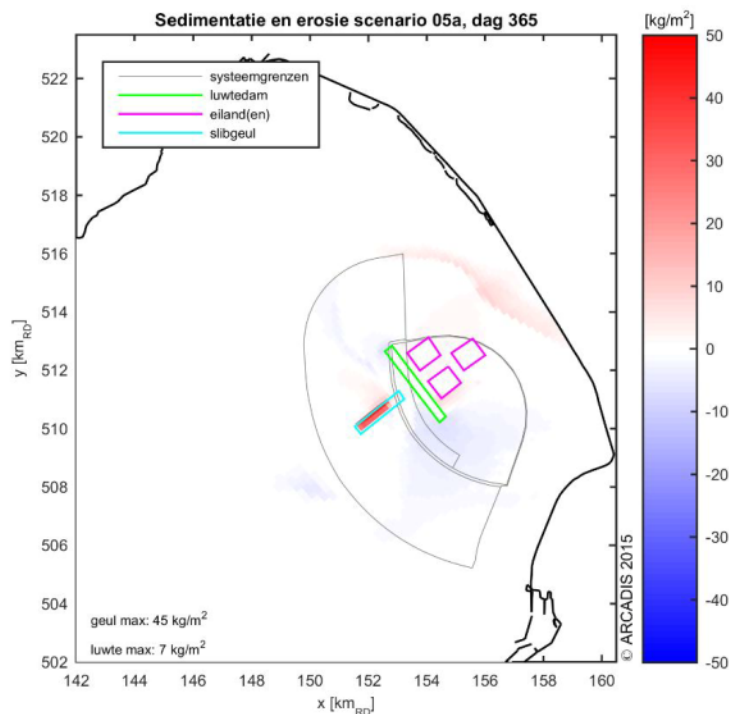


Figuur 10. Voorbeeld van berekende stroomsnelheden bij het wateroppervlak (figuur links) en bij de bodem (figuur rechts) bij noordoosten wind inclusief Marker Wadden (schematisch)

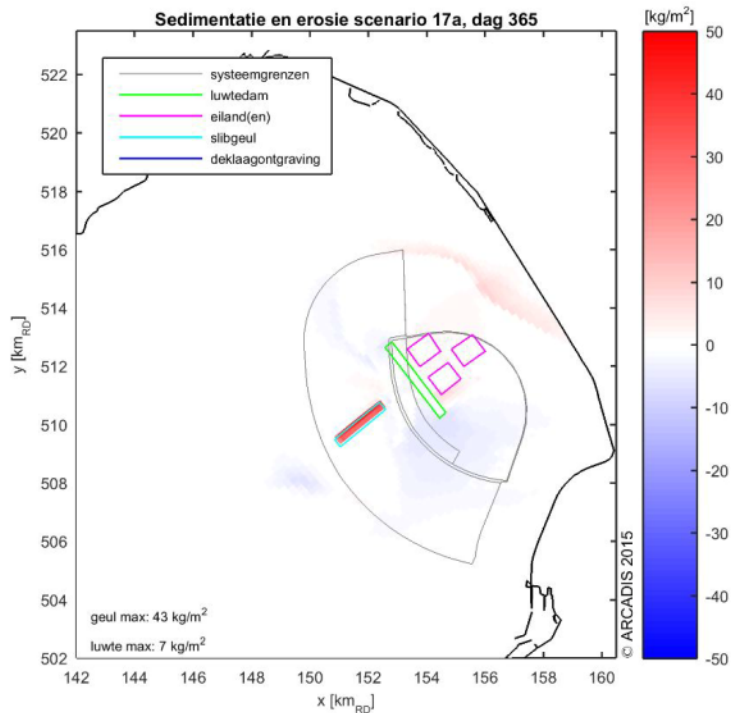
Aanslibbing

Figuur 11 toont de berekende sedimentatie en erosie na één jaar. De aanslibbing in de slibgeul is duidelijk zichtbaar. Het zwaartepunt hiervan ligt in het zuidwestelijke deel van de geul. Dit zouden we het benedenstroomse deel van de slibgeul kunnen noemen. Wanneer de slibgeul verder van de luwtedam wordt aangelegd dan vangt deze meer slib (figuur 12). Wanneer de slibgeul parallel aan de luwtedam wordt gelegd dan vangt deze veel minder slib (figuur 13).

