

## **PILOT VOORLANDOPLOSSING HOUTRIBDIJK LESSONS LEARNED AANLEG**

RWS/ECOSHAPE-STUURGROEP PILOT HOUTRIBDIJK

11 maart 2015  
078276043:A - Definitief  
C03041.003128.0100



Rijkswaterstaat  
Ministerie van Infrastructuur en Milieu





# Inhoud

<b>Samenvatting</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>7</b>
1.1 Algemeen .....	7
1.2 Projectbeschrijving .....	7
1.3 Opzet rapportage .....	8
1.4 Totstandkoming .....	8
<b>2 Lokale vooronderzoeken</b> .....	<b>9</b>
2.1 Niet-gesprongen explosieven .....	9
2.2 Sonderingen .....	9
2.3 Archeologisch onderzoek .....	10
2.4 Kabels en leidingen .....	10
2.5 Vergunningen en voorwaarden .....	10
2.5.1 Omgevingsvergunning .....	10
2.5.2 Watervergunning .....	10
2.5.3 Relevante voorwaarden .....	11
<b>3 Op te leveren onderdelen</b> .....	<b>13</b>
3.1 Opsluitconstructie .....	13
3.1.1 Damwand .....	13
3.1.2 Gording .....	14
3.1.3 Geo-containers en stortsteen .....	14
3.1.4 Verwijdering opsluitconstructie in april 2018 .....	16
3.2 Zand .....	16
3.3 Holocene toplaag .....	17
3.3.1 Winning en aanbrengen .....	17
3.3.2 Hoeveelheden .....	17
3.4 Stuifscherm .....	18
3.5 Rijsmatconstructie .....	19
3.6 Surveys .....	21
3.6.1 Vlakdekkende opnames .....	21
3.6.2 Positie stuifscherm, zinkstuk en mengvak .....	21
3.6.3 Zakbakens .....	22
<b>4 Werkwijze aanbrengen zand</b> .....	<b>23</b>
4.1 Losvoorziening .....	23
4.2 Sproeien .....	23
4.3 Boven water .....	24
4.4 Talud aanbrengen .....	24
4.5 Inzet luwtepontons .....	25
<b>5 Overzicht bevindingen</b> .....	<b>26</b>
5.1 Uitvoering .....	26

5.2	Vergunningen .....	27
5.3	Contractvorm .....	28
<b>6</b>	<b>Beantwoording onderzoeksvragen .....</b>	<b>29</b>
6.1	Overzicht onderzoeksvragen .....	29
6.2	Beantwoording hoofdvraag .....	30
6.3	Beantwoording deelvragen .....	30
6.3.1	Nauwkeurigheid realisatie volume en profielen .....	30
6.3.2	Uitvoering in een werkslag .....	30
6.3.3	Verrekening effect zetting .....	30
6.3.4	Rol natuur bij ontstaan helling .....	31
6.3.5	Aanleg initiële vegetatie.....	31
	<b>Literatuur .....</b>	<b>32</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>Zandvolumes.....</b>	<b>33</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Dwarsprofielen .....</b>	<b>45</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Zettingsverliezen.....</b>	<b>50</b>
<b>Bijlage 4</b>	<b>Zandkarakteristieken .....</b>	<b>58</b>
	<b>Colofon.....</b>	<b>61</b>



# Samenvatting

In deze rapportage is verslag gedaan van de aandachts- en leerpunten die tijdens de aanleg van de proefsectie pilot voorlandoplossing Houtribdijk naar voren zijn gekomen. Hiervoor is gebruik gemaakt van onder andere het opleverdossier (d.d. 25 september 2014) zoals dat is opgesteld door DE Combinatie en het interne eindverslag (versie 004). In aanvulling hierop is in iets meer detail gekeken naar de volumes, de profielen en de karakteristieken van het aangebrachte zand.

Na een korte beschrijving van de in dit kader relevant geachte activiteiten, is een overzicht gegeven van de belangrijkste leerpunten.

Deze hebben betrekking op:

- Het feit dat er ook op het Markermeer sprake kan zijn van zwaar weer, waardoor het gebruikte materieel enige schade heeft opgelopen. Inzet van zwaardere materieel zou bij meer voorbereidingstijd meer opportuun worden.
- De hier gehanteerde werkwijze (aanvoer van zand met schepen en vervolgens vermengd met water hydraulisch verpompen) heeft goed gewerkt.
- Het verschil tussen de gerealiseerde beunkuubs (85.000 m<sup>3</sup>) en het in-situ gemeten volume (65.000 m<sup>3</sup>) bedraagt ongeveer 25 % (20.000 m<sup>3</sup>), dit primair als gevolg van pakkingsverschillen. De bijdrage van de optredende zandverliezen en zetting van de ondergrond zijn beperkt van omvang.
- De bovenzijde van de pilot blijkt goed in profiel te brengen te zijn. Het onderwaterdeel is door de gekozen werkwijze plaatselijk steiler aangelegd dan oorspronkelijk gepland. Het effect van deze steilere aanleg is onderdeel van het lopende onderzoek.
- Er vindt verstuiwing van zand plaats over het droge deel van het voorland. Omdat het laag bij de grond blijft, blijft dit aan de teen van de dijk en bij de aangebrachte stuifschermen liggen. Aandachtspunt is wel de lengte waarover het stuifscherm in het laatste proefvak moet worden doorgezet en de aansluiting bij de damwand.
- Er hebben zich geen zakkingen van de dijk voorgedaan. De zettingen onder het aangebrachte deel bedragen tijdens de realisatieperiode maximaal 5 tot 10 cm.
- De slibvangput op het Markermeer heeft bruikbare klei opgeleverd welke op een deel van de proefsectie is vermengd met zand. Dit zou voor de vegetatieontwikkeling een goede basis moeten zijn.
- De voortgang van de uitvoering heeft geen hinder ondervonden van de randvoorwaarden die vanuit de verschillende vergunningen waren opgelegd. Dit hangt natuurlijk samen met de gekozen periode van uitvoering.

Inmiddels is de aanleg met succes afgerond en sinds medio september 2014 worden de ontwikkelingen van de proefsectie in detail gemonitord.

# 1 Inleiding

## 1.1 ALGEMEEN

Belangrijk onderdeel van de pilot voorlandoplossing Houtribdijk was de aanleg van de proefsectie zoals deze in de periode juli tot september door DE Combinatie (samenwerkingsverband tussen van Oord en Boskalis) is gerealiseerd.

Voorliggend rapport gaat in op de ervaringen tijdens deze aanleg en de aandachtspunten (lessons learned) die dit oplevert. Hierbij wordt voornamelijk terug gekeken op hoe het is gegaan.

In een separate, nog volgende rapportage zal een guideline worden opgesteld met de aandachtspunten waarmee bij de aanleg van 'andere' zandige vooroeveroplossingen rekening moet worden gehouden.

Ook de (morfologische) ontwikkeling van de proefsectie na aanleg komt niet aan de orde in deze rapportage.

De voorliggende rapportage is onder andere gebaseerd op de in het zogenaamde opleverdossier (d.d. 25 september 2014) opgenomen informatie (DE Combinatie, Opleverdossier Pilot Voorlandoplossing Houtribdijk, 2014a). Ook is dankbaar gebruik gemaakt van versie 4 van het zogenaamde eindewerkrapport (DE Combinatie, Eindewerk rapport pilot voorlandoplossing Houtribdijk, 2014b).

## 1.2 PROJECTBESCHRIJVING

De pilot Voorlandoplossing Houtribdijk bestaat uit de aanleg van een proefsectie inclusief monitoringsprogramma, data analyse en het opstellen van toets- en ontwerptools. Het doel van deze tot voorjaar 2018 lopende pilot is het bevorderen van de toepassing van zandige versterkingen voor dijken met milde golfcondities, om zo te komen tot een goedkopere realisatie van een toetsbare 'onderhoudsarme' waterkering. Het samenwerkingsverband tussen van Oord en Boskalis (DE Combinatie) is verantwoordelijk voor de aanleg van deze proefsectie. Er is een damwand van 141 meter loodrecht op de Houtribdijk geplaatst waar zand tegen aan gestort is. De damwand is op de dijk aangesloten door hiertussen geocontainers te plaatsen. Deze containers worden bijeen gehouden door een geotextiel waarop stortsteen geplaatst is.

De driehoekige proefsectie is in 5 vakken verdeeld. De eerste twee vakken hadden een ontwerptalud van 1:30 en de laatste drie vakken 1:25. Vakken 2 en 3 zijn in het bovenwater talud met holocene grond ingemengd. Verder zijn er zes zakbakens geplaatst om de zetting van de ondergrond te meten.

Onderaannemer van Schaik heeft een rijsmatconstructie aangelegd van 1.600 m<sup>2</sup> op de grens van vak 3 en 4. Deze constructie bestaat uit een wiepenrooster (gebundelde wilgentakken) met hiertussen een kokosmat. Na het strooien van vruchtbare grond zijn hierop rietplanten geplant. Dit zinkstuk is omringd door palen zodat bij een waterstandverhoging en golven tijdens een storm, het niet wegdrijft.

Tot slot heeft van Schaik een stuifscherm van 400 meter aangebracht en heeft Deltares een monitoringsmast geïnstalleerd op de damwand.

### 1.3 OPZET RAPPORTAGE

De lokaal uit te voeren vooronderzoeken zijn kort belicht in Hoofdstuk 2. Ook wordt hier kort ingegaan op de overige vergunningen.

Vervolgens zijn in Hoofdstuk 3 de contractueel op te leveren onderdelen nader beschouwd. Daarbij komen achtereenvolgens aan de orde de opsluitconstructie (damwand en gording), het zand, de holocene bovengrond, de zakkakens, de betonning, het stuifscherm, de zinkstukken, de geocontainers en de afstorting ervan. Ook de surveys worden kort besproken.

In Hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de wijze waarop de proefsectie is aangelegd. Hierbij gaat de aandacht expliciet uit naar het onderdeel 'aanbrengen van het zand'.

Hoofdstuk 5 geeft een overzicht van de belangrijkste bevindingen en in Hoofdstuk 6 worden de relevante onderzoeksvragen zo goed mogelijk beantwoord.

Tot slot is in de bijlage van deze rapportage uitvoeriger ingegaan op de zandvolumes, de profielen en de korreldiameter.

### 1.4 TOTSTANDKOMING

De initiële versie van deze rapportage is opgesteld door H.J. Steetzel, Sonja Ouwerkerk en Jasper Fiselier en vervolgens besproken met de direct betrokken EcoShape-partners.



# 2 Lokale vooronderzoeken

Alvorens met de daadwerkelijke aanleg van de proefsectie kon worden begonnen moest een aantal vooronderzoeken worden uitgevoerd. Omdat een deel van deze onderzoeken direct gekoppeld was aan de werkzaamheden van de aannemer, zijn deze ook via hem afgehandeld. Deze onderzoeken zijn in het volgende kort benoemd.

## 2.1 NIET-GESPRONGEN EXPLOSIEVEN

Alvorens sonderingen konden worden uitgevoerd moest de ondergrond eerst worden gecontroleerd op de aanwezigheid van conventionele explosieven (CE). Dit onderzoek is in opdracht van Fugro Geoservices uitgevoerd door Saricon (Saricon, 2014). Op basis van de beoordeling van al het - op het moment van opstellen van dit rapport - beschikbare bronnenmateriaal is geconcludeerd dat er geen indicaties zijn om te spreken van de mogelijke aanwezigheid van CE. Het onderzoeksgebied is derhalve geheel onverdacht van CE.

Deze informatie is ook van belang voor het versterkingsproject Houtribdijk en inmiddels aan hen ter beschikking gesteld.

## 2.2 SONDERINGEN

Het geotechnisch veldwerk is uitgevoerd door Fugro Geoservices BV (Fugro Geoservices, 2014). Uit de uitgevoerde sonderingen bleek dat er ter plaatse van de pilot een zandlaag aanwezig is tot grofweg NAP-5 m. Tussen NAP-5 m en NAP-13 m bevindt zich een dikke weinig draagkrachtige klei/veenlaag. Onder het NAP-13 m niveau ligt een dikke draagkrachtige zandlaag.

Deze informatie is ook van belang voor het versterkingsproject Houtribdijk en inmiddels aan hen ter beschikking gesteld.

### *Zettingen*

De resultaten van de sonderingen hebben geleid tot de constatering dat rekening moet worden gehouden met enige zetting van de ondergrond. Hiertoe is het ontwerpprofiel van een extra ophoging voorzien teneinde in de eindsituatie (over 4 jaar bij beëindiging van de pilot) nog over voldoende kruinhoogte te kunnen beschikken.

Uiteindelijk is ervoor gekozen het profiel 0,3 m extra op te hogen (kruin op NAP+1,5 m i.p.v. 1,2 m) en de taludhellingen iets steiler te definiëren.

### *Damwandlengte*

Voor een stabiele damwandconstructie is het nodig dat de onderzijde van de wand tot in de draagkrachtige laag reikt. Er is uiteindelijk voor gekozen om de damwand in te brengen tot het NAP-13,5 m

niveau. In eerste instantie was rekening gehouden met een damwand van beperktere lengte (9 m i.p.v. 15,5 m), iets wat een groot effect had op de hiervoor geraamde kosten.

## 2.3 ARCHEOLOGISCH ONDERZOEK

In opdracht van Boskalis Nederland hebben Monolithic Archeologie en ADT een bureauonderzoek en een inventariserend veldonderzoek uitgevoerd op de locatie van de proefsectie. Hierbij is een hoge resolutie side scan sonar gebruikt.

Het uitgevoerde opwater-onderzoek heeft geen treffers opgeleverd. Aanbevolen is daarom geen nader archeologisch onderzoek uit te voeren.

Dit advies is uiteindelijk overgenomen door de gemeente Lelystad die hierin weer is geadviseerd door dr. A. van Holk van het Nieuwland Erfgoedcentrum.

Dit traject bleek relatief moeizaam te verlopen. Meer informatie is opgenomen in de rapportage aangaande de Lessons Learned vergunningen (EcoShape, 2015).

Deze informatie is ook van belang voor het versterkingsproject Houtribdijk en inmiddels aan hen ter beschikking gesteld.

## 2.4 KABELS EN LEIDINGEN

Door het Kadaster is een lijst geleverd met belanghebbende netbeheerders. Na contact met de netbeheerders bleek geen van de belanghebbenden kabels of leidingen in de buurt van de projectlocatie te hebben.

## 2.5 VERGUNNINGEN EN VOORWAARDEN

### 2.5.1 OMGEVINGSVERGUNNING

De omgevingsvergunning is aangevraagd door EcoShape (EcoShape, 2015) en is op 12 juni 2014 door de gemeente Lelystad verleend.

Het onderdeel 'bouwen' heeft hierbij betrekking op de damwand en het aanbrengen van de monitoringsmast. Het onderdeel 'werk' gaat over de feitelijke aanleg van het voorland.

### 2.5.2 WATERVERGUNNING

Ook dit traject is getrokken door EcoShape (EcoShape, 2015). De vergunning is verleend vlak voor de geplande start van de werkzaamheden. Voor het daadwerkelijk opstarten was er echter ook nog een goedkeuring op het werkplan nodig. Uiteindelijk heeft dit geleid tot een halve dag vertraging van de start van het heien van de damwand.

Deze kwestie komt uitgebreider aan de orde in de lessons learned rapportage over de vergunningen (EcoShape, 2015).

### 2.5.3 RELEVANTE VOORWAARDEN

#### *Beperkte instroomsnelheid aanzuigbuis*

De beschikbaar gestelde watervergunning vereist bij het onttrekken van meer dan 100 m<sup>3</sup>/uur water aan een in beheer bij het Rijk zijnde oppervlaktewater een maximale instroomsnelheid van 0,3 m/s.

De aanzuiging voor de jetpomp van het Hollandsch Diep voldeed hier niet aan. Door de technische dienst van Boskalis is een nieuwe zuigkorf ontworpen waardoor de instroomsnelheid onder de 0,3 m/s uit komt. In Figuur 1 zijn deze zuigkorven weergegeven.



Figuur 1 Gebruikte zuigkorven ter reductie van de instroomsnelheid.

#### *Kardinale betonning en zichtbaarheid*

Teneinde gevaar voor de scheepvaart te voorkomen is aan de meerzijde van de proefsectie kardinale betonning (twee boeien) aangebracht.

De bovenkant van de damwand heeft als aanleghoogte NAP+2,0 m waardoor deze ook bij hogere waterstand goed zichtbaar is. Daarnaast zijn er radarreflectoren op de damwand aangebracht.

#### *Eisen Nb-wet*

In het najaar ruien vogels in de luwte van de Houtribdijk ook ter hoogte van Trintelhaven. De aanleg van de pilot kon al voor de bouwvak starten, zodat de werkzaamheden al konden worden afgerond voor 15 september. Elke vorm van verstoring kon daarmee worden uitgesloten.

#### *Eisen Flora- en Faunawet*

De Flora- en Faunawet vereist het zorgvuldig omgaan met beschermde diersoorten. Van belang in het projectgebied is met name de rivierdonderpad waarvan verwacht werd dat deze zich tussen de stortstenen aan de teen van de dijk zou bevinden. Bij het aanbrengen van het zand zouden deze beesten dan komen te overlijden.

Om deze diersoort te beschermen zijn deze beestjes gevangen met behulp van zogenaamd elektro-vissen en een eind verder langs de dijk weer uitgezet.



Figuur 2 Electro-vissers in actie.

Deze activiteit is op 17 juli 2014, vlak voor het aanbrengen van het zand, uitgevoerd. Uiteindelijk is daarbij één rivierdonderpad gevangen. Het resultaat van deze actie is terug gemeld aan de provincie (Arcadis, 2014).

# 3

## Op te leveren onderdelen

In het volgende is een korte opsomming gegeven van door de aannemerscombinatie op te leveren onderdelen (DE Combinatie, Opleverdossier Pilot Voorlandoplossing Houtribdijk, 2014a).

