

Bijlagenboek 9.8



Sedimentverspreiding Oeverdijk

Projectomschrijving	Versterking Markermeerdijken		
Documentnummer	AMMD-001338 (17.117579)		
Verantwoordelijk cluster	O&I		
Werkpakket	WP-20		
Object	Oeverdijk		
Versienummer	1.0	Versiedatum	14-10-2016



Autorisatiekader

Opsteller		Gecontroleerd		Vrijgegeven	
P.J. Menninga (deel 1)		A.L. van der Baan		V. Friedrich- Drouville	
A.L. van der Baan (deel 2)		P.J. Menninga			

Documenthistorie

Versienummer	Versiedatum	Omschrijving
0.1	28-09-2016	Samenvoegen van twee lossen memo's in deel 1 en deel 2 + verwerken commentaar Edith Dorsman en Kees Pabbruwee in deel 1
0.2	14-10-2016	Verwerken laatste commentaar
1.0	14-10-2016	Definitief

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Achtergrond	5
1.2	Doel nota	6
1.3	Leeswijzer	6
2	Deel 1: verspreiding na oplevering	7
2.1	Inleiding	7
2.2	Definities	7
2.2.1	Overzicht definities	7
2.2.2	Overzicht kritische locaties	7
2.2.3	Areaal flora en Fauna	8
2.2.4	Vaargeulen	8
2.2.5	Havens en uitwateringskanalen	9
2.3	Relevante processen	9
2.3.1	Sedimenttransport in dwarsrichting	9
2.3.2	Sedimenttransport in langsrichting	10
2.3.3	Achtergrondstroming	10
2.4	Lessen Pilot zandige vooroeverversterking Houtribdijk	11
2.5	Oevernabije effecten	13
2.5.1	Algemeen	13
2.5.2	Nabij strekdammen	13
2.5.3	Definitie sedimentatiestrook	15
2.6	Grootschalige effecten	17
2.7	Monitoring	19
2.8	Conclusie deel 1	19
3	Deel 2: verspreiding gedurende realisatie	21
3.1	Inleiding	21
3.1.1	Achtergrond	21
3.1.2	Doel 21	21
3.1.3	Aanpak	21
3.1.4	Leeswijzer	22

3.2	Samenvatting resultaten deel 2	23
3.2.1	Hoorn stadstrand	23
3.2.2	Grote Waal	23
3.2.3	Karperput	23
3.2.4	Zeevang	24
3.3	Opzet modellen	25
3.3.1	Algemeen	25
3.3.2	Aangepast profiel	25
3.3.3	GC model	26
3.3.4	XBeach model	26
3.4	Modelresultaten	27
3.4.1	Algemeen	27
3.4.2	Jaargemiddelde condities	27
3.4.3	Zware condities	42
3.5	Oeverdijk als geheel	47
4	Referenties	50

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Voorliggende nota gaat in op de sedimentverspreiding van de Oeverdijk richting het Markermeer en is een achtergronddocument bij de ontwerpnota's van de Oeverdijk.

De Oeverdijk is een grondlichaam opgebouwd uit mobiel zand, welke in zijn geheel de functie krijgt van primaire waterkering. De veiligheidswerking van de constructie berust op het feit dat zand uit het profiel kan eroderen, conform de werking van een kustduin. Tijdens zware hydraulische omstandigheden zal zand van bovenin het profiel worden getransporteerd naar dieper gelegen profieldelen of zelfs naar de Markermeerbodem. Vanwege de (in sommige gevallen) ongunstige ligging ten opzichte van de jaargemiddelde golfrichting, is het de verwachting dat er ook tijdens gemiddelde golfcondities materiaal uit het profiel zal eroderen.

Vanwege de verwachte mobiliteit is er voor iedere Oeverdijksectie een onderhoudsbuffer gedimensioneerd. Deze onderhoudsbuffer is noodzakelijk om natuurlijke dynamiek van het profiel toe te staan zonder dat de veiligheidswerking van de Oeverdijk direct in het geding komt. Daarnaast is het de verwachting dat deze onderhoudsbuffer in 25 jaar op sommige delen volledig geërodeerd zal zijn. Voor een gedeelte zal dit geërodeerde materiaal op andere delen direct tegen het Oeverdijkprofiel worden afgezet. Het materiaal is dan dus herverdeeld langs een sectie en het Oeverdijkprofiel ter plaatse neemt dan dus meer of juist minder ruimte in. Een ander gedeelte van het geërodeerde volume zou ook verder weg kunnen worden afgezet.

Bedekking van de huidige meerbodem kan leiden tot een beperking van het areaal flora en fauna op de bodem. Ook zou het vrijgekomen materiaal tot een beperking van het gebruik van aangrenzende havens en vaarwegen kunnen leiden.