Opvallend is overigens de vermindering van de aanslibbing in de noordoost hoek van de slibgeul in figuur 12. Dit kan worden veroorzaakt door minder aanbod (d.w.z. lagere slibconcentratie of nauwelijks aanstroming) of door meer re-suspensie. Als re-suspensie de oorzaak is dan rijst de vraag of dit in werkelijkheid ook zal optreden. Door een betrekkelijk grove modelresolutie en het ontbreken van het dichtheidseffect op de stroming is het model vermoedelijk onvoldoende in staat de werkelijk optredende waterbeweging in en nabij de slibgeul te representeren. De ervaring leert dat beneden NAP-8 m in putten en NAP-10 m in geulen (o.a. vaargeul Amsterdam-Lemmer) er in de praktijk snelle aanslibbing (m.a.w. geen of nauwelijks re-suspensie) optreedt. Dit aspect verdient daarom nadere aandacht.

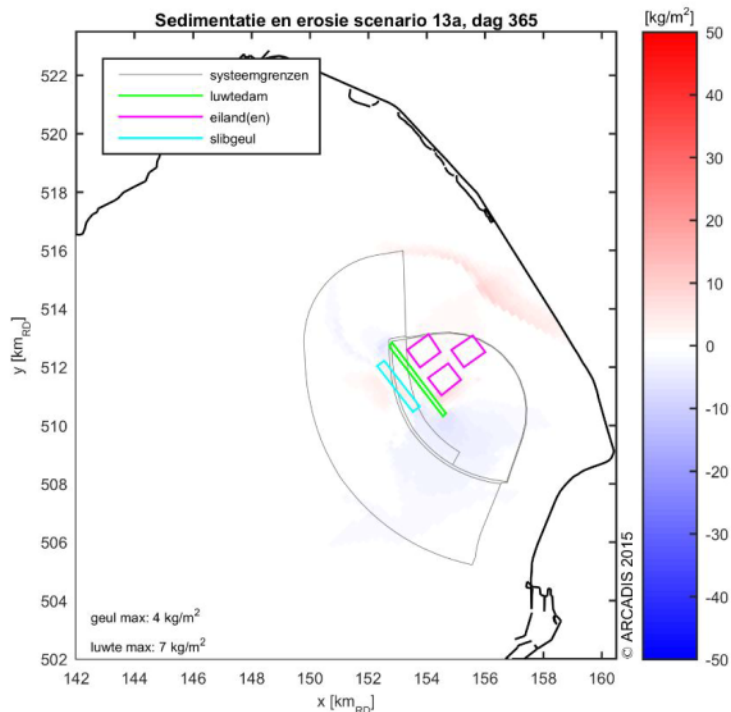


Figuur 11. Berekende sedimentatie (rood) en erosie (blauw) als gevolg van Marker Wadden (schematisch)



C01021_200906_pilot_sedimentation

Figuur 12. Berekende sedimentatie (rood) en erosie (blauw) als gevolg van Marker Wadden met slibgeul verder van de luwtedam vandaan