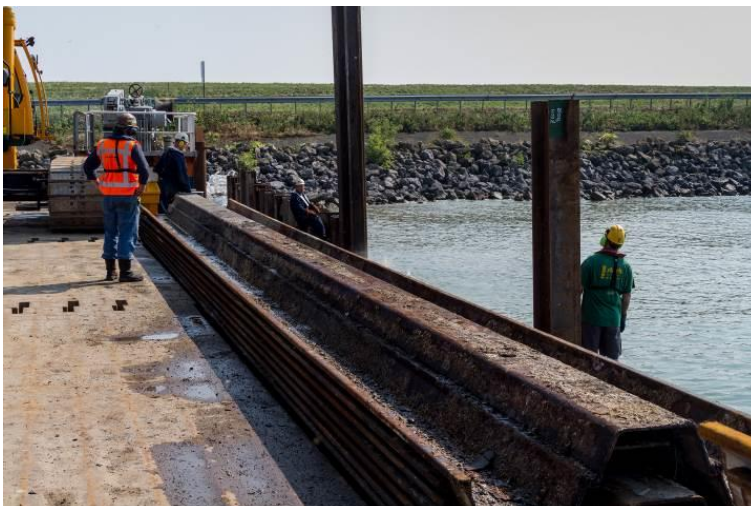
### 3.1 OPSLUITCONSTRUCTIE

#### 3.1.1 DAMWAND

Als hoofdonderdeel van de opsluitconstructie is een damwand over een lengte van 141 meter haaks op de Houtribdijk aangebracht. Het begin van de damwand sluit aan op de hier aanwezige bestorting van de teen van de dijk. Het net buiten deze constructie starten van de heiwerkzaamheden was ook een vergunningseis vanuit de Waterwet (zie Paragraaf 2.5.2).

Voor de bovenzijde van de damwand is een niveau van NAP+2,0 m aangehouden teneinde deze goed zichtbaar te laten zijn en achterin voldoende hoogte te hebben voor het zijdelings opsluiten van het zandpakket.

De dimensies van de damwand zijn gebaseerd op de resultaten van de uitgevoerde sonderingen (zie Paragraaf 2.2). Er is daarbij gekozen voor een Larsen S3 type damwand met een lengte van 15,5 meter (zie Figuur 3).



Figuur 3 Aanbrengen damwandplanken vanaf ponton.

Deze damwand (breedte 500 mm, hoogte 280 mm en wanddikte 14 mm) betrof een eerder gebruikte plank en kon daarom tegen een gereduceerde prijs worden aangeschaft.

### 3.1.2 GORDING

Een andere functie van de damwand (naast het zijwaarts opsluiten van de zandige vooroever) is het verschaffen van toegang tot de proefsectie vanaf het water middels een gording/deksloof. Hiertoe is een gording van het type HEB 500 profiel (Figuur 4) vast gelast aan de damwand waardoor een solide en veilige basis ontstond welke ook voor aanvullende constructies (radarreflector, trapje, etc.) is te gebruiken. De breedte van de gording bedraagt 500 mm en is breed genoeg om over heen te lopen.



Figuur 4 Aanbrengen gording op damwand.

In Figuur 5 zijn de damwand en gording in zijn geheel weergegeven, inclusief de aanvullende veiligheidsvoorzieningen. Zo is er een fender geplaatst, een trap om de damwand op en af te stappen en een reling waar men zich aan vast kan houden.

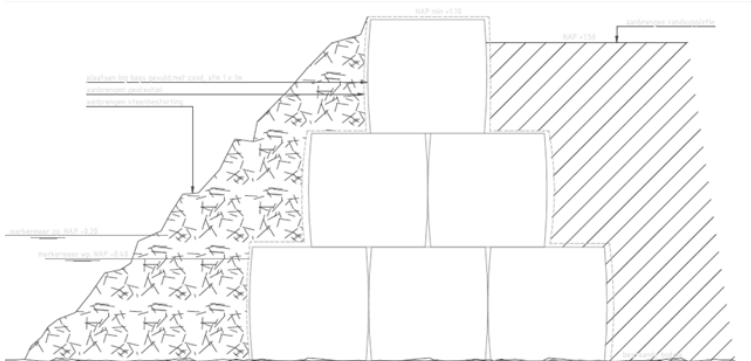


Figuur 5 Damwand gereed.

### 3.1.3 GEO-CONTAINERS EN STORTSTEEEN

De damwand is op de dijk aangesloten door hiertussen geocontainers (zakken met zand) te plaatsen. In het ontwerp van Figuur 6 is te zien dat de geocontainers als een piramide opgestapeld zijn waarna hier

een doek overheen gespannen is. De binnenkant (rechterzijde van de ontwerptekening) is met zand en de buitenkant met stortsteen aangevuld. De geocontainer-piramide bevindt zich in het verlengde van de damwand.



Figuur 6 Ontwerp aansluitingsconstructie damwand op dijk.

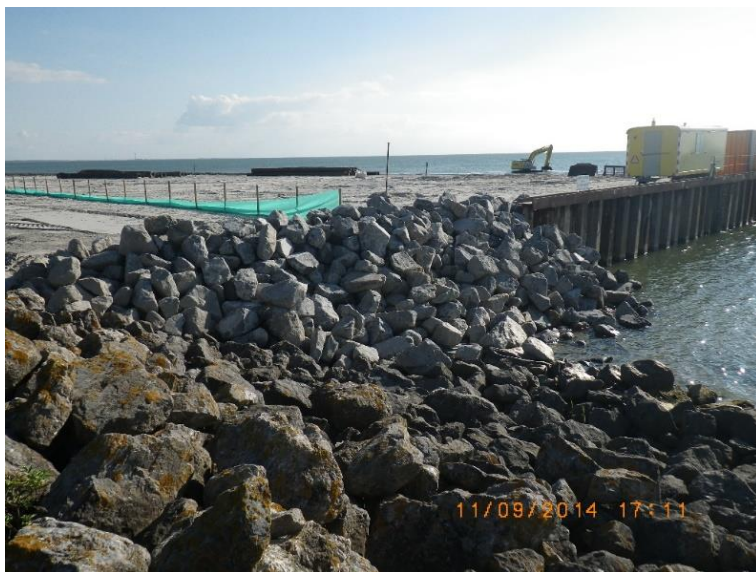
Deze constructie heeft als voordeel dat de aanwezige dijkconstructie niet wordt beschadigd, iets wat ook als eis naar voren kwam tijdens het overleg met de beheerder van de dijk. Dit laatste heeft ook geleid tot de eis om de noordwestzijde van de aansluiting te voorzien van een bestorting welke aan zou sluiten op de voor de dijk reeds aanwezige bestorting. Dit reduceert de risico's ten aanzien van het 'lekker' van de aansluiting en beschermt de geocontainers tegen de effecten van eventuele ijsgang. De aangebrachte stortsteen heeft een sortering van 40/200 kg. In totaal is er 80 ton stortsteen aangebracht.

De geocontainers zijn gemobiliseerd vanaf de loswal in Lelystad met behulp van een ponton. Na transport naar de pilotlocatie zijn de geocontainers door de stortkraan getransporteerd en geplaatst tussen de dijk en de damwand. Een kraanschip heeft vervolgens het stortsteen en doek vervoerd en met een kraan op het zandlichaam geplaatst. Na het doek over de geocontainers te hebben gespannen is met behulp van de shovel het stortsteen tegen de geocontainers gestort.

In Figuur 7 zijn de geocontainers te zien en in Figuur 8 het resultaat na het aanvullen van zand en stortsteen.



Figuur 7 Geplaatste geocontainers tussen dijk en begin damwand.



Figuur 8 Resultaat aanbrengen stortsteen in noordwesthoek aansluiting.

### 3.1.4 VERWIJDERING OPSLUITCONSTRUCTIE IN APRIL 2018

In het kader van de verleende vergunningen is de eis gesteld dat de pilot in het voorjaar van 2018 zal moeten worden opgeruimd. Afgesproken is daarbij dat het zand mag blijven liggen, maar dat de opsluitconstructie bestaande uit de damwand, de geocontainers en de stortstenen aanvulling na 1 april 2018 zal worden verwijderd. Dit laatste is ook opgenomen in het huidige contract.

Na verwijdering van de opsluitconstructie zal de dan aanwezige zanddriehoek zich langs de dijk verspreiden.

## 3.2 ZAND

Voor de aanvoer van het zand zijn gedurende 23 dagen in totaal 123 scheepsladingen zand aangevoerd. Deze ladingen varieerden tussen de 450 tot 937 m<sup>3</sup> gemeten in de beun met een gemiddelde van 686 m<sup>3</sup> per lading. In totaal is 84.437 m<sup>3</sup> aangevoerd.

De wijze waarop het zand is aangebracht is beschreven in Hoofdstuk 4.



Figuur 9 Overzicht aangebrachte zand.

De ontwikkeling van de hoeveelheid aangevoerd zand en de hoeveelheid in situ is nader uitgewerkt in Bijlage 1 van deze rapportage.



### 3.3 HOLOCENE TOPLAAG

#### 3.3.1 WINNING EN AANBRENGEN

Het holoceen dat gebruikt is om de toplaag van een deel van de pilot in te mengen met zand is gewonnen uit het centrale Markermeergebied. De hiertoe gebruikte winlocatie maakt onderdeel uit van een bestaande ontgronding [4 februari 2010WSV 2010.01], kadastraal bekend als Gemeente Lelystad, Sectie R, nummer 173.

Op de winlocatie heeft een kraanschip door middel van een gesloten knijper bodemmateriaal opgegraven. Daarbij is lokaal een laag van 1,5 tot 2,0 meter weggenomen. Eenmaal geladen is het kraanschip terug naar de projectlocatie gevaren om het holoceen materiaal over de damwand in een open container op het zandlichaam te lossen. In de periode 1 tot 13 september zijn 13 vaarten op deze manier uitgevoerd.

Het aangevoerde holoceen materiaal is vervolgens met behulp van een shovel uit de container geschept en verreden naar de plaats van verwerking op het zandlichaam.

Om hoogteverschillen te voorkomen is een inkassing in het zandlichaam gemaakt waardoor na afloop een uniform kruinniveau ontstond.

#### 3.3.2 HOEVEELHEDEN

In de begroting is uitgegaan van een hoeveelheid van 3.000 m<sup>3</sup> aan holoceen materiaal.

De daadwerkelijke aangevoerde hoeveelheden zijn bepaald aan de hand van het verschil in inzinking voor en na een lossing. Dit leverde het netto tonnage per vaart. In totaal is 3.327 ton holoceen materiaal aangevoerd.

Door een schatting van het soortelijk gewicht (1.240 kg/m<sup>3</sup>) is dit tonnage omgerekend naar een volume. Totaal is ongeveer 2.683 m<sup>3</sup> holoceen materiaal gestort en verwerkt.



Figuur 10 Overzicht doorgemengde holoceen grond.

Het holoceen materiaal is aangebracht over een oppervlakte van 8.200 m<sup>2</sup> (zie ook Figuur 18 op pagina 22). Gemiddeld is er zo 0,33 m<sup>3</sup> holoceen materiaal per m<sup>2</sup> aangebracht. Het materiaal is over een diepte van ongeveer 1 m ingemengd en resulteert daarmee dus in een gemiddeld holoceenpercentage van 33 % in

deze toplaag. Dit sluit aan bij de wens om te komen tot een mengverhouding van globaal 30 % holoceen en 70 % zand.

### 3.4 STUIFSCHERM

Ten behoeve van het stuifscherm is door DE Combinatie 500 meter doek (materiaal BT-protect) aangeschaft. Totaal ging het om 10 rollen van 50 meter lang en 1 meter hoog. In onderling overleg is besloten dat de onderaannemer van Schaik de perkoenen levert en het doek aan de dijkzijde op het stort aanbrengt. Het stuifscherm begint bij de aansluiting van de dijk op de damwand en eindigt na circa 450 meter parallel aan de Houtribdijk.

Om het scherm te maken zijn houten palen in de grond gedrukt waarna hier het doek tussen gespannen is. Het doek is bevestigd aan de palen door houten latten tegen de palen aan te schroeven.

In Figuur 11 is het begin van het stuifscherm weergegeven en in Figuur 12 is een foto van het einde van het stuifscherm te zien.



Figuur 11 Begin stuifscherm naast damwand.



Figuur 12 Beëindiging stuifscherm aan zuidoostzijde.

### 3.5 RIJSMATCONSTRUCTIE

Onderdeel van deze pilot is om te zien hoe een zinkstuk gemaakt van wilgenhout waar riet op groeit zich gedraagt op een voorlandoever. Met name het gedrag tijdens een storm en het potentieel reducerende effect op golven is interessant.

Voordat het zinkstuk gemaakt is zijn eerst palen de grond ingedrukt waartussen het zinkstuk vervolgens bevestigd is. Deze palen zorgen ervoor dat tijdens een waterstandsverhoging gedurende een storm het zinkstuk niet opdrijft en wegspoelt. Met behulp van de stortkraan zijn de palen de grond ingedrukt. Dit proces is te zien in Figuur 13.



Figuur 13 Aanbrengen palen t.b.v. rijsmatconstructie.

Na het inbrengen van de palen is begonnen aan de constructie van het wiepenrooster (gebundelde wilgentakken). De wiepen zijn door de shovel aangeleverd, zie Figuur 14.



Figuur 14 Maken wiepenrooster.

Tussen dit wiepenrooster is een kokosmat geplaatst. Op deze mat kunnen de rietplanten zich nesten. Deze constructiestap is weergegeven in Figuur 15.



Figuur 15 Toevoegen kokosmat.

Tot slot zijn de rietplanten tussen het rooster geplant (zie Figuur 16).



Figuur 16 Planten rietplanten.

Het zinkstuk is 16 meter breed en 100 meter lang, waarmee het totale oppervlak op 1.600 m<sup>2</sup> komt. Figuur 17 geeft een overzichtsfoto van het zinkstuk en het stuifscherm.



Figuur 17 Overzichtsfoto zink scherm en stuif scherm.

## 3.6 SURVEYS

### 3.6.1 VLAKDEKKENDE OPNAMEN

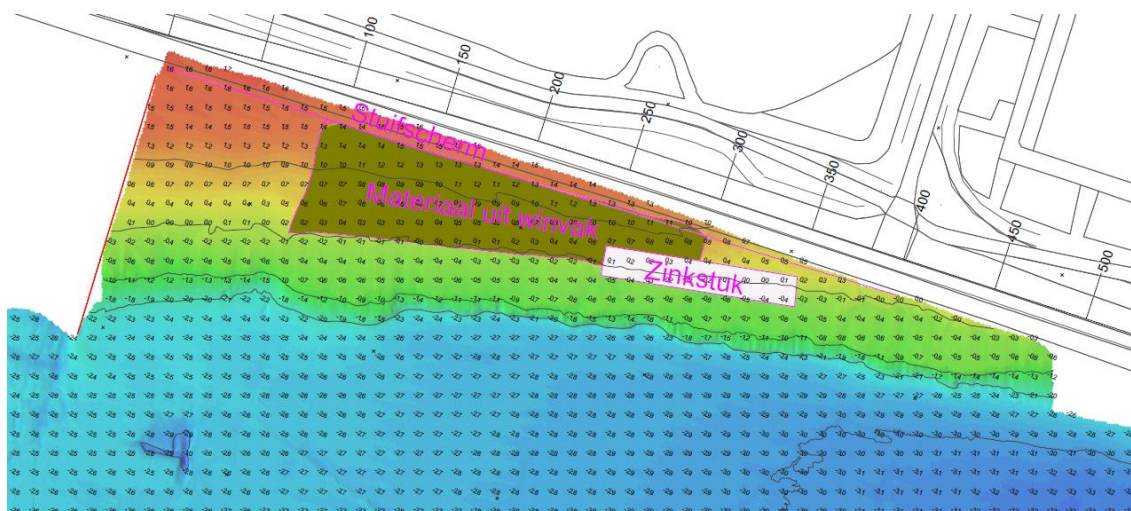
DE Combinatie heeft een aantal landmetingen uitgevoerd waarbij het droge deel van het proefvak is ingemeten. Deze zijn gecombineerd met een natte peiling welke is uitgevoerd door een peilboot met een multibeam.

In totaal zijn zes gecombineerde metingen uitgevoerd: een begin- en een eindmeting plus vier tussenmetingen. Voor meer details wordt verwezen naar Bijlage 1.

### 3.6.2 POSITIE STUIFSCHERM, ZINKSTUK EN MENGVAK

Door de landmeter is ook een overzicht gemaakt van het geplaatste stuifscherm, het zinkstuk en de contour van het mengvak, zie Figuur 18.

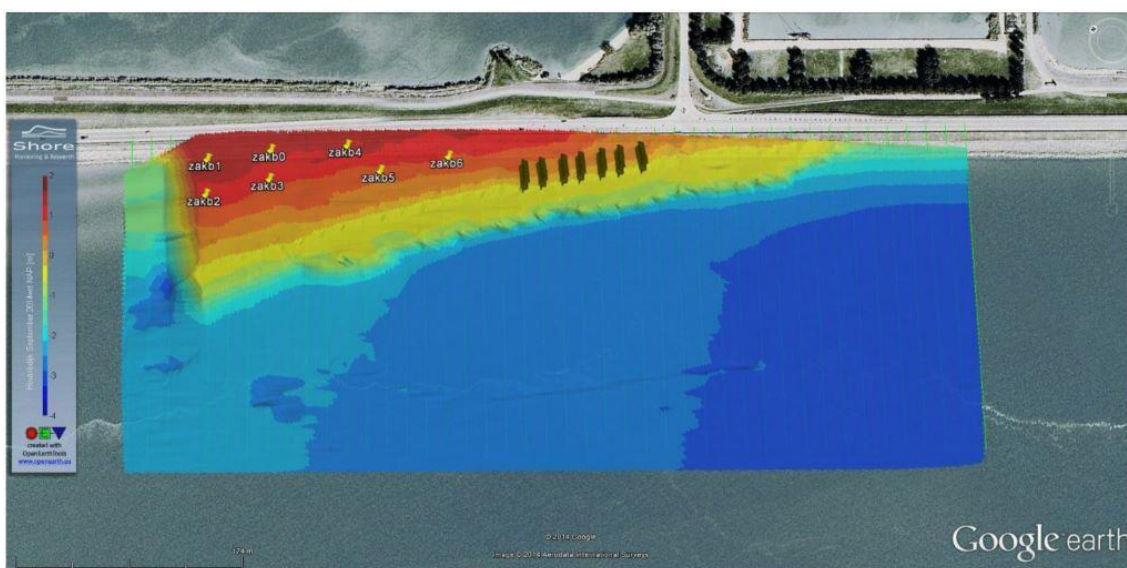
Het oppervlakte van het hierin aangegeven mengvak bedraagt circa 8.200 m<sup>2</sup>.



Figuur 18      Overzicht posities geplaatste stuifscherm, zinkstuk en mengvak.

### 3.6.3      ZAKBAKENS

Gedurende het gehele project zijn de zes zakbakens ingemeten. De hiervoor gehanteerde posities zijn gegeven in Figuur 19 en wijken enigszins af van de ontwerptekening.



Figuur 19      Positie zakbakens (inmeting Shore).

Een eerste ruwe schatting van het zettingsverlies volgt uit het product van de oppervlakte van de verhoging (47.000 m<sup>2</sup>) en de gemiddelde eindzakking (4,3 cm). Dit leidt tot een met de zetting samenhangend volumeverschil van orde 2.000 m<sup>3</sup>.