Naast de verspreiding na oplevering, besteedt voorliggende nota aandacht aan de sedimentverspreiding in de realisatiefase. Alvorens de Oeverdijk volgens het ontwerp aan te leggen, is een periode van voorbelasting noodzakelijk. Het nieuw aan te leggen profiel is voorzien meerwaarts van de huidige dijk en grotendeels meerwaarts van de huidige waterlijn. Vanwege de relatief onbelaste historie van deze ondergrond mag significante zetting verwacht worden ter hoogte van het aan te leggen zandpakket. Een aanzienlijk percentage van de zetting zal optreden gedurende de periode van voorbelasting van 1 à 2 jaar. De conservatieve aanname hierbij is dat er gedurende deze periode geen opsluiting en afscherming van het zandlichaam plaatsvindt door middel van strekdammen. Deze worden pas in een later stadium aangelegd. Wel is het zo dat ook de ondergrond ter plaatse van de strekdammen moet worden voorbelast. Hiervoor wordt ook een overmaat aan zand gebruikt. Ten opzichte van het totale volume aan zand in het voorbelastinglichaam van de Oeverdijk is dit volume echter beperkt en wordt deze hier niet meegenomen. Het profiel staat hiermee dus volledig bloot aan het golfklimaat. De periode van 1 à 2 jaar bevat ook 1 à 2 stormseizoenen. De verwachte ontwikkeling van het zandlichaam ten gevolge van de gemiddelde belasting als wel de stormbelasting dient inzichtelijk gemaakt te worden.

1.2 Doel nota

Voorliggende nota heeft als doel om inzicht te geven in het gedrag van het geërodeerde materiaal uit de Oeverdijk na oplevering en gedurende de realisatiefase. Dit document bestaat daarom ook uit twee delen:

- Deel 1 behandelt de verspreiding van het sediment in de periode na oplevering;
- Deel 2 gaat in om op het gedrag gedurende de realisatiefase.

1.3 Leeswijzer

Na de in voorliggend Hoofdstuk 1 gepresenteerde inleiding, wordt deel 1 in Hoofdstuk 2 Behandeld. Hoofdstuk 3 behandelt vervolgens deel 2.

2 Deel 1: verspreiding na oplevering

2.1 Inleiding

Voor de beschouwing van de verspreiding van het geërodeerde materiaal na oplevering wordt onderscheid gemaakt tussen:

- i) Oevernabije effecten
- ii) Grootschalige effecten.

In §2.2 wordt eerst de definitie gegeven van bovenstaande effecten. Ook volgt in deze sectie een overzicht van de mogelijk kritieke locaties. In §2.3 worden de processen welke relevant zijn voor de verspreiding van het zand beschreven. Vervolgens presenteert §2.4 een beknopte samenvatting van de voorlopige monitoringsresultaten van de pilot zandige vooroeverversterking Houtribdijk. De oevernabije effecten komen aan bod in §2.5 en de grootschalige effecten in §2.6. In §2.8 volgt de conclusie.

2.2 Definities

2.2.1 Overzicht definities

Oevernabije effecten

Met oevernabije effecten wordt de morfologische activiteit direct tegen de teen van de oeverdijk bedoeld. Dit is mogelijk een actieve zone, welke nodig is om de morfo-dynamiek van de oeverdijk toe te staan.

Grootschalige effecten

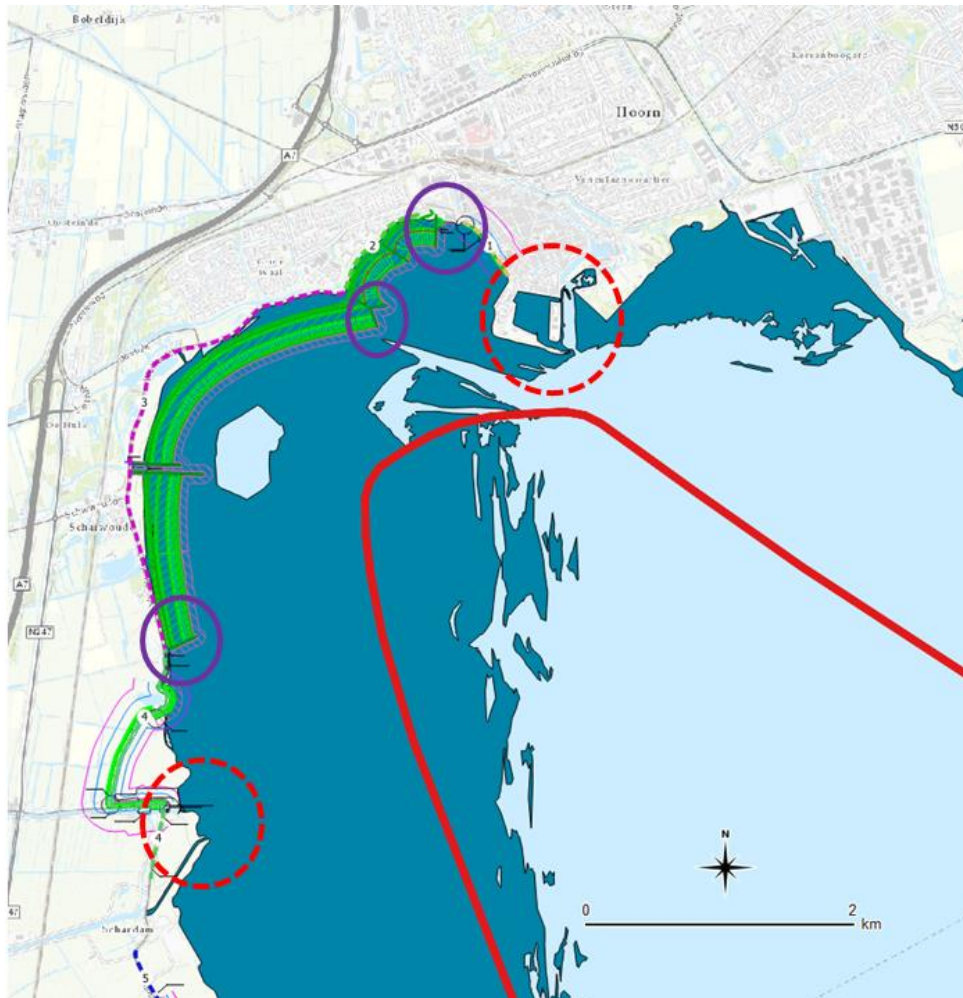
Met grootschalige effecten worden alle effecten bedoeld aan de meerzijde van de hierboven gedefinieerde zone.