C01021_200906_pilot_sedimentation

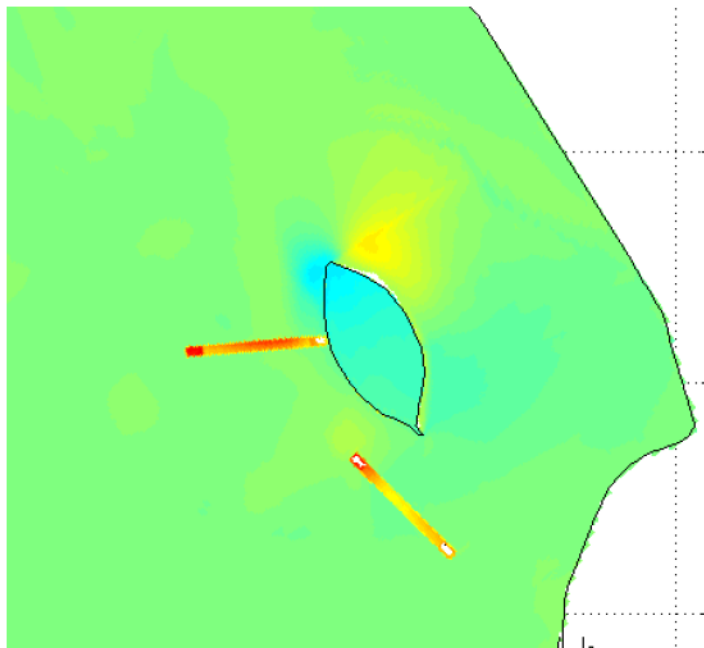
Figuur 13. Berekende sedimentatie (rood) en erosie (blauw) als gevolg van Marker Wadden met slibgeul langs de luwtedam (schematisch)

Vergelijking met eerdere studies

In een eerdere fase van het project Marker Wadden heeft RHDHV (2013) oriënterend onderzoek gedaan naar het effect van verschillende inrichtingsscenario's op de aanslibbing achter een luwtestructuur en in slibgeulen. In de scenario's door RHDHV (2013) zijn meerdere slibgeulen gecombineerd. Daarom hebben we de conclusies in de rapportage door RHDHV (2013) vertaald naar de effecten van één enkele slibgeul.

Belangrijkste vertaalde conclusies uit de RHDHV (2013) studie zijn de volgende:

1. De aanslibbing in een slibgeul wordt in belangrijke mate bepaald door de ligging van de slibgeul (en in mindere mate door de oriëntatie).
2. Een betrekkelijk lange slibgeul (6,1 km), betrekkelijk ver van de luwtedam (2 km ten noorden) en betrekkelijk dichtbij en loodrecht op de Houtribdijk is het meest effectief. Dit is variant 1 in de rapportage door RHDHV (2013).
Echter bij deze variant wordt een deel van het slib dat naar het luwtegebied zou kunnen stromen, ingevangen in de slibgeul. Hierdoor wordt slibvangcapaciteit van het luwtegebied en dus de totale aanslibbing beperkt. Variant 2 is volgens RHDHV (2013) daarom beter (zie punt hieronder).
3. Een betrekkelijk korte slibgeul (3,1 km) loodrecht op de luwtedam, dit is de noordelijke geul van RHDHV-variant 2 (zie onderstaande figuur 14), is effectiever in het invangen van slib dan een lange slibgeul (5,9 km) parallel aan de luwtedam (MW01 en MW03 in de rapportage door RHDHV, 2013). Figuur 14 toont de berekende aanslibbing voor RHDHV-variant 2.



Figuur 14. Berekende aanslibbing RHDHV-variant 2 (Bron: RHDHV, 2013)

Vergelijking met waargenomen sedimentatie

In 1984 zijn proefputten in het Markermeer aangelegd (Van den Brenk, 2002). De putten werden cirkelvormig aangelegd met een talud van 1:10 (Put A) en 1:3 (Put B). Figuur 15 toont de locaties van de proefputten en figuur 16 het diepteverloop in de tijd in een vak in elke put met een oppervlak van 10.000 m².