In Bijlage 3 is een meer gedetailleerde uitwerking gegeven van de kwantificering van dit verlies. Conclusie hiervan is dat het in situ zettingsvolume

Een meer gedetailleerde analyse van de (doorgaande) zettingen maakt onderdeel uit van de reguliere rapportage waarbij de morfologische ontwikkeling van de proefsectie na aanleg wordt beschouwd.

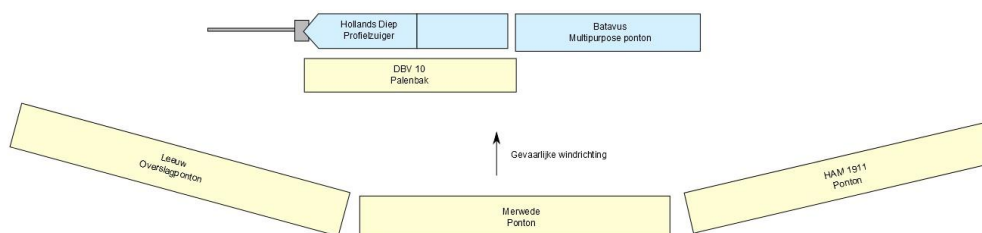
## 4

## Werkwijze aanbrengen zand

In het volgende is de werkwijze die gevolgd is voor het aanbrengen van het zand nader beschreven.

## 4.1 LOSVOORZIENING

Het zandlichaam tegen de bestaande Houtribdijk is hydraulisch aangelegd. Er is gekozen om hiervoor de losvoorziening “Hollandsch Diep en Batavus” (Figuur 20) in te zetten. Deze losvoorziening is voorzien van een HGM (hydraulische graafmachine) en grondpers. De HGM schept m.b.v. een knijperbak het aangevoerde zand uit beunschepen in een trechter van de grondpers. De grondpers mengt dit droge zand met water en perst het zand/water-mengsel vervolgens via een pijplijn naar de werklocatie.



Figuur 20 Opstelling losvoorziening

De losvoorziening is afgemeerd op eigen spudpalen op circa 250-300 meter afstand uit de Houtribdijk zuidoostelijk van de proefsectie waar voldoende diep water aanwezig is ten behoeve van de geladen beunschepen die het zand aanvoeren.

## 4.2 SPROEIEEN

Na het aanbrengen van de damwand is begonnen met het aanleggen van de vooroeveraانvulling. Het zand-watmengsel is gespreoid door de drijvende leiding op een ponton te leggen waardoor het mengsel vrij uit kon stromen. Dit sproeistuk is verankerd worden met een lijn aan de damwand. Na verloop van tijd ontstond een eiland onder het sproeistuk waardoor dit meerdere malen verplaatst moest worden met behulp van de Apollo (multicat). Een overzichtsfoto is gegeven in Figuur 21.



Figuur 21 Sproeien vanaf ponton in beginfase.

### 4.3 BOVEN WATER

Na 2 dagen productie (op 16 juli) was genoeg zand opgespoten om een klein eiland te laten ontstaan. Op dat moment konden ook de stortkraan en bulldozer vanaf de loswal in Lelystad door de HAM1911 en duwboot Maasstroom 11 worden gemobiliseerd.

Figuur 22 geeft het moment van aankomst op het eiland weer.



Figuur 22 Ontstaan eiland boven water.

Het bovenwatertalud is standaardwerk en ook uitgevoerd door de bulldozer machinist met hulp van een land Surveyor die piketten uitzet met hierop de op de tekening aangegeven ontwerphoogte.

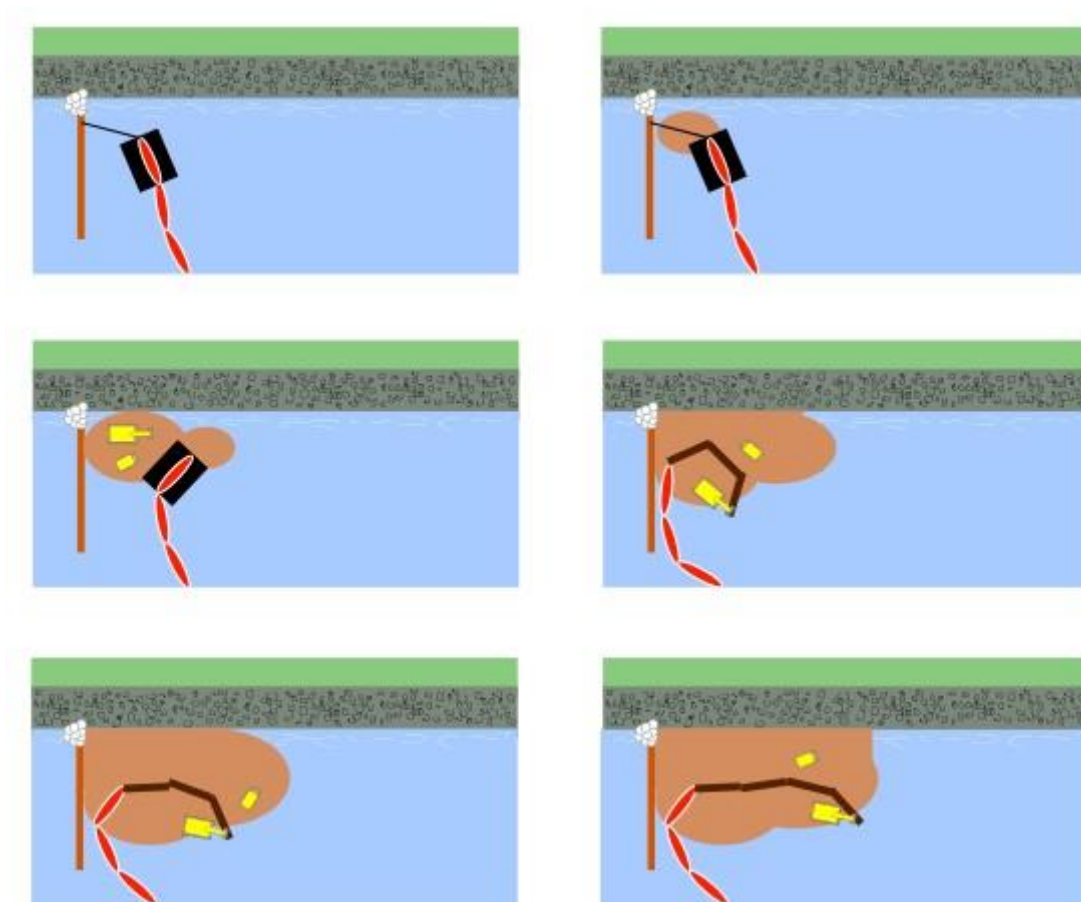
### 4.4 TALUD AANBRENGEN

Nadat het zandlichaam boven water was uitgekomen kon de drijvende leiding deels op land worden gelegd en worden gekoppeld aan landleidingen. Zo kon het zand/water-mengsel uitstromen richting het water (zie de vierde stap in Figuur 23). Met deze methode komt het onderwatertalud al rond de 1:25 te liggen.



Vanaf circa 100 meter vanaf de damwand is met twee fasen gewerkt. Eerst is een overhoogte aangebracht waarna de kraan het zand in het water kon verwerken; daarna heeft de bulldozer het profiel heeft afgemaakt.

Aan de hand van de uiteindelijke dwarsprofielen (zie Bijlage 2) is te zien dat bij de dwarsprofielen waar de bulldozer het onderwater talud gemaakt heeft een knik ontstaat bij een waterdiepte van circa 0,5 meter. Bij de dwarsprofielen waar het talud gemaakt is door het zand/water-mengsel erin te sproeien (tot circa 100 meter vanaf de damwand) is te zien dat het talud goed overeenkomt met het ontwerp. Op grotere afstand is dit minder het geval.



Figuur 23 Overzicht spuitproces eerste 100 m vanaf de damwand.

#### 4.5 INZET LUWTEPONTONS

Werkcondities in het Markermeer kunnen door het weer erg slecht zijn. De losvoorziening bevond zich in het noordoosten van het Markermeer. Een zuidwesten wind (dominante windrichting in Nederland) zorgt op deze locatie voor hoge golven (lager wal). Door gebruik te maken van drie luwtepontons lagen de losvoorziening en de zandschepen beschut (zie Figuur 20).

Ondanks deze maatregel hebben de losvoorziening en de luwtepontons schade opgelopen door het slechte weer.

# 5

## Overzicht bevindingen

### 5.1 UITVOERING

#### *Conditie*

Tijdens de uitvoering heeft het gebruikte materieel aardig wat schade opgelopen en conclusie is dan ook dat het ingezette materieel eigenlijk te licht is geweest.

Werkcondities in het Markermeer kunnen vergeleken worden met die van de Waddenzee en vereisen zwaarder materieel.

Eigenlijk lag dit van te voren al in de lijn der verwachting, maar door de korte aanlooperperiode naar de uitvoering van het project was er beperkt materieel beschikbaar (hier moest het mee gedaan worden).

De lessons learned is om een volgend project zo in te richten dat de aanlooptijd naar uitvoering groter is zodat er keuze is uit meer materieel (Vraag: hoeveel meer tijd dan?). Hierbij is ook van belang dat vooronderzoeken (sonderingen e.d.) op tijd gefinancierd en dus beschikbaar zijn.

#### *Uitvoeringswijze*

In de pilot is gekozen voor een uitvoeringswijze waarbij zand aangevoerd wordt in schepen en met een kraan opgepakt wordt om vervolgens vermengd met water het zand hydraulisch met een zuiger te verpompen naar de locatie van het voorland. Deze werkmethode heeft goed gewerkt en lijkt ook geschikt op het moment dat het concept van de voorlandoplossing op grotere schaal wordt toegepast.

Wel is het zo dat bij opschaling andere werkmethodes mogelijk ook interessant en haalbaar worden. De optimale werkmethode zal bij opschaling onder meer afhangen van de zandwinlocatie, de waterdiepte rond het werk (bevaarbaarheid; welk equipment kan je toepassen) en de omvang (benodigd) volume van het werk.

#### *Verliezen*

Gerealiseerde beunkuubs in het werk bedragen 84.437 m<sup>3</sup>. In-situ is er 65.286 m<sup>3</sup> gemeten (zie Bijlage 1). Het verschil bedraagt dus 19.151 m<sup>3</sup> (23 %).

Deze verliezen zijn te wijten aan pakkingsverschillen tussen het materiaal in de beun en in-situ, zettingen tijdens de aanlegfase (1.531 m<sup>3</sup> in situ, zie Bijlage 3), en mogelijke zandverliezen uit het projectgebied.

Tijdens de uitvoering is er geen sprake geweest van het aanwezig zijn van een soort van erosiepluim bij de stort en dus ook niet van grote verliezen uit het projectgebied.

Wel is er mogelijk enige verlies van de fijnere fractie opgetreden. Op basis van ervaringen elders zou een dergelijk verlies betrekking hebben op orde 2 a 3 % van het aangebrachte volume. In hoeverre dit echt het geval is geweest zal mogelijk volgen uit een vergelijking van het aandeel fijne fractie tussen de beunmonsters (zie Bijlage 4) en de op het voorland ingewonnen monsters.

Het overgrote deel van het volumeverschil heeft te maken met de pakking van sediment. Over het algemeen is het in de beun van een schip gemeten volume groter dan het in-situ-volume. De verhouding tussen het beunvolume en het in-situ-volume wordt ook wel aangeduid als de uitleveringsfactor ('bulking factor'). Deze waarde hangt af van het type sediment en de korrelverdeling van het sediment. Voor zand met een losse pakking geldt een factor van 1,05 tot 1,15. Voor een middelmatige pakking 1,15 tot 1,25. In dit geval is er tijdens de aanleg sprake van de omgekeerde situatie waarbij het losgepakte zand in het beun in de vorm van een voorland onder golfaanval wordt aangebracht. Daarmee neemt de dichtheid toe, zeker als er in later stadium ook nog veel zwaar verkeer op het strand plaatsvindt. Waarschijnlijk is een factor van 1,20 tot 1,25 hier een redelijke waarde.

Een en ander leidt tot de volgende sluitende balans.

Aangevoerd ongeveer 85.000 m<sup>3</sup> wat leidt tot 68.000 tot 70.000 m<sup>3</sup> in situ. Van dit volume gaat 1.500 m<sup>3</sup> op aan zettingsverliezen en mogelijk 1.500 tot 2.000 m<sup>3</sup> aan verlies van fijne fracties.

Het restant van tot 64.500 tot 67.000 m<sup>3</sup> is ook daadwerkelijk in situ gemeten (65.500 m<sup>3</sup>).

### ***Holoceen materiaal***

De slibvangput Markermeer heeft goede (vruchtbare; zie NMIJ project) klei. Vermengen met zand heeft op het eerste gezicht goede grond opgeleverd voor vegetatieontwikkeling. Dit zal nader onderbouwd worden door Deltares en Alterra als onderdeel van het werkprogramma.

### ***Zakkingen dijk***

Zakkingen van de dijk als gevolg van het plaatsen van een zandig voorland bleken niet aan de orde. Dit was mede het gevolg van de aanwezigheid van het op deze overgang nog aanwezige cunet.

### ***Verstuiving***

Er vindt verstuiving van zand over het droge deel van het voorland plaats (net als op het strand). Er is tijdens de aanleg geen zand op de weg terecht gekomen. Het materiaal zit dicht bij de grond en wordt aan de teen van de dijk ingevangen. Er zijn stuifschermen geplaatst aan de teen van de dijk; de zandinvang die hier plaatsvindt zal gemonitord worden als onderdeel van de reguliere uitgevoerde inmetingen.

## **5.2 VERGUNNINGEN**

De voortgang van de uitvoering van de pilot heeft geen hinder ondervonden van randvoorwaarden die vanuit de vergunningen opgelegd zijn. Vanuit de wet Flora en Fauna is een keer een bezoek gebracht aan de projectsite waarbij bleek dat de instroomsnelheid van het ingenomen koelwater iets te hoog was. Dit was eenvoudig te verhelpen.

In de aanloop naar de start van de uitvoering was er wel wat spanning of alle vergunningen op tijd binnen zouden zijn, maar uiteindelijk heeft de uitvoering nagenoeg geen vertraging opgelopen als gevolg van het op tijd verkrijgen van de benodigde vergunningen. Er was slechts een aantal uren verlet voor heistelling op de eerste werkdag.

Bij opschalen van het project is het goed om nog eens na te gaan of er mogelijk wel issues ontstaan met randvoorwaarden vanuit vergunningen. Hierbij valt te denken aan bijvoorbeeld nachtverlichting bij werkzaamheden maar ook toegestane werktijden (nacht, weekenden).

Het kan daarbij zinnig zijn om de onderbouwing van bepaalde eisen nog eens tegen het licht te houden. Dit is onderdeel van de nog op te stellen rapportage Guideline vergunningen.

### 5.3 CONTRACTVORM

Een aantal lessons learned, zoals hierboven beschreven, kan bij opschaling van het concept wellicht via een slimme contractvorm automatisch gerealiseerd worden. Hierbij kan gedacht worden aan een langjarig contract (aanleg realiseren over meerdere jaren; dan kan aannemer flexibel het juiste materieel inzetten als dit beschikbaar is, daarnaast kunnen door flexibiliteit kosten voorkomen worden, inclusief onderhoud (middels minimaal profiel).

Conclusie is dus dat de contractvorm van groot belang is.

## 6

## Beantwoording onderzoeksvragen

## 6.1 OVERZICHT ONDERZOEKSVRAGEN

Doelstelling van deze pilot is het beantwoorden van onderzoeksvragen zoals opgesteld in de opstartfase van het project. Deze vragen zijn gegroepeerd rond vijf thema's, te weten: het ontwerp van een veilig en stabiel voorland, de efficiënte aanleg van een voorland (inclusief vergunningen), het optimale beheer en onderhoud, het definiëren van geschikte toetsingsmethoden en de opschaalbaarheid van de resultaten van deze proefsectie naar locaties met andere karakteristieken.

Een overzicht van de onderzoeksvragen is weergegeven in Tabel 1.

Hoofdthema	Onderzoeksvraag	Opmerking
A - Ontwerp	1 - Taludhelling	
	2 - Gebruik mengsel	
	3 - Invloed vegetatie	
	4 - Veiligheidsontwerp	
B - Aanleg	5 - Vergunningenproces	
	6 - Efficiënte aanleg	Behandeld in deze rapportage
	7 - Vegetatie initiatie	
C - Beheer en onderhoud	8 - Behoud stabiel talud	
	9 - Instandhouding vegetatie	
D - Toetsing	10 - Toetsprotocollen	
	11 - Rol vegetatie	
	12 - Monitoringsfrequentie	
Opschaalbaarheid	13 - Toepassingsbereik	

Tabel 1 Overzicht onderzoeksvragen voor pilot.

Voor dit rapport is enkel de aanleg (onderdeel B) van belang.

De onderzoeksvragen binnen dit thema zijn:

- Hoe ziet het vergunningenproces voor de aanleg van een voorland eruit?
- Hoe kan het beoogde talud worden aangelegd met minimale inspanning?
- Hoe kan de beoogde vegetatie zo snel mogelijk worden gerealiseerd?

De vergunningen in dit project zijn aangevraagd en behandeld door EcoShape en komen terug in een andere rapportage. De initiële aanleg van de vegetatie was wel onderdeel van de aanleg. Maar de verdere ontwikkeling van de aangebrachte vegetatie valt hier niet onder.

Resteert dus slechts een verhandeling over de aanleg van met name het talud, dit refererend naar de in Hoofdstuk 4 beschreven werkwijze.

## 6.2 BEANTWOORDING HOOFDVRAAG

De hoofdvraag luidt dus: Hoe kan het beoogde talud worden aangelegd met minimale inspanning?

Zoals in Hoofdstuk 4 besproken is eerst zand aangebracht met een sproeiponton, waarbij gebruik is gemaakt van de aangebrachte damwand als zijopsluiting. Eenmaal boven water uitgekomen zijn de stortmachines gemobiliseerd waarna een leiding op het stort gelegd wordt richting het water (zie de vierde stap in Figuur 23). Met deze methode komt het onderwatertalud al rond de 1:25 te liggen. Vanaf circa 100 meter vanaf de damwand is met twee fasen gewerkt: eerst is een overhoogte aangebracht waarna de kraan het zand in het water kon verwerken, daarna heeft de bulldozer het profiel afgemaakt. Met deze methode is op het verder van de damwand gelegen deel een duidelijke knik te zien in het dwarsprofiel na een waterdiepte van circa 0,5 meter (zie Bijlage 2). Het diepere deel van het dwarsprofiel is hier relatief gezien steiler als oorspronkelijk voorzien.