2.2.2 Overzicht kritische locaties

Figuur 1 geeft een overzicht van de te beschouwen kritische locaties:

- i) Blauwe vlak: areaal ten behoeve van flora en fauna;
- ii) Rode doorgetrokken lijn: vaargeul;
- iii) Rode cirkels: havens en uitwateringen;
- iv) Paarse cirkels: kritische locaties rondom dammen.

Niet specifiek aangeduid op de kaart, maar wel relevant, is het uitwateringskanaal voor gemaal Westerkogge. Deze locatie is specifiek beschouwd in [ref. 1]. Door de lengte van de dammen om het uitwateringskanaal wordt hier geen aanzanding verwacht.



Figuur 1 Impressie Oeverdijkoplossing Hoornse Hop. Donkerblauwe vlak: relevant areaal flora en fauna; Rode lijn: vaargeul; rode cirkels: havens en uitwateringen; Paarse cirkels: mogelijk kritieke punten rond damconstructies.

2.2.3 Areaal flora en Fauna

Het areaal ten behoeve van de flora en fauna ligt direct tegen de Oeverdijk aan. Dit betekent dat als het geërodeerde materiaal vanuit de Oeverdijk in dit gebied neerslaat het mogelijk negatieve effecten heeft op de ontwikkeling van bodemplanten en bodemdieren.

2.2.4 Vaargeulen

Het aanleggen van de Oeverdijk mag geen versneld effect hebben op het aanzanden van de vaargeulen in het Markermeer. Logischerwijs is het risico op aanzanden het grootst voor de vaargeulen die in de nabijheid van de Oeverdijk liggen. De kleinste afstand tussen de Oeverdijk en de vaargeul bedraagt ongeveer 1 km. Dit is ter hoogte dam 3, de afscheiding tussen het stadsstrand en de Grote Waal. Zuidelijker, in het zuiden van sectie de Karperput bedraagt de afstand ongeveer 1,5 km.

2.2.5 Havens en uitwateringskanalen

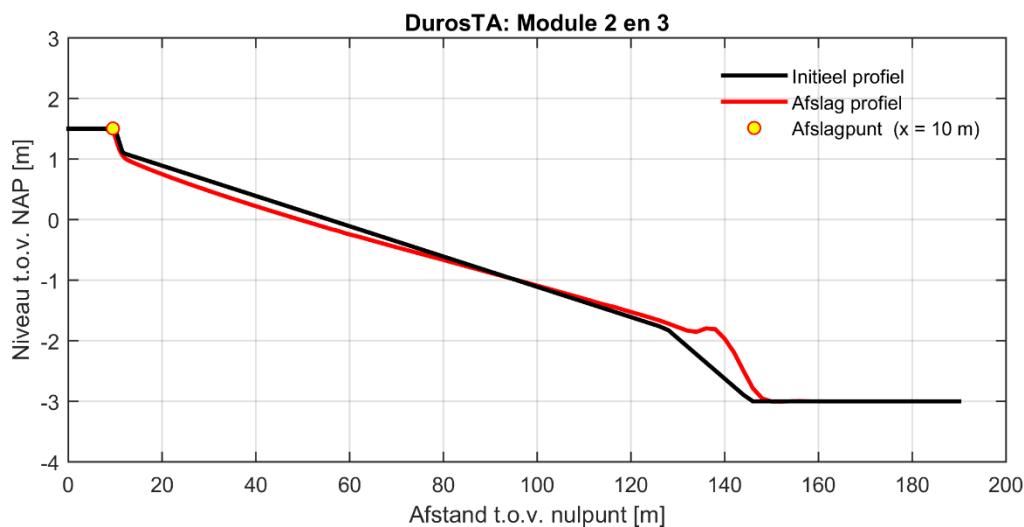
Ook havens en uitwateringskanalen in het Markermeer mogen niet aanzanden als gevolg van het geërodeerde materiaal uit de