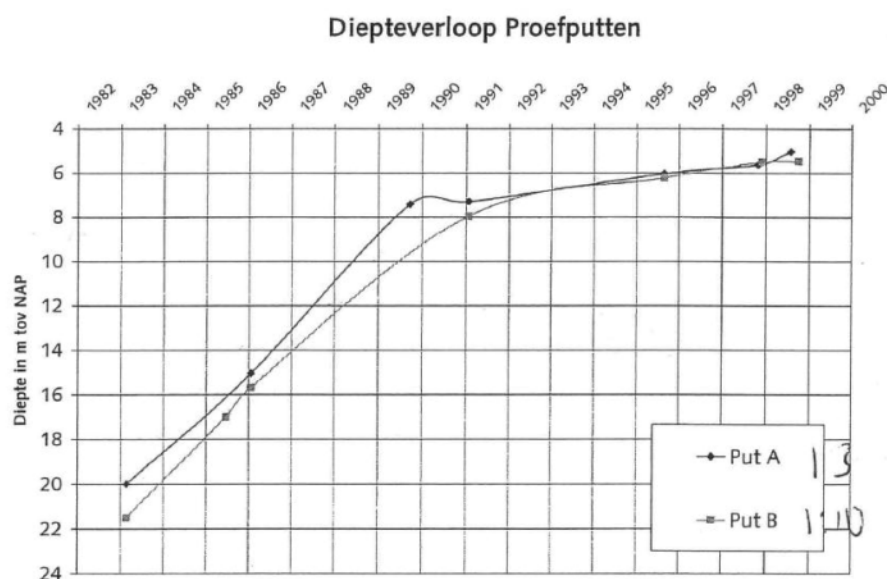
Van 1983 tot 1989 is de diepte van het vak van 10.000 m² in de putten afgenomen van ongeveer NAP-21 m tot NAP-10 m (figuur 16). De sedimentatiesnelheid is dan ongeveer 1,8 m/jaar. Uitgaande van een dichtheid van 500 kg/m³ zou dit neerkomen op 900 kg/m²/jaar. Dit is bijna 20x zo veel als met de modellen berekend.

Van 1989 tot 1992 is de diepte verder afgenomen van ongeveer NAP-10 m tot NAP-7 m. De sedimentatiesnelheid is dus ongeveer 1 m/jaar. Uitgaande van een dichtheid van 500 kg/m³ zou dit neerkomen op 500 kg/m²/jaar. Dit is ongeveer 10x zo veel als met de modellen berekend.

Bovenstaande meetgegevens doen vermoeden dat de sedimentatie berekend met de slibmodellen sterk wordt onderschat.



Figuur 15. Locatie proefputten.



Figuur 16. Diepteverloop proefputten A en B tussen 1984 en 1999.

Verschillen en beperkingen toegepaste modellen

Hoewel de beide modellen vergelijkbare effecten laten zien, zijn er verschillen in schematisatie en modelopzet. Daarnaast hebben beide modellen duidelijke beperkingen in met name de kwantificering van de hoeveelheid en variaties in de volumes van aanslibbing. Deze verschillen en beperkingen bespreken we hieronder in het kort.

Belangrijk verschil tussen de beide toegepaste model is ten eerste de roosterresolutie. Het door de klant toegeleverde modelrooster heeft een resolutie van ongeveer 150 m x 150 m in het interessegebied. Het model dat door RHDHV (2013) werd ingezet heeft een resolutie van ongeveer 40 m x 40 m. Dit betekent dat het ontwerp van Marker Wadden slechts zeer geschematiseerd in het eerste model kon worden aangebracht. Effecten van de kromming van de luwtestructuur en taludhellingen in de slibgeul konden in het model door RHDHV (2013) wel worden meegenomen. Ter illustratie, de breedte van de geul is in het ene model 2 cellen breed en in het andere model orde 8. Dit heeft belangrijke gevolgen voor de modelresultaten en de interpretatie ervan.