## 6.3 BEANTWOORDING DEELVRAGEN

### 6.3.1 NAUWKEURIGHEID REALISATIE VOLUME EN PROFIELEN

*Welke nauwkeurigheid moet betracht worden bij de aanleg van een voorland met een bepaald volume en een bepaalde taludhelling?*

Boven de waterspiegel is het aanbrengen van het talud een standaard activiteit van een bulldozer. Gebruikmakend van een landmeter wordt dit proces vereenvoudigd door het plaatsen van piketten met hierop aangegeven de ontwerphoogte.

Het aanbrengen van het onderwater talud is tot op zekere diepte mogelijk met een bulldozer. Aan de hand van de uiteindelijke dwarsprofielen (zie Bijlage 2) is te zien dat bij de dwarsprofielen waar de bulldozer het onderwater talud gemaakt heeft een knik ontstaat bij een waterdiepte van circa 0,5 meter.

Bij de dwarsprofielen waar het talud gemaakt is door het zand/water-mengsel erin te sproeien ( $\pm 100$  meter vanaf de damwand) is te zien dat het talud goed overeenkomt met het ontwerp.

### 6.3.2 UITVOERING IN EEN WERKSLAG

*Kunnen de werkzaamheden in een werkslag uitgevoerd worden?*

Ja, door het zand/water-mengsel in het water te sproeien is het mogelijk het voorland in één enkele slag aan te leggen.

### 6.3.3 VERREKENING EFFECT ZETTING

*Hoe kan rekening gehouden worden met mogelijk optredende zettingen?*

Initiële zetting door dilatant gedrag van het aangebrachte zand-water mengsel is snel verholpen door het heen en weer rijden van de bulldozer en stortkraan.

De zetting van de ondergrond door de massa van het aangebrachte zandpakket is mede gezien de korte uitvoeringsduur beperkt tot maximaal 5 a 10 cm. Dit bij de dijk nemen als gevolg van de aanwezigheid van het hier aanwezige cunet de zettingen af.

### 6.3.4 ROL NATUUR BIJ ONTSTAAN HELLING

*Welke rol speelt de natuur bij het ontstaan van een talud met een bepaalde evenwichtshelling?*

De natuur zal een dynamisch evenwicht maken van het strandtalud. De aangebrachte 1:25 en 1:30 hellingen zullen na verloop van tijd slachtoffer zijn van dit proces. De ontwikkeling van de profielvorm is onderdeel van de lopende analyses.

### 6.3.5 AANLEG INITIËLE VEGETATIE

*Hoe is de initiële aanleg van de vegetatie door van Schaik gerealiseerd?*

Tijdens de aanleg zijn wiepenroosters (wiepen zijn bundels wilgentakken) met daartussen kokosmat geplaatst. Over dit rooster is vruchtbare aarde aangebracht waarna de rietplanten geplant konden worden. Dit zinkstuk is geplaatst tussen palen waarboven staaldraden gespannen zijn zodat deze op zijn plaats blijft bij eventuele waterstandverhoging bij storm.

De ontwikkeling van zowel de rijsmatconstructie als de hierop/hierin aangebrachte vegetatie is onderdeel van de lopende analyses.

# Literatuur

- Arcadis. (2014). *Resultaten elektrovisen tbv aanleg pilot vooroeverversterking Houtribdijk*.
- DE Combinatie. (2014a). *Opleverdossier Pilot Voorlandoplossing Houtribdijk*. Eindversie 26 september 2014.
- DE Combinatie. (2014b). *Eindewerk rapport pilot voorlandoplossing Houtribdijk*. Versie 4.
- EcoShape. (2015). *BwN Pilot Houtribdijk - Lessons Learned Vergunningen*.
- Fugro Geoservices. (2014). *Geotechnisch onderzoek Markermeer t.b.v. uitbreiding Houtribdijk*.  
Opdrachtnummer: 1314-0045-000.
- Saricon. (2014). *Vooronderzoek Conventionele Explosieven Houtribdijk Markermeer*.



# Bijlage 1 Zandvolumes

## Aangevoerd volume

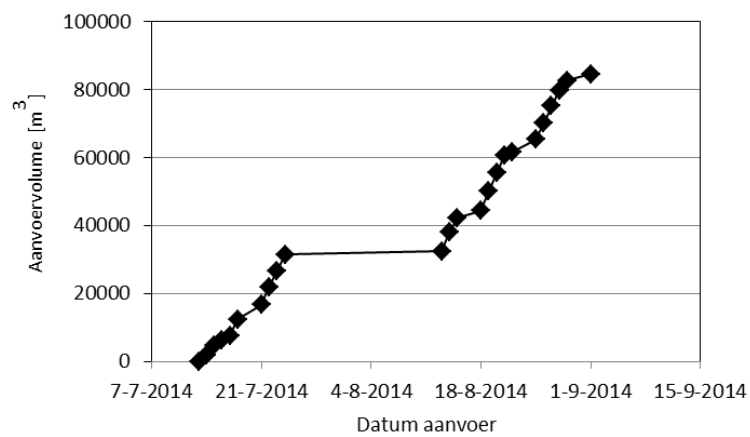
Voor de aanvoer van het zand zijn gedurende 23 dagen in totaal 123 scheepsladingen zand aangevoerd. Deze ladingen varieerden tussen de 450 tot 937 m<sup>3</sup> gemeten in de beun met een gemiddelde van 686 m<sup>3</sup> per lading. In totaal is 84.437 m<sup>3</sup> aangevoerd.

Een overzicht van de aangevoerde volumes is gegeven in Tabel B1 - 1. Dit overzicht is gebaseerd op de in het opleverdossier opgenomen overzicht (DE Combinatie, Opleverdossier Pilot Voorlandoplossing Houtribdijk, 2014a).

Nr.	Datum	Aantal ladingen	Volume [m <sup>3</sup> ]	Totaalvolume [m <sup>3</sup> ]	Opmerking
	07-7-2014				Inpeiling
1	14-7-2014	3	1773	1773	Eerste drie ladingen
2	15-7-2014	4	2698	4471	
3	16-7-2014	3	1765	6236	
4	17-7-2014	2	1324	7560	
5	18-7-2014	7	4761	12321	
6	21-7-2014	6	4301	16622	
7	22-7-2014	8	5144	21766	
8	23-7-2014	7	4911	26677	
9	24-7-2014	7	4714	31391	Laatste voor zomerreces
	25-7-2014			31391	1 <sup>e</sup> tussenpeiling
10	13-8-2014	1	861	32252	Eerste na zomerreces
11	14-8-2014	7	5654	37906	
12	15-8-2014	6	4277	42183	2 <sup>e</sup> tussenpeiling
13	18-8-2014	3	2083	44266	
14	19-8-2014	8	5760	50026	
15	20-8-2014	8	5243	55269	
16	21-8-2014	7	5109	60378	3 <sup>e</sup> tussenpeiling
17	22-8-2014	2	1178	61556	
18	25-8-2014	5	3650	65206	
19	26-8-2014	7	4864	70070	
20	27-8-2014	7	4942	75012	
21	28-8-2014	7	4547	79559	4 <sup>e</sup> tussenpeiling
22	29-8-2014	5	2989	82548	
23	1-9-2014	3	1889	84437	
	15-9-2014			84437	uitpeiling
		123	84.437		

Tabel B1 - 1      Overzicht aangevoerde volumes (kuubs gemeten in beun) en uitgevoerde peilingen.

De ontwikkeling van het aanvoervolume in de tijd is weergegeven in Figuur B1 - 1.

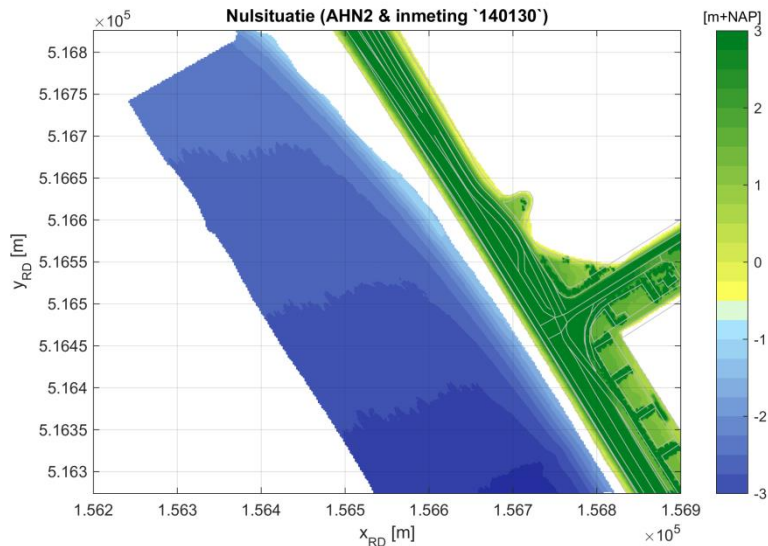


Figuur B1 - 1 Ontwikkeling aanvoervolume (beunkuubs).

## Ontwikkeling in-situ volumes tijdens aanleg

In de volgende figuren is de ontwikkeling van de aanleg gevisualiseerd.

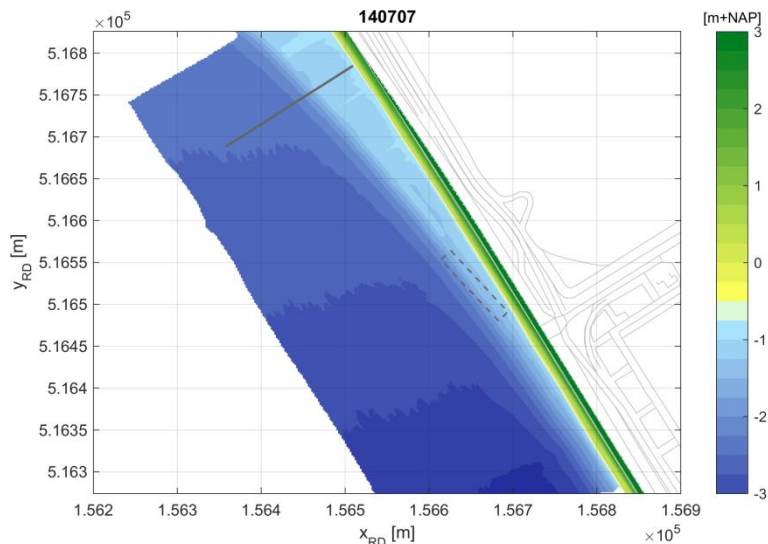
Startpunt is de initiële bodem zoals aanwezig voor de start van de uitvoering. Deze is weergegeven in Figuur B1 - 2.



Figuur B1 - 2 Bodemligging voorafgaand aan de aanleg.

In deze bodem ontbreekt het ondiepere deel van het profiel. Ook de dijk zelf zou hier onderdeel van moeten zijn.

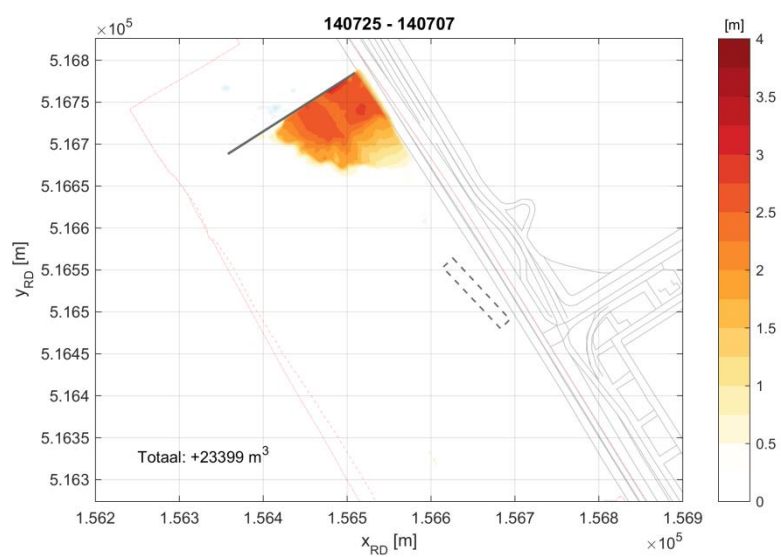
De aannemer heeft op basis van aanvullende inmetingen van het ontbrekende deel van de bodem vervolgens een gebiedsdekkende beginbodem geconstrueerd. Hierbij is de bodem van Figuur B1 - 2 gecombineerd met de aanvullende metingen en is het tussenliggende deel lineair geïnterpoleerd. Het resultaat van deze bewerking, de zogenaamde 7 juli bodem, is weergegeven in Figuur B1 - 3.



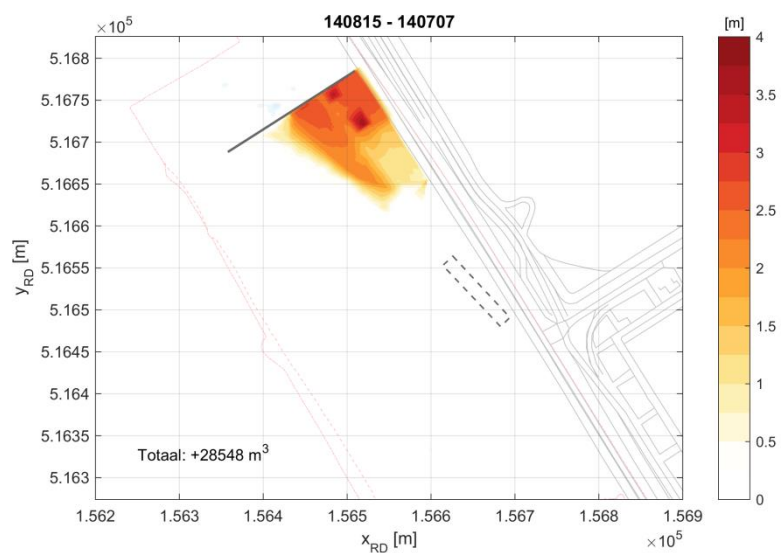
Figuur B1 - 3 Referentiebodem d.d. 7 juli 2014 met positie aan te brengen damwand.

In de door DE Combinatie beschikbaar gestelde rapportage is deze bodem gebruikt om de in situ aanwezige zandvolumes te bepalen.

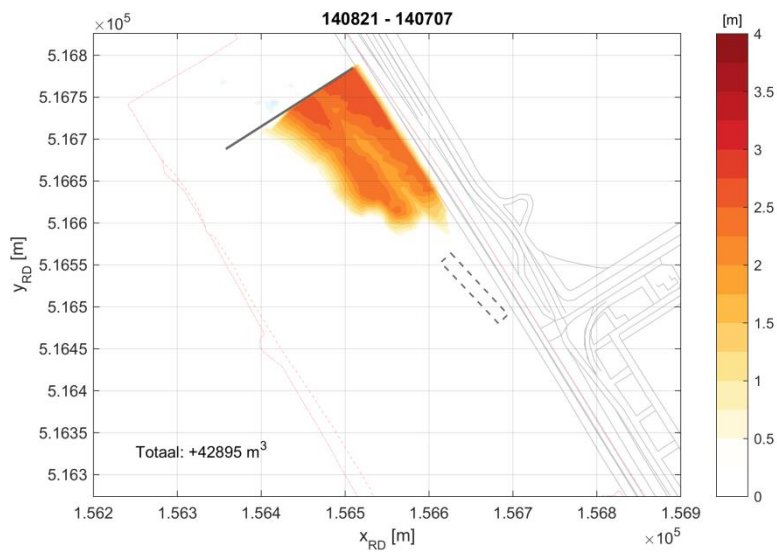
Er zijn 4 tussenpeilingen (25 juli, 15 augustus, 21 augustus en 28 augustus) en 1 uitpeiling (15 september) uitgevoerd (zie ook Tabel B1 - 1).



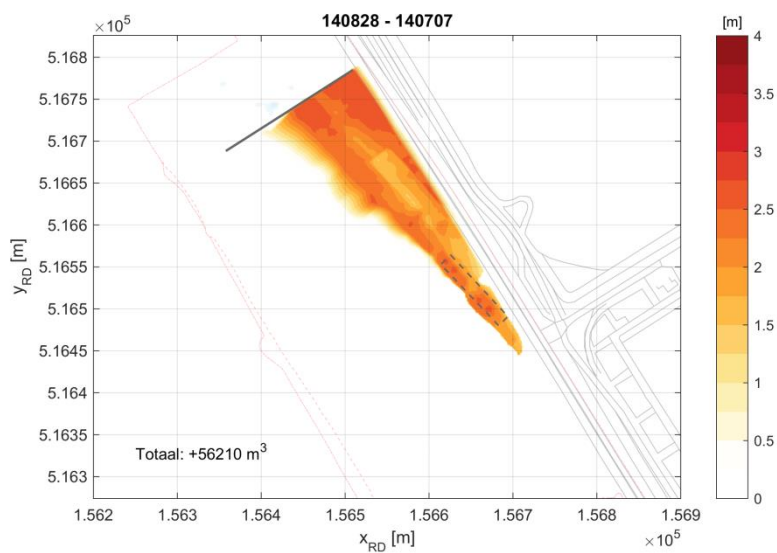
Figuur B1 - 4 Vershil bodemligging tussen eerste tussenpeiling van 25 juli 2014 en uitgangsbodem van 7 juli 2014 (inclusief verschilvolume).



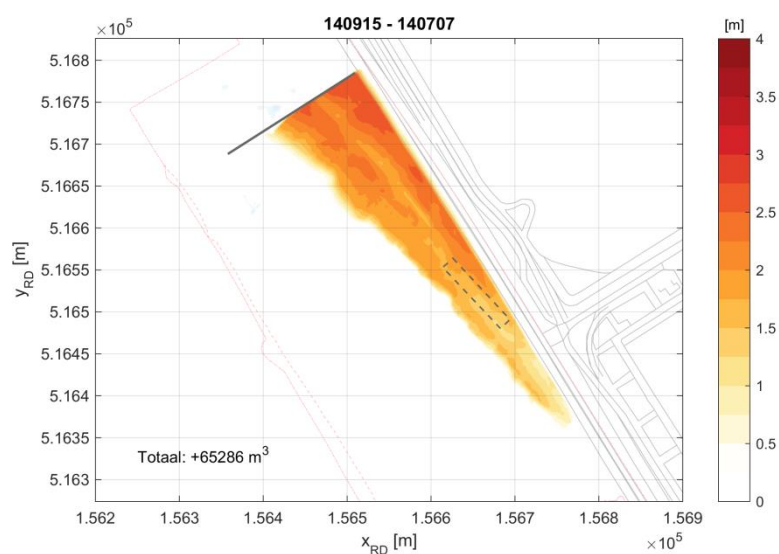
Figuur B1 - 5 Vershil bodemligging tussen tweede tussenpeiling van 15 augustus 2014 en uitgangsbodem van 7 juli 2014 (inclusief verschilvolume).



Figuur B1 - 6 Vershil bodemligging tussen derde tussenpeiling van 21 augustus 2014 en uitgangsbodem van 7 juli 2014 (inclusief verschilvolume).



Figuur B1 - 7 Vershil bodemligging tussen vierde tussenpeiling van 28 augustus 2014 en uitgangsbodem van 7 juli 2014 (inclusief verschilvolume).



Figuur B1 - 8 Verschil bodemligging tussen uitpeiling van 15 september 2014 en uitgangsbodem van 7 juli 2014 (inclusief verschilvolume).

In de verschillende figuren is ook het momentane verschil gegeven tussen de beide bodems.

In het laatste geval verwijst deze dus naar het totaal in het pilotsectie aanwezige verschilvolume, zijnde  $65.286 \text{ m}^3$ .

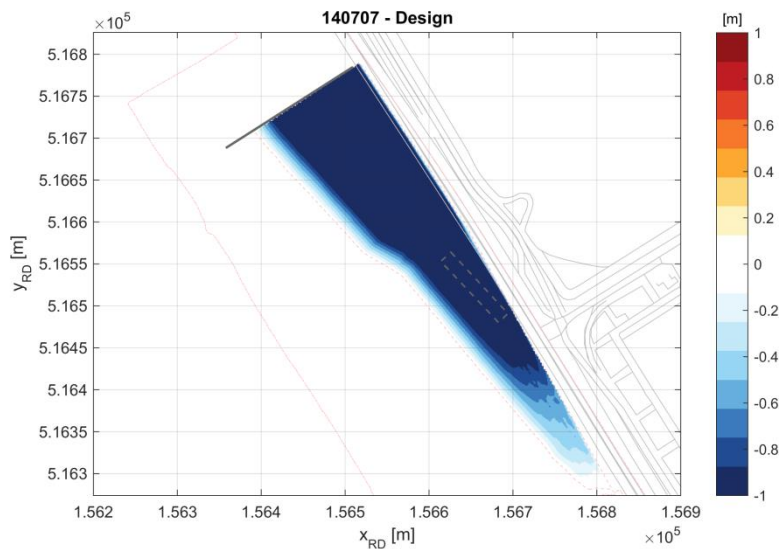
Een overzicht van de ontwikkeling van de in-situ-volumes is gegeven in Tabel B1 - 2.

Datum	Toelichting	Volume [ $\text{m}^3$ ]	
7 juli	Beginbodem		
25 juli		23.399	
15 augustus		28.548	
21 augustus		42.895	
28 augustus		56.210	
15 september	Eindpeiling	65.286	

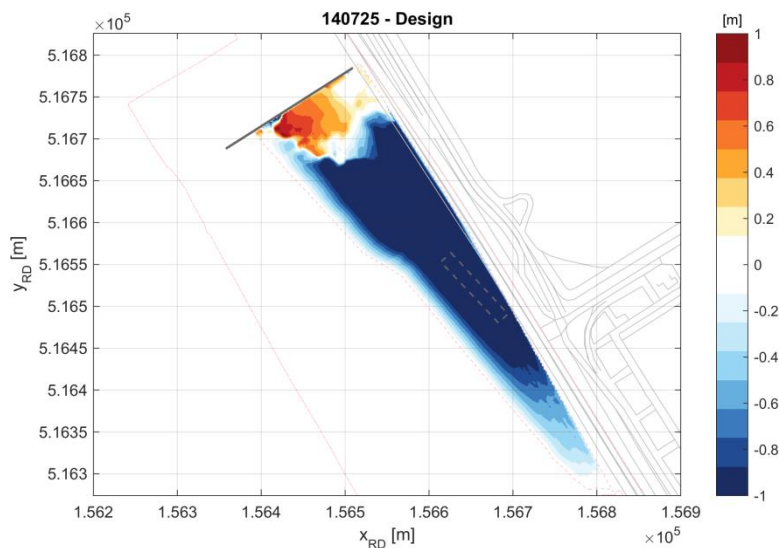
Tabel B1 - 2 Overzicht ontwikkeling aangebrachte volume (boven initiële bodem).

## Vergelijking ontwikkeling in-situ volumes ten opzichte van ontwerp

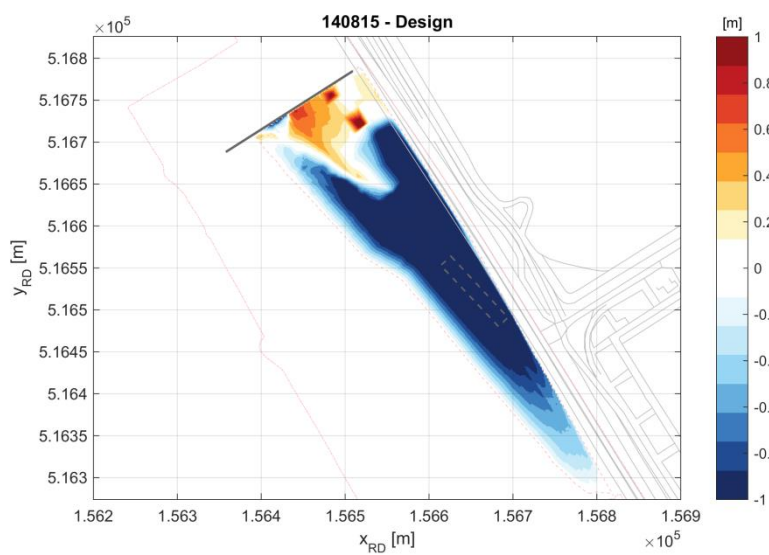
De volgende figuren zijn gebaseerd op de verschillende tussenopnamen en steeds vergeleken met de ontwerpbodem. De blauwe kleur verwijst daarbij naar een situatie waarbij de actuele bodem nog (steeds) beneden de ontwerpbodem is gelegen. Rode kleuren verwijzen naar een overmatige aanvulling. Figuur B1 - 9 toont de initiële (blauwe) situatie. In de tijd neemt de omvang van het blauwe deel af.



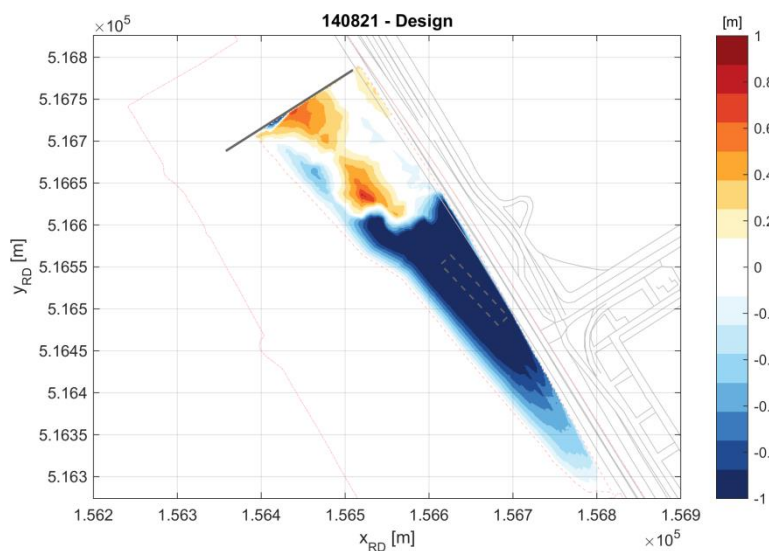
Figuur B1 - 9 Verschil bodemligging tussen inmeting 14 juli 2014 en ontwerp.



Figuur B1 - 10 Verschil bodemligging tussen meting 25 juli 2014 en ontwerp.

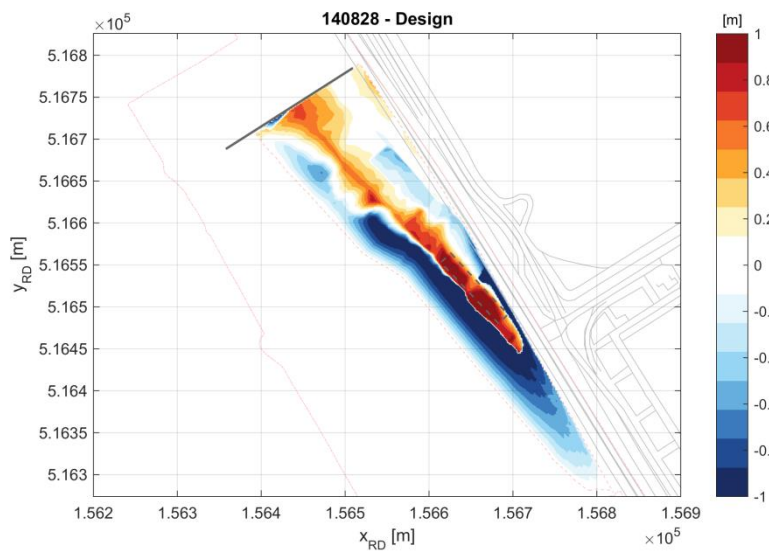


Figuur B1 - 11 Verschil bodemligging tussen meting 15 augustus 2014 en ontwerp

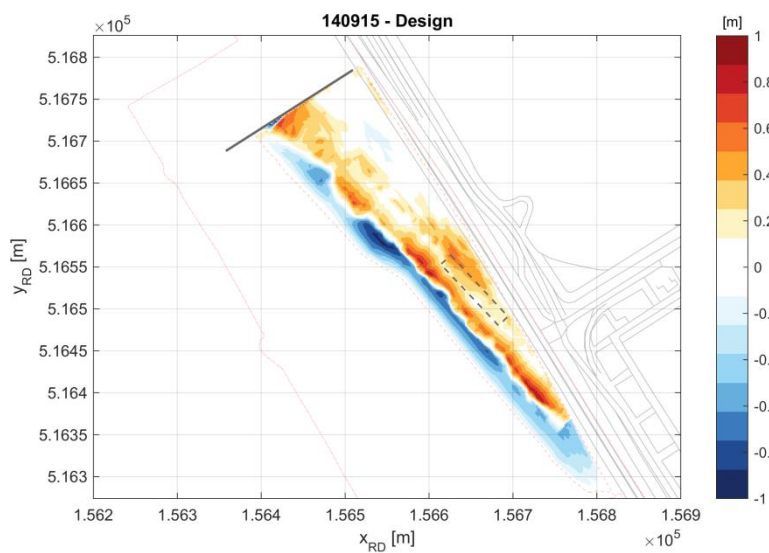


Figuur B1 - 12 Verschil bodemligging tussen meting 21 augustus 2014 en ontwerp





Figuur B1 - 13 Verschil bodemligging tussen meting 28 augustus 2014 en ontwerp



Figuur B1 - 14 Verschil bodemligging tussen uitmeting 15 september 2014 en ontwerp (gelijk aan Figuur B1 - 19).

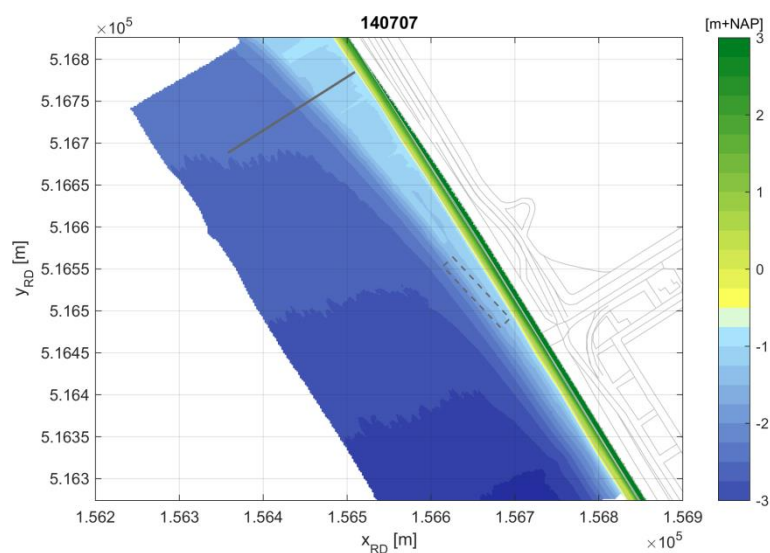
In de eindsituatie (uitmeting 15 september) is er voor een groot deel van het profiel sprake van een bovenmatige aanvulling (het aanlegniveau is hoger dan in het ontwerp voorzien). Langs de buitenrand is echter sprake van een blauwe zone wat duidt op het feit dat hier de gerealiseerde bodem onder het ontwerpniveau is gelegen.

## Overzicht volumes in situ

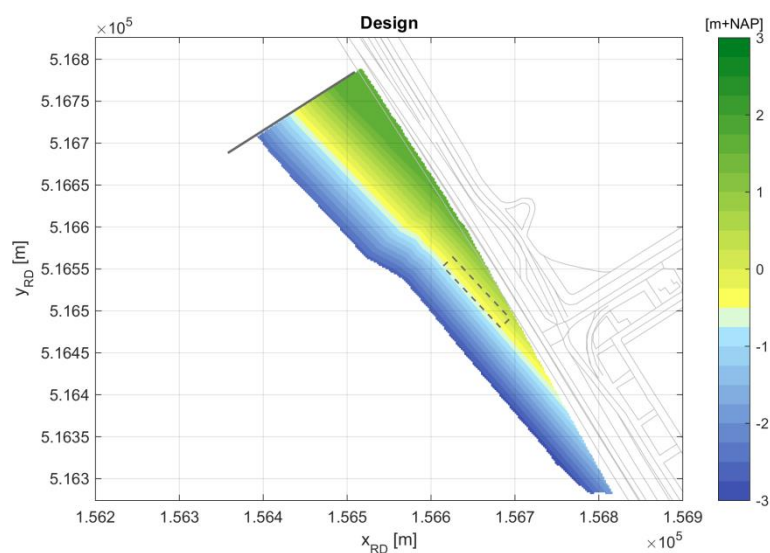
Voor het beschouwen van de zandvolumes zijn drie situaties van belang, namelijk:

- De nul-situatie voorafgaand aan de aanleg van de proefsectie;
- Het ontwerp (met een kruin op NAP+1,5 m) dat als uitgangspunt voor de aanleg van de proefsectie is gehanteerd;
- De eindopname bij oplevering van de proefsectie op 15 september 2014.

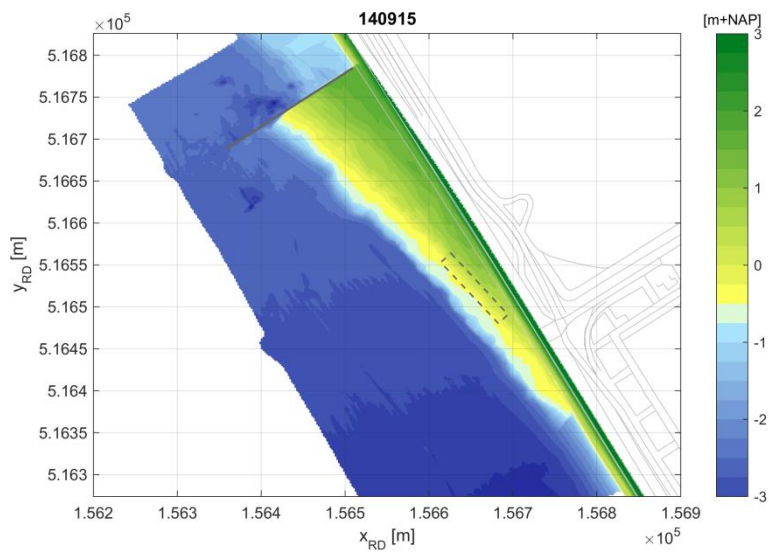
In de drie volgende figuren zijn deze situaties grafisch weergegeven.



Figuur B1 - 15 Bodemligging in nul-situatie voorafgaand aan de aanleg.

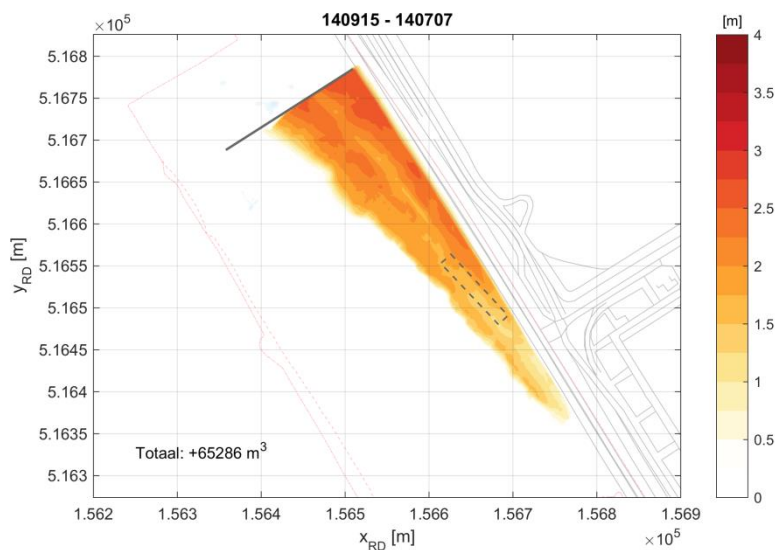


Figuur B1 - 16 De bodemligging in het op te hogen deel van het aanwezige profiel.



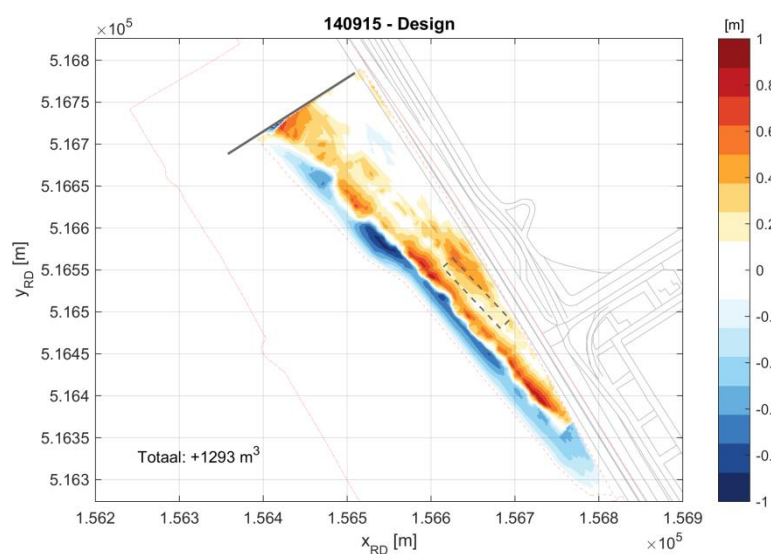
Figuur B1 - 17 Bodemligging volgens uitpeiling van 15 september 2014.

Op basis van een nadere analyse van het ontwerp is het benodigde volume geschat op circa 70.000 m<sup>3</sup>. Hierin zit echter een bepaalde onzekerheid die te maken heeft met het dwarsprofiel rond de waterlijn. Van belang zijn nu dus het verschil tussen de initiële bodem en de gerealiseerde aanleg zoals deze op 15 september is ingemeten. Deze is weergegeven in de onderstaande afbeelding.



Figuur B1 - 18 Verschil tussen initiële en eindbodem (betrokken op de beschikbare gegevens).

Deze verschilbodem geeft geen goed inzicht in het aangebrachte volume. Een beter beeld van de wijze waarop de gerealiseerde bodem aansluit op de ontwerpbodem is gegeven in Figuur B1 - 19.



Figuur B1 - 19 Verschil tussen gerealiseerde (opname 15 september) en ontwerpbodem (design).

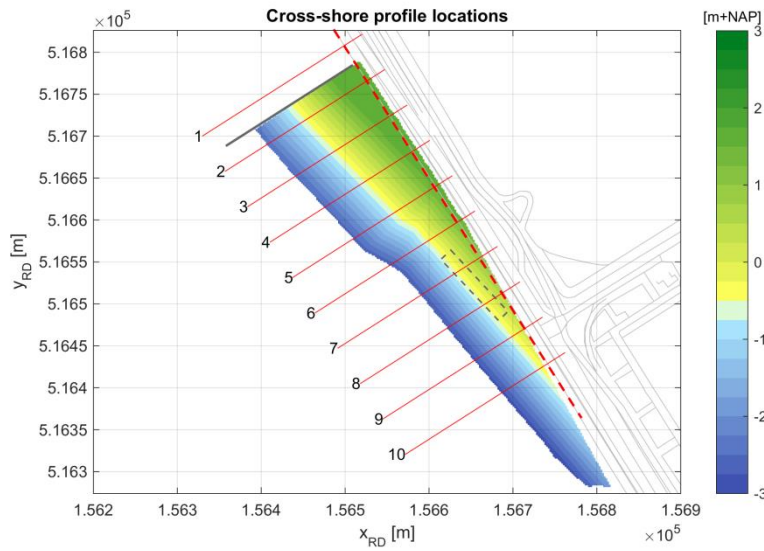
Het totaal aanwezige volume is iets groter dan het ontwerpvolume. Blijkbaar is er dus circa 1.300 m<sup>3</sup> extra aangebracht. Qua volumes is daarmee voldaan aan de opdracht.

In de figuur is overigens ook te zien dat duidelijk sprake is van een zone waarin relatief gezien teveel materiaal ligt (op het hogere deel van het talud) en een zone waarin relatief te weinig materiaal is terecht gekomen (het diepere onderwaterdeel van het talud). Op deze verschillen is nader ingegaan in Bijlage 2 van deze rapportage.

## Bijlage 2 Dwarsprofielen

In het volgende is een vergelijking gegeven tussen de profielen zoals deze kunnen worden ontleend aan het ontwerp van de proefsectie en de profielen zoals deze zijn ontleend aan de eindpeiling.

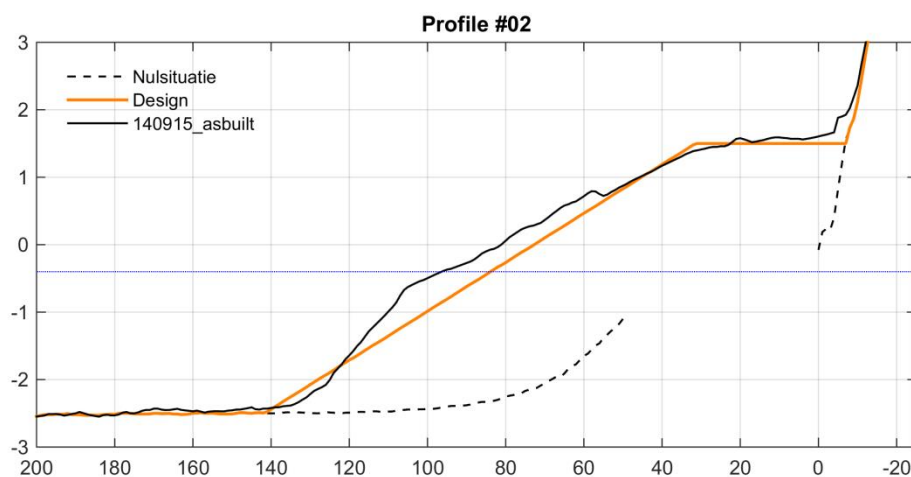
In Figuur B2 - 1 is een overzicht gegeven van de in dit kader gehanteerde profielen. Deze profielen zijn op onderlinge afstanden van 50 m gepositioneerd waarbij de profielen #1 en #2 op 25 m uit de damwand zijn gelegen.



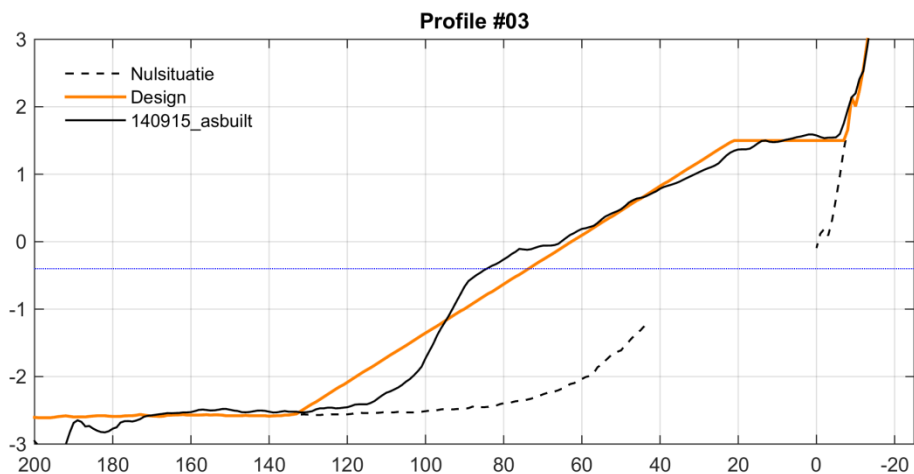
Figuur B2 - 1 Overzicht locaties beschouwde dwarsprofielen.

Profielen #2 en #3 vallen dus binnen het 100 m brede vak 1, #3 en #4 binnen vak 2, enzovoort. Profiel #10 bevindt zich in het zogenaamde restvak (vak 5) op 25 m vanaf de vakgrens met vak 4.

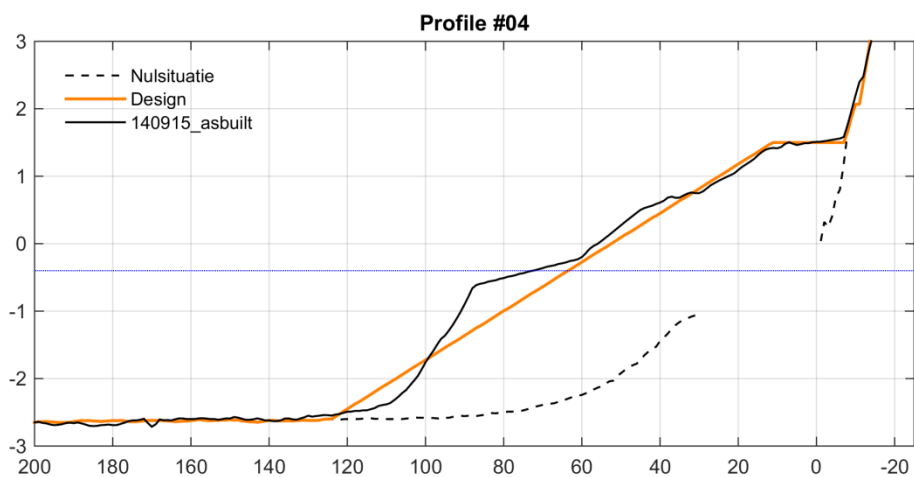
De dwarsdoorsneden ter plaatse van deze profielen zijn samengebracht in Figuur B2 - 2 tot en met Figuur B2 - 10.



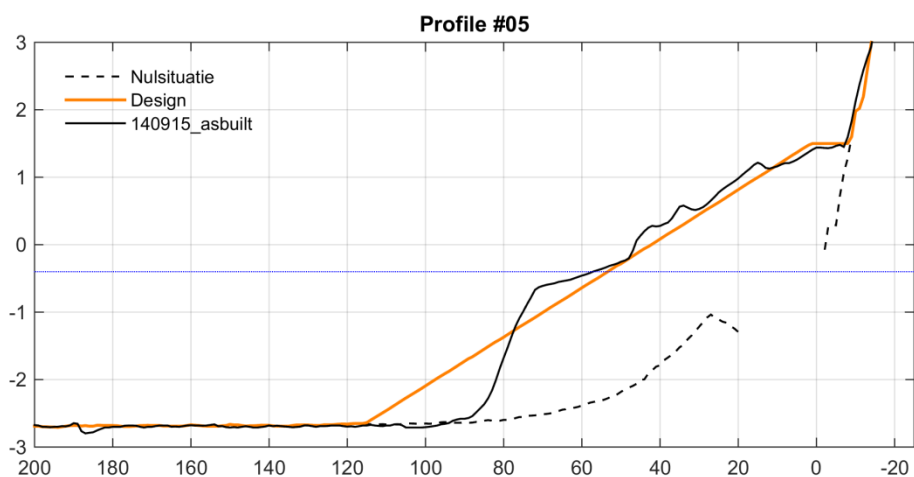
Figuur B2 - 2 Dwarsprofielen ter plaatse van doorsnede #2 in vak 1 (zie Figuur B2 - 1 voor locatie).



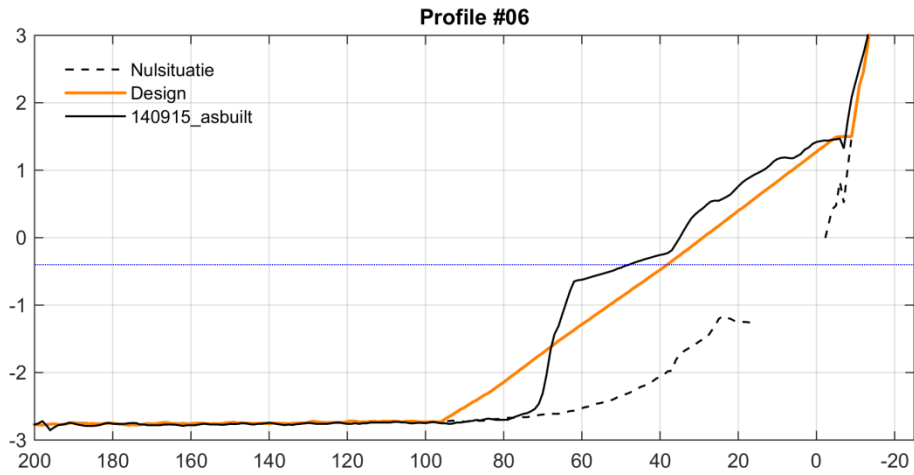
Figuur B2 - 3 Dwarsprofielen ter plaatse van doorsnede #3 in vak 1 (zie Figuur B2 - 1 voor locatie).



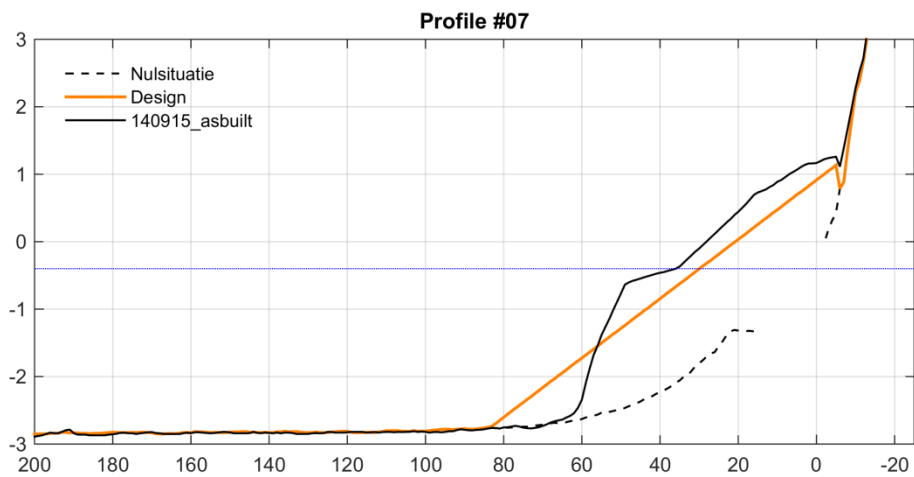
Figuur B2 - 4 Dwarsprofielen ter plaatse van doorsnede #4 in vak 2 (zie Figuur B2 - 1 voor locatie).



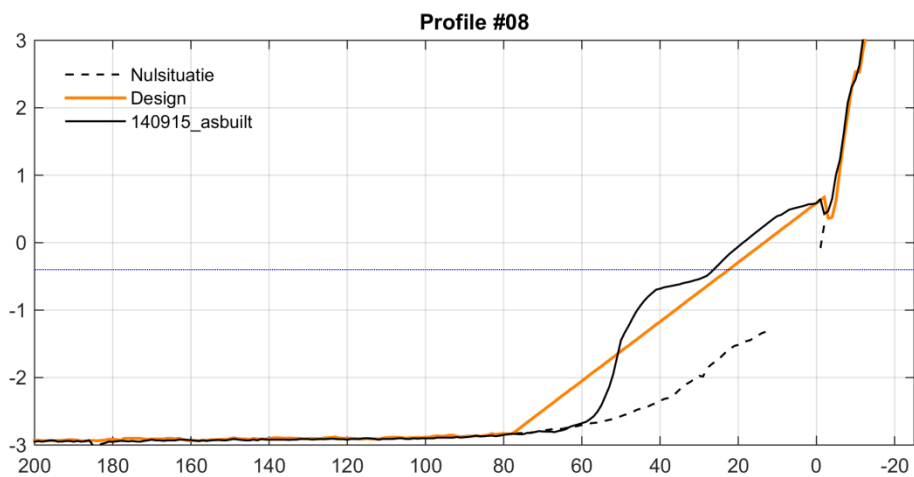
Figuur B2 - 5 Dwarsprofielen ter plaatse van doorsnede #5 in vak 2 (zie Figuur B2 - 1 voor locatie).



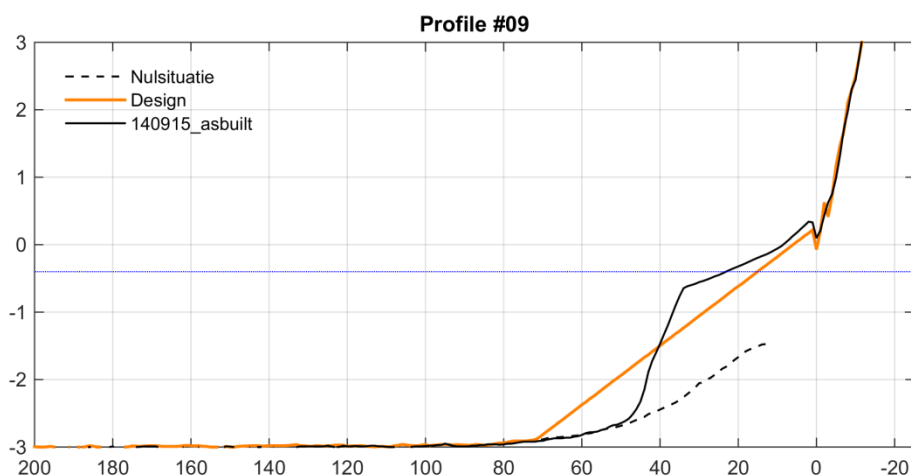
Figuur B2 - 6 Dwarsprofielen ter plaatse van doorsnede #6 in vak 3 (zie Figuur B2 - 1 voor locatie).



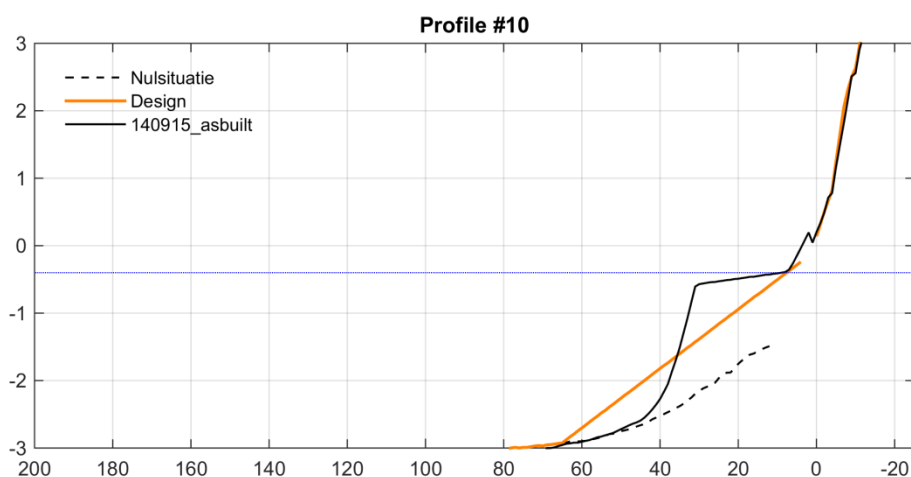
Figuur B2 - 7 Dwarsprofielen ter plaatse van doorsnede #7 in vak 3 (zie Figuur B2 - 1 voor locatie).



Figuur B2 - 8 Dwarsprofielen ter plaatse van doorsnede #8 in vak 4 (zie Figuur B2 - 1 voor locatie).



Figuur B2 - 9 Dwarsprofielen ter plaatse van doorsnede #9 in vak 4 (zie Figuur B2 - 1 voor locatie).



Figuur B2 - 10 Dwarsprofielen ter plaatse van doorsnede #10 in vak 5 (zie Figuur B2 - 1 voor locatie).

De profielen laten zien dat er, afgezien van de direct naast de damwand gelegen doorsnede (profiel #02), sprake is van een relatief steil onderwatertalud. Te zien is dat de overgang naar het steilere diepere deel van het profiel rond het NAP-0,6 m niveau is gelegen, dit is 0,4 m beneden het bij de aanleg aanwezige zomerpeil. Dit is ook de grens tot waar het zand met bulldozers naar het diepere deel kon worden geschoven.

Het diepere deel van het profiel vertoont in het verder van de damwand af gelegen deel van de proefsectie een helling 1 : 5 a 6. Naast de damwand (profiel #01) bedraagt deze helling 1 : 15. De volgende twee profielen laten een helling van ongeveer 1 : 10 zien. Dit is ook de sectie waar de stortpijp lag.

In het oorspronkelijke ontwerp was ook voorzien in een langsvariatie van de helling. Ten opzichte van dit ontwerp is er nu met name in het verder van de damwand gelegen deel sprake van een veel steilere helling als voorzien. Vanuit het oogpunt van de pilot is dit feitelijk geen bezwaar en wordt op deze wijze juist inzicht verkregen in het effect een (te?) steile helling.

*In hoeverre deze initiële (steile) profielvorm bepalend is voor de verdere ontwikkeling van de dwarsprofielen zal de tijd leren. Van belang is wel dat sprake is van voldoende zand in het profiel opdat het natuurlijke evenwicht zich kan instellen zonder dat sprake is van een significante achteruitgang van de waterlijn. De analyse van de vervolgentwikkeling van de profielen komt in een latere rapportage aan de orde.*



Het tekort aan zand in het profiel wordt hierbij overigens meestal voldoende gecompenseerd door extra materiaal in het hogere deel van het profiel. Het netto verschilvolume per doorsnede is samengebracht in Tabel B2 - 1.

Profiel	Verschilvolume [m <sup>3</sup> /m <sup>1</sup> ]	Strookbijdrage [m <sup>3</sup> ]	Opmerking
#02	25,3	1263	Eerste profiel op 25 m van de damwand
#03	-12,4	-620	
#04	11,8	589	
#05	-9,8	-490	
#06	13,3	665	
#07	10,5	527	
#08	1,8	88	
#09	-6,1	-305	
#10	-3,5	-174	Laatste profiel 25 m buiten grens vak 4 en5
totaal		1.544	Schatting totale verschilvolume voor de proefsectie

Tabel B2 - 1      Overzicht verschilvolume ten opzichte van ontwerpprofiel per strekkende meter en per 50 m –vak.

In een aantal profielen is sprake van een netto overschot aan materiaal. Dit is niet het geval in de (rood aangemerkte) profielen #03, #05, #09 en #10.

Uitgaande van de veronderstelling dat elk profiel karakteristiek is voor een strook van 50 m (25 m aan weerszijden) kan het verschilvolume per strekkende meter worden omgerekend naar een volumebijdrage per strook. Sommatie over de 9 stroken levert een schatting van het totale volumeverschil voor de 450 m lange proefsectie. Deze uitwerking resulteert in een ‘overschot’ van ongeveer 1.500 m<sup>3</sup>. Dit volume sluit aan bij het getal dat volgt uit de detailuitwerking (zie Figuur B1 - 19 op pagina 44).

## Bijlage 3 Zettingsverliezen

Tijdens de aanleg van de vooroever heeft er zetting van de ondergrond plaatsgevonden. Een gedeelte van het aangebrachte materiaal lijkt hiermee 'verdwenen'.

De omvang van deze zetting is bepaald aan de hand van een doorvertaling van de gemeten niveauverschillen voor de opgestelde zakbakens.

In het volgende het totale zettingsverlies 'onder' de vooroeveraankleding tussen de 'inpeiling' (07-07-2014) en de 'uitpeiling' (15-09-14) bepaald door rekening te houden met zowel de ruimtelijke verdeling van de omvang van de ophoging als de afstand uit de dijk. Deze laatste is van belang omdat de aanwezigheid van het zand-cunet onder de dijk reducerend werkt op de grootte van de zetting.

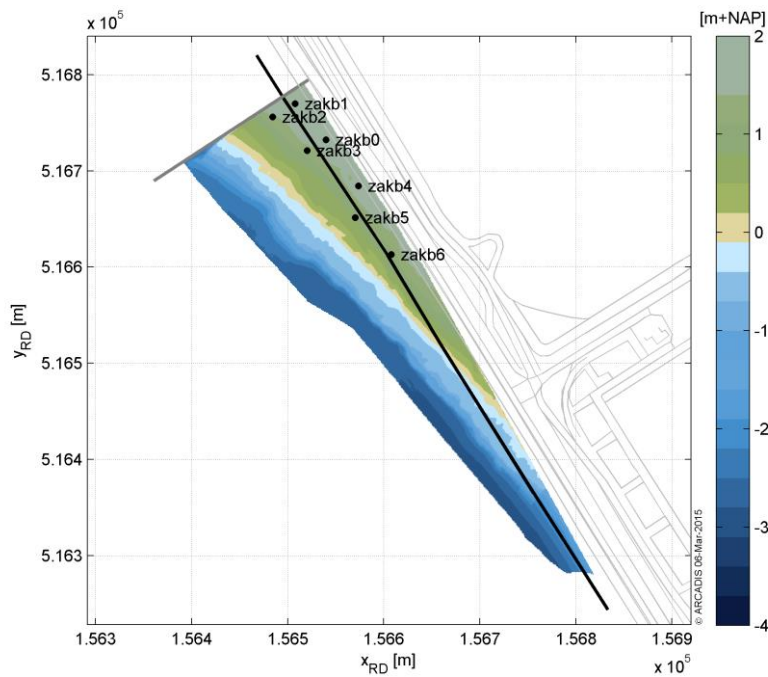
### Meetgegevens

De gemeten zettingen per zakbakken op 15-09-15 zijn samengevat in Tabel B3 - 1. In deze tabel is ook de locatie per zakbakken opgenomen en of het meetpunt zich daarmee boven het cunet bevindt.

De begrenzing van het cunet is gesteld op circa 28 m uit de NAP+1,5 m contour van het Houtribdijk profiel. De hieruit volgende begrenzing van het cunet en de locaties van de zakbakens zijn weergegeven in Figuur B3 - 1. De getoonde diepte kaart is zoals ingemeten op 15-9-2014.

Benaming	XRD [m]	YRD [m]	Zetting d.d. 15-09-14 [m]	Boven cunet	Opmerking
Zakb3	156520	516721	0,053	Nee	
Zakb5	156570	516652	0,058	Nee	
Zakb6	156607	516613	0,065	Ja/Nee	Boven cunetbegrenzing.
Zakb2	156484	516756	0,072	Nee	
Zakb4	156574	516684	0,023	Ja	
Zakb0	156540	516732	0,003	Ja	
Zakb1	156508	516770	0,024	Ja	

Tabel B3 - 1 Benaming, locatie en zetting per zakbakken ( (DE Combinatie, Opleverdossier Pilot Voorlandoplossing Houtribdijk, 2014a).



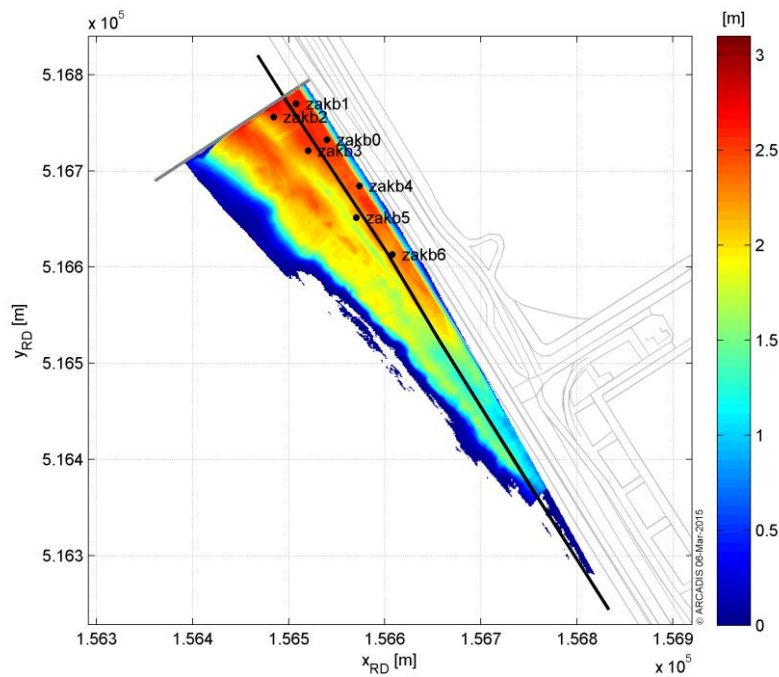
Figuur B3 - 1 Locaties zakbakens en begrenzing cunet (zwarte lijn) op bathymetrie d.d. 15-09-2014.

Ter analyse van de zetting is de zetting per punt gerelateerd aan de lokale pakkethoogte. De pakkethoogte is gebaseerd op het verschil in diepte tussen de inpeiling en de uitpeiling. Het is hierdoor ook mogelijk de zettingsverschillen te onderscheiden tussen de locaties (deels) ondersteund worden door het onderliggende cunet en het de locaties die niet worden ondersteund. De zetting uitgedrukt in mm zetting per m pakkethoogte is gepresenteerd in Tabel B3 - 2.

Zandbakken	Zetting [m]	Pakkethoogte [m]	Zetting [mm/m]	Boven cunet	Opmerking
Zakb3	0,053	2,41	22	Nee	
Zakb5	0,058	2,09	28	Nee	
Zakb6	0,065	2,19	30	Ja/Nee	
Zakb2	0,072	2,46	29	Nee	
Zakb4	0,023	2,42	9	Ja	
Zakb0	0,003	2,52	1	Ja	Marginale waarde
Zakb1	0,024	2,58	9	Ja	

Tabel B3 - 2 Zetting en zetting per m pakkethoogte per opgesteld zakbakken.

De ruimtelijke weergave van de pakkethoogte is weergegeven in Figuur B3 - 1.



Figuur B3 - 2 Aanwezige pakkethoogte in meter.

### Zetting buiten het cunet

Wat opvalt op basis van de zetting per meter pakkethoogte, is dat er een sterke correlatie waarneembaar is tussen de zettingsmetingen buiten het cunet. De zetting bedraagt 20-30 mm per meter. Echter, enige verdere relaties (bijvoorbeeld afstand uit de cunet begrenzing of verschil in aanlegperiode) zijn niet waarneembaar. De variatie binnen de zakkbakens buiten het cunet lijkt dus gedomineerd door lokale verschillen in ophoging. Er is daarom voor de zetting buiten het cunet een constante waarde aangenomen gebaseerd op het gemiddelde van de drie zettingsmetingen aldaar (27 mm/m).

Door de aanname dat de zetting lineair verloopt met de pakkethoogte wordt overigens een kleine fout geïntroduceerd. Zonder teveel in detail te gaan kan de gemaakte fout geanalyseerd worden aan de hand van de zetting in de tijd zoals beschreven door de formule van Koppejan:

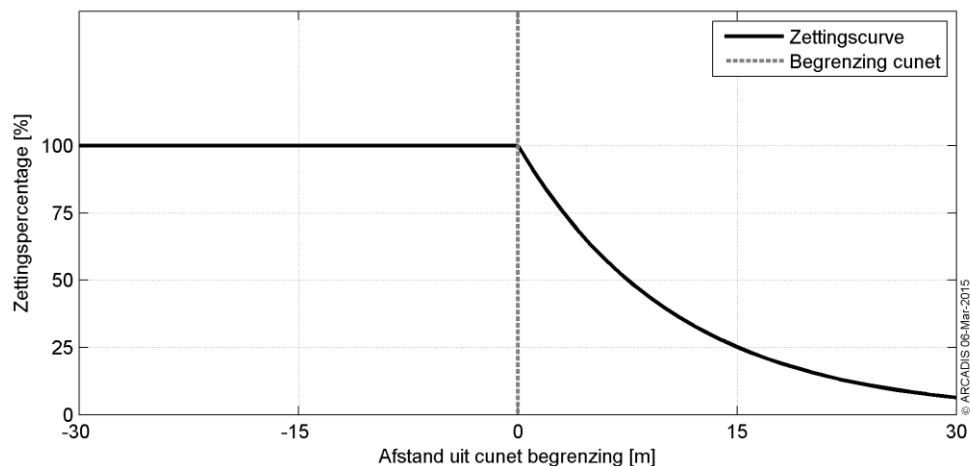
$$\delta_c = h * \left( \frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s} * \log t \right) * \ln \left( \frac{p_b + \Delta p}{p_b} \right)$$

Hierin is  $\delta_c$  de zetting,  $h$  de laagdikte van het homogene pakket waarover de zetting plaatsvindt,  $C_p$  en  $C_s$  bodemafhankelijke samendrukkingsconstanten,  $t$  de tijd in dagen,  $p_b$  de aanvangsgrondspanning in de verticaal en  $\Delta p$  de spanningsverhoging door de belasting. Als de bijdrage van  $t$  (de belastingduur) verwaarloosd wordt (invloed van variatie in  $t$  is niet waarneembaar, zie boven), is de enige variabele die significant varieert over het profiel de spanningsverhoging door de toegevoegde belasting ( $\Delta p$ ). De bijdrage hiervan verloopt logaritmisch. Echter, als aangenomen wordt dat  $O(p_b + \Delta p)$  gelijk is aan  $O(p_b)$ , is de fout gemaakt door de lineaire benadering verwaarloosbaar klein in vergelijking met de waargenomen variatie in zetting in mm/m. De voorgestelde procedure is dus voor deze uitwerking voldoende robuust.

### Zetting boven het cunet

Ook de zettingsmetingen boven het cunet tonen enige correlatie. Zo toont Zakb6, het meetpunt op de begrenzing van het cunet, een zetting per meter vergelijkbaar aan de metingen buiten het cunet. Meetpunten Zakb0, Zakb1 en Zakb4, gemiddeld circa 15 m gelegen uit de begrenzing, geven een gemiddelde zetting per meter pakkethoogte van 6,5 mm/m ophoging. Dit duidt op een afname van de zetting als functie van de afstand uit de begrenzing van het cunet. Vanwege de variabiliteit tussen de punten is opnieuw gebruik gemaakt van een aanname gebaseerd op alle meetpunten (boven het cunet). Zo is een zetting van 100 % aangenomen rond de begrenzing en een zetting van 25 % ten opzichte van de zetting buiten het cunet op 15 m van de begrenzing (6.5 mm/m is immers ongeveer 25 % van de 27 mm/m die gevonden wordt op de grens van het cunet en erbuiten). Het resultaat is schematisch weergegeven in Figuur B3 - 3.

De zettingscurve houdt in dat buiten het cunet de zetting gesteld wordt op 27 mm per meter pakkethoogte, boven de begrenzing  $27 * 1 = 27$  mm/m en op bijvoorbeeld 15 m uit de begrenzing bedraagt de zetting  $27 * 0,25 = 6,75$  mm/m.



Figuur B3 - 3 Zettingscurve als functie van de afstand tot de begrenzing van het cunet.

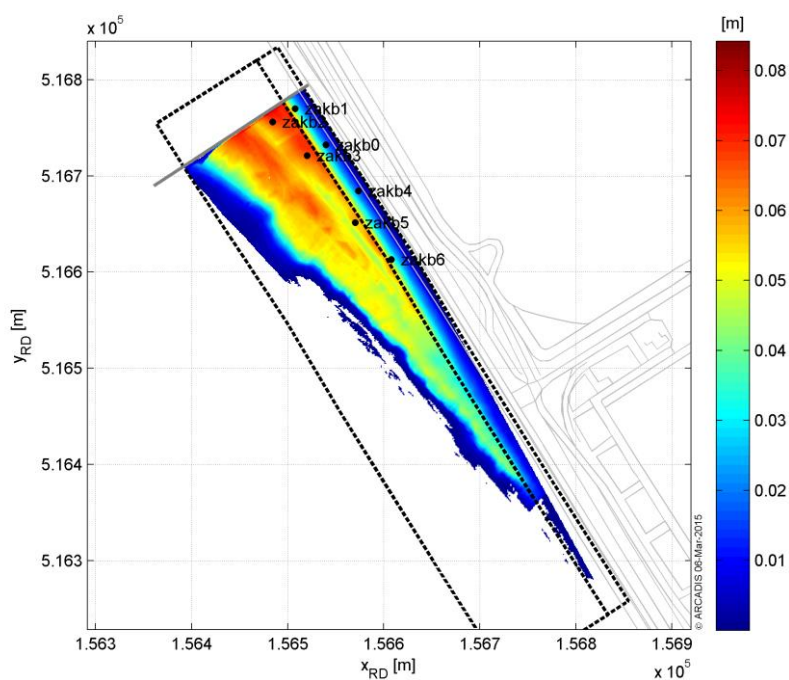
### Zettingsvolumes

Aan de hand van de hierboven afgeleide zettingen per meter pakkethoogte kan nu voor de volledige voorlandaanvulling de zetting en daarmee het volume verlies bepaald worden. De totale zetting over de periode 07-07-14 tot 15-09-14 is weergegeven in Figuur B3 - 4.

De maximale zetting bedraagt ook hier 7 tot 8 cm.

Voor het deel van het profiel buiten het cunet (rechthoek linksonder) geldt een zettingspercentage van 100 %. Voor het deel van het profiel boven het cunet (rechthoek rechtsboven) geldt een zettingspercentage als functie van de afstand tot de begrenzing van het cunet.

De som van het volume verlies door zetting over de periode 07-07-14 tot 15-09-14 bedraagt hiermee uiteindelijk 1.531 m<sup>3</sup>.



Figuur B3 - 4 Berekende zetting in meter. Constante zetting per meter pakkethoogte (rechthoek linksonder) en zetting aan de hand van zettingscurve (rechthoek rechtsboven).

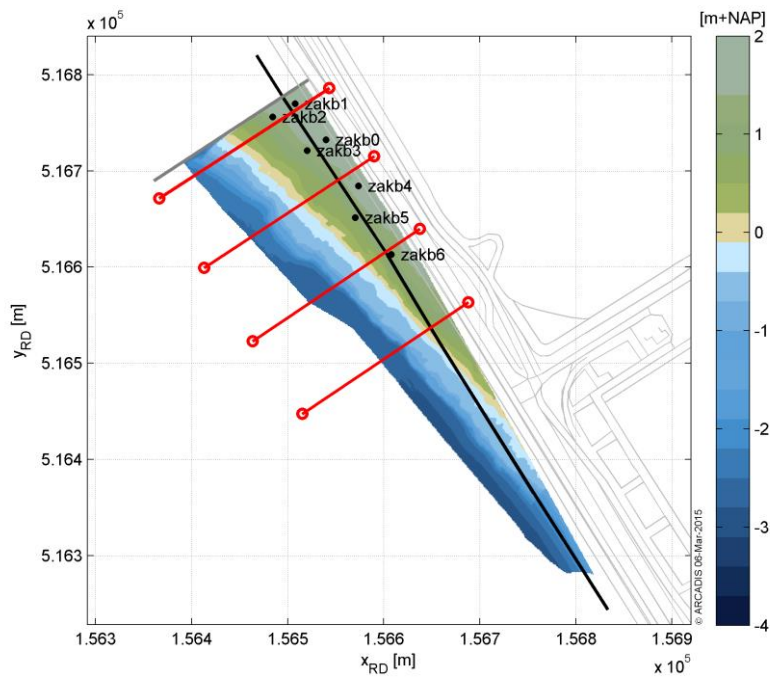
### Doorsneden

Hieronder volgen ter illustratie nog een viertal oeverdwarse doorsneden voor de beeldvorming van het aangebrachte zandpakket en de berekende zetting als gevolg hiervan.

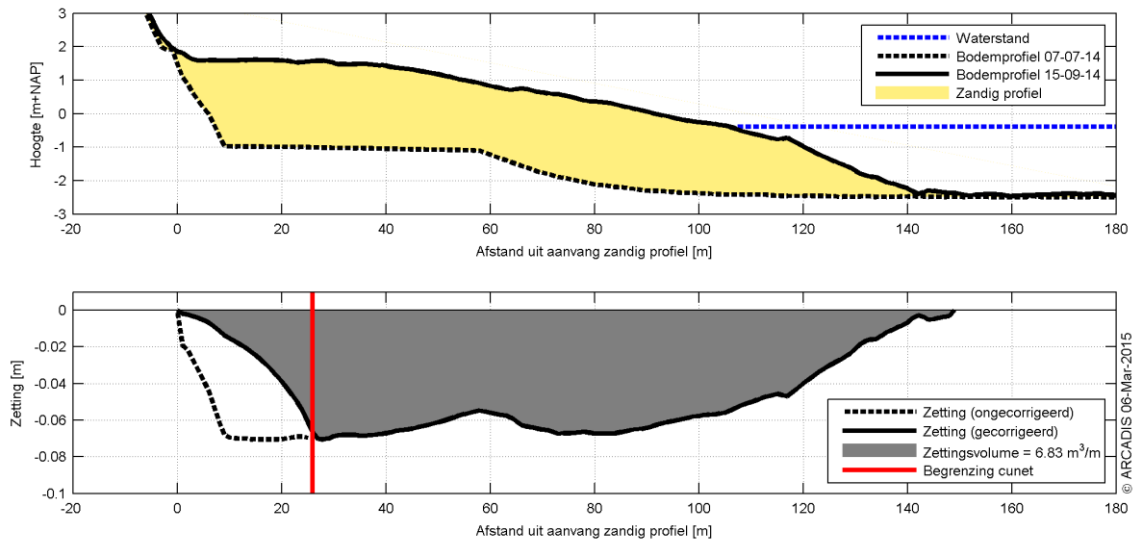
Een overzicht van de beschouwde doorsneden is weergegeven in Figuur B3 - 5. De doorsneden zijn vervolgens weergegeven in Figuur B3 - 6 tot en met Figuur B3 - 9.

In de weergave van de doorsneden beschrijft het profiel in het bovenste venster het aangebrachte zandpakket langs de doorsnede. In het onderste venster is de zetting langs de doorsnede geplot. De gestippelde lijn is de zetting voor correctie aan de hand van de afgeleide zettingscurve boven het cunet. De doorgetrokken lijn beschrijft de zetting na correctie. Tenslotte beschrijft het gearceerde vlak het volumeverlies ten gevolge van de zetting in het oeverdwarse vlak.

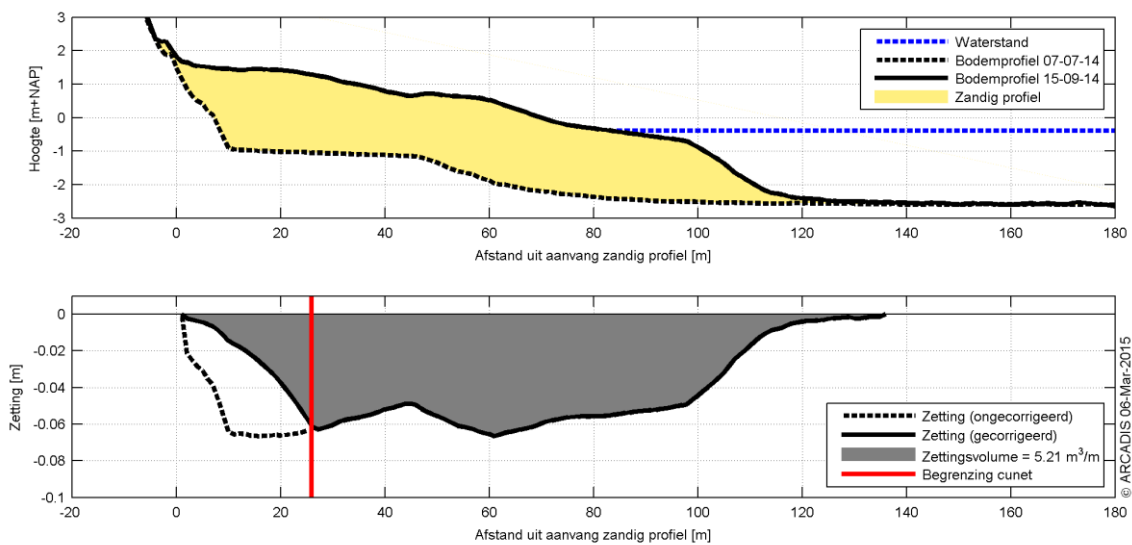
De waarden variëren tussen de 2 en de 7 m<sup>3</sup>/m<sup>1</sup> vooroever. Geïntegreerd langs de dijk levert dit de eerder afgeleide waarde van 1.531 m<sup>3</sup> zettingsverlies.



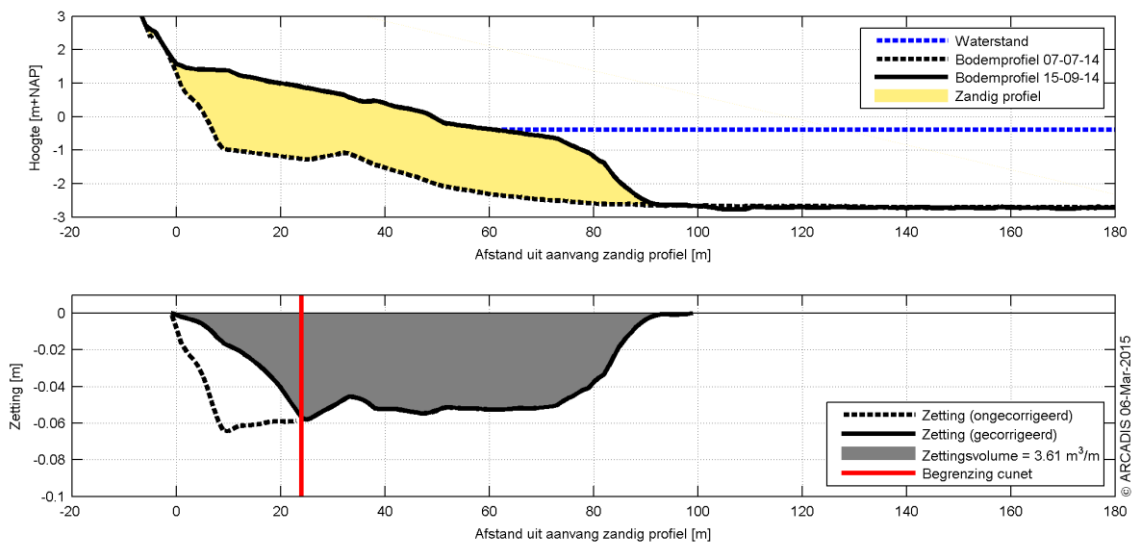
Figuur B3 - 5 Locaties profieldoorsneden (rood).



Figuur B3 - 6 Profieldoorsnede 1, boven: zandpakket, onder: zetting.

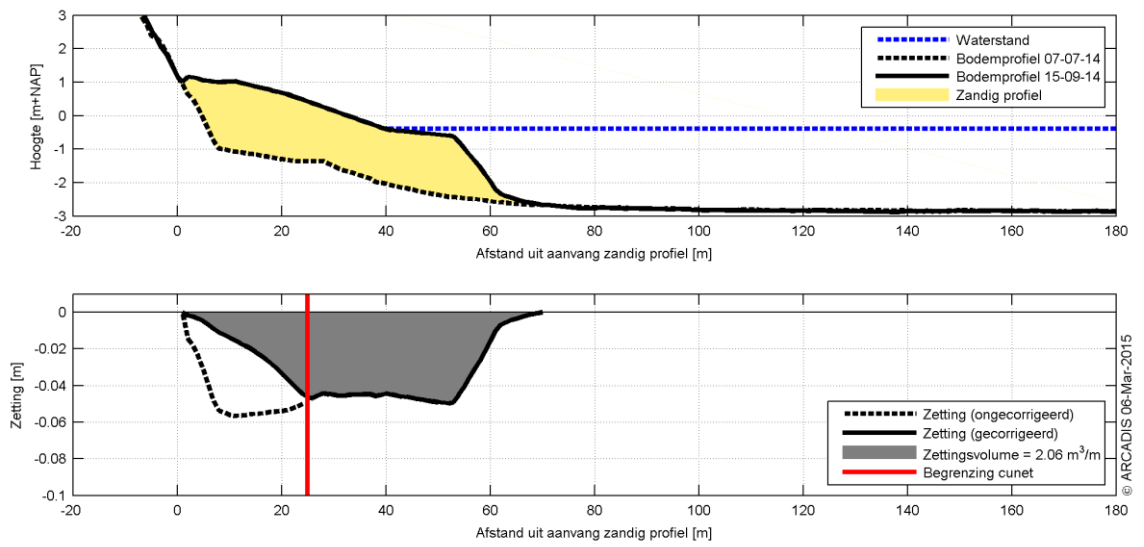


Figuur B3 - 7 Profieldoorsnede 2, boven: zandpakket, onder: zetting.



Figuur B3 - 8 Profieldoorsnede 3, boven: zandpakket, onder: zetting.





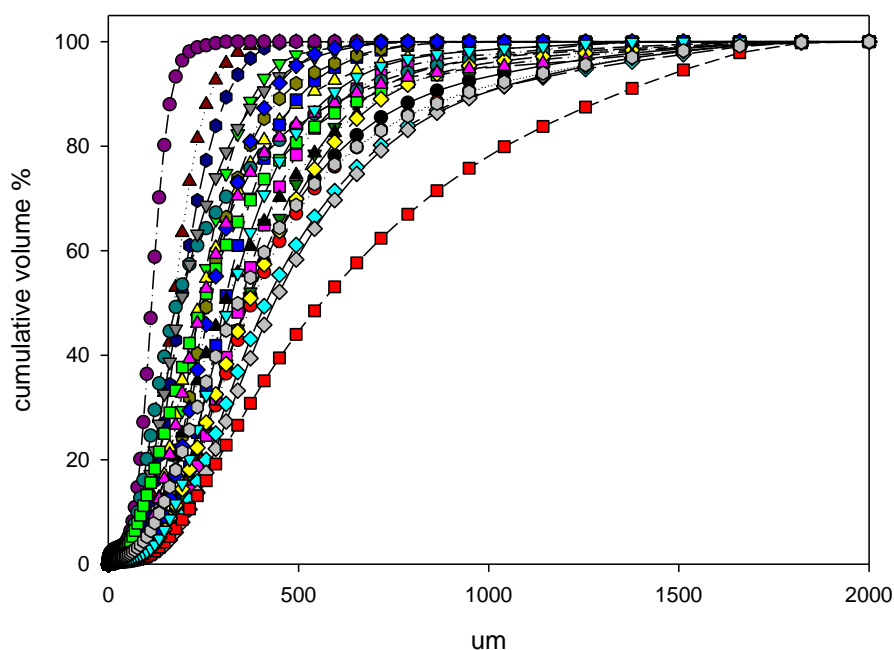
Figuur B3 - 9 Profieldoorsnede 4, boven: zandpakket, onder: zetting.

## Bijlage 4 Zandkarakteristieken

Voor de aanvoer van het zand zijn gedurende 23 dagen in totaal 123 scheepsladingen zand aangevoerd. Deze ladingen varieerden tussen de 450 tot 937 m<sup>3</sup> gemeten in de beun, met een gemiddelde van 686 m<sup>3</sup> per lading. In totaal is 84.437 m<sup>3</sup> zand aangevoerd.

Van alle 123 scheepsladingen zijn monsters genomen. Per losdag is vervolgens van één van de op die dag ingezette scheepsladingen het monster geanalyseerd door middel van laserdiffractie. Alle monsters zijn daartoe ontkalkt en het hierin aanwezige organische materiaal is verwijderd.

Er is een behoorlijke spreiding in de korrelgrootteverdeling tussen de monsters (zie Figuur B4 - 1), met een outlier aan de onderkant (rode blokjes = 15 aug), en drie aan de bovenkant (paarse rondjes = 28 aug, bruine driehoekjes = 14 aug, blauwe zeshoekjes = 27 aug).



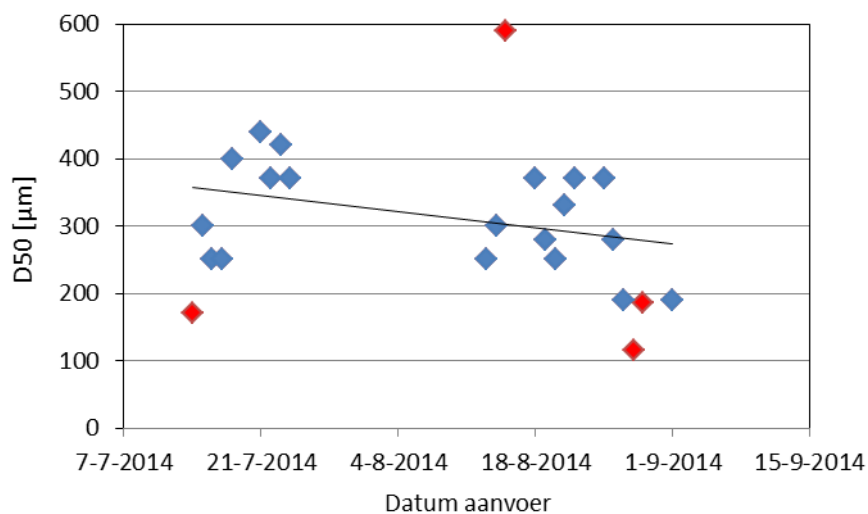
Figuur B4 - 1 Cumulatieve korrelgrootteverdeling per monster [Alterra, oktober 2014].

Vanuit deze verdelingen is per monster de D50-waarde geschat. Het resultaat hiervan is weergegeven in Tabel B4 - 1. Er is sprake van zeer veel variatie met een zeer duidelijke outlier op 15 augustus (een dag waarop in totaal zes scheepsladingen zijn aangevoerd).

Nr.	Datum	D50 [ $\mu\text{m}$ ]	Opmerking
1	14-7-2014	170	Outlier aan onderzijde (zie )
2	15-7-2014	300	
3	16-7-2014	250	
4	17-7-2014	250	
5	18-7-2014	400	
6	21-7-2014	440	
7	22-7-2014	370	
8	23-7-2014	420	
9	24-7-2014	370	Laatste lossing voor de zomervakantie
10	13-8-2014	250	Eerste lossing na de zomervakantie
11	14-8-2014	300	
12	15-8-2014	590	Duidelijke outlier aan bovenzijde (zie )
13	18-8-2014	370	
14	19-8-2014	280	
15	20-8-2014	250	
16	21-8-2014	330	
17	22-8-2014	370	
18	25-8-2014	370	
19	26-8-2014	280	
20	27-8-2014	190	
21	28-8-2014	115	Outlier aan onderzijde (zie )
22	29-8-2014	185	Outlier aan onderzijde (zie )
23	1-9-2014	190	

Tabel B4 - 1 Overzicht geschatte D50-waarden per monster.

In Figuur B4 - 2 zijn de outliers specifiek gemarkeerd.



Figuur B4 - 2 D50 als functie van losdag [Alterra, oktober 2014].

Indien de verschillende outliers buiten beschouwing worden gelaten lijkt er sprake van een zekere tijdsvariatie, waarbij de korrel diameter in de tijd enigszins afneemt.

In de periode voor de zomervakantie bedroeg de gemiddelde korreldiameter circa 350  $\mu\text{m}$  (inclusief outlier 330  $\mu\text{m}$ ). Na de zomervakantie was deze gelijk aan circa 290  $\mu\text{m}$  (met en zonder outliers). Indien de outliers buiten beschouwing worden gelaten (in totaal worden 19 monsters beschouwd) is de gemiddelde korrelgrootte gelijk aan (afgerond) 315  $\mu\text{m}$ . Indien alle monsters in beschouwing zouden worden genomen bedraagt deze 305  $\mu\text{m}$ .

*Voor de verdere analyse zal vooralsnog worden uitgegaan van een D50-waarde van 315  $\mu\text{m}$ .*

#### ***Vergelijking met verwachte korrelgrootte***

Bij het ontwerp is in eerste instantie uitgegaan van een korreldiameter van 200  $\mu\text{m}$  zoals dat ook voor bijvoorbeeld het ontwerp van de oeverdijk langs de Markermeerdijken als uitgangspunt is gehanteerd.

Tijdens de voorbereiding is via De Combinatie een indicatie ontvangen van de uit de win-locatie te verwachten korreldiameter. Het ging hierbij om drie zeefkrommen die via J. van Vliet BV beschikbaar zijn gesteld. De D50 voor deze zeefkrommen bedroeg respectievelijk 267, 297 en 226  $\mu\text{m}$ . Dit leidde tot een gemiddelde korreldiameter van afgerond 265  $\mu\text{m}$ .

Deze waarde zat ruim boven de initieel gehanteerde 200  $\mu\text{m}$ .

Dit heeft onder andere geleid tot een aanpassing van het initiële ontwerp waarvoor nu een basishelling van 1 : 30 in plaats van 1 : 40 kon worden gebruikt. Het gebruik van een steilere helling geeft ook de mogelijkheid om deze 'potentiele besparing' in de praktijk te onderzoeken.

Uiteindelijk is het op de pilot aangebrachte zand nog iets grover (namelijk 315  $\mu\text{m}$ ), ofschoon er wel sprake is van een significante spreiding in zowel de gemiddelde als de andere fracties.

# Colofon

## PILOT VOORLANDOPLOSSING HOUTRIBDIJK LESSONS LEARNED AANLEG

### **OPDRACHTGEVER:**

RWS/EcoShape-stuurgroep Pilot Houtribdijk

### **STATUS:**

Definitief

### **AUTEUR:**

Henk Steetzel  
Sonja Ouwerkerk  
Jasper Fiselier

### **GECONTROLEERD DOOR:**

Henk Steetzel

### **VRIJGEGEVEN DOOR:**

Rob Steijn

11 maart 2015  
078276043:A

### **EcoShape, Building with Nature**

Burgraadt Gebouw  
Burgemeester de Raadsingel 69  
3311 JG Dordrecht  
Tel: +31 (0)78 6111 099  
Fax: +31 (0)78 6111 090  
E-mail: [info@EcoShape.nl](mailto:info@EcoShape.nl)  
Website: [www.EcoShape.nl](http://www.EcoShape.nl)