Een tweede belangrijke verschil is de valsnelheid van de slibfracties. Het door de klant toegeleverde model bevat 2 slibfracties. De eerste met een valsnelheid van 2 m/dag, en de tweede met een lagere valsnelheid namelijk van 0,4 m/dag. In de studie door RHDHV (2013) worden voor de twee slibfracties hogere valsnelheden gehanteerd namelijk 4 m/dag en 0,8 m/dag. Deze valsnelheden zijn twee keer zo groot. Ondanks deze grotere valsnelheden concludeert RHDHV (2013) dat het model de sedimentatie in slibputten en –geulen onderschat.

Belangrijke beperking van beide modellen is het ontbreken van het effect dat het sediment heeft op de waterbeweging. Het effect van dichtheidsstroming wordt daardoor ook niet meegenomen. In werkelijkheid heeft het sediment met name in de slibgeul een duidelijke invloed op de stroming. Door aanslibbing wordt het water onderin de slibgeul als het ware zwaarder. In werkelijkheid wordt hierdoor de turbulentie en de aanslibbing versterkt. In de modellen wordt dit proces niet meegenomen.

De modellen en analyses tot nu toe gedaan zijn daarmee wel geschikt om de oriëntatie van de slibgeul en het op natuurlijke wijze invangen van dun slib te verifiëren, maar minder geschikt om kwantificering van hoeveelheid en variaties in de volumes van aanslibbing en het ontstaan van dichtheidsstromen te onderbouwen.

Conclusies en antwoorden op basisvragen

Waardoor wordt de waterbeweging in het Markermeer hoofdzakelijk bepaald?

- De stroming en golven in het Markermeer worden in grote mate bepaald door wind uit het zuidwesten.
- De slibtransporten worden daardoor ook vooral bepaald door wind uit het zuidwesten.
- Het grootschalige stromingspatroon vertoont bij zuidwesten wind bij het oppervlak een rechtsdraaiende circulatie waarbij de grootste stroomsnelheden in het noordwesten optreden. Bij de bodem is de stroming eveneens rechtsdraaiend maar hier zijn de stroomsnelheden het grootst in het oosten. Het water wordt als het ware tegen de Houtribdijk geduwd en duikt dan rechtsom naar beneden.

Hoe ziet de waterbeweging (stroming en golven) eruit rondom het ontwerp van Marker Wadden?

- Op kleinere schaal heeft de luwtedam eenzelfde soort effect als de Houtribdijk. Hierdoor stroomt het water langs de luwtedam en min of meer dwars op de slibgeul die loodrecht op de luwtedam ligt

Wat is de invloed van verschillende positioneringen van de slibgeul op de aanslibbing en is deze optimaal gepositioneerd in het uiteindelijke ontwerp van Marker Wadden?

- Een slibgeuloriëntatie loodrecht op de luwtedam is de meest optimale.
- Een slibgeul evenwijdig aan de luwtedam vangt minder slib.

Aanbevelingen

Kwantificeer de hoeveelheid en variaties in de volumes van aanslibbing en het ontstaan van dichtheidsstromen met behulp van een verfijnd model, inclusief dichtheidseffecten, dat de lengte, breedte en taludhelling van de slibgeul met voldoende roosterresolutie representeert.

Referenties

- Van Kessel, T., De Boer, G., Boderie, P., 2009. Calibration suspended sediment model Markermeer. Rapport 1200148, Deltares, 6 juli 2009.
- Van Kessel, T., Winterwerp, J.C., Van Prooijen, B., Van Ledden, M., Borst, W., 2011a. Modelling the seasonal dynamics of SPM with a simple algorithm for the buffering of fines in a sandy seabed. Cont. Shelf Res. 31, S124–S134.
- Van den Brenk, S., 2002. Sedimentatie-onderzoek vaargeulen. Op basis van lodingsgegevens. Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, december 2002.
- RHDHV, 2013. Marker Wadden, Resultaten Slibberekeningen. Rapport BA8757-103-104/ LW-AF20130750/HM /903718/VVDM/Nijm, Royal Haskoning DHV, 22 mei 2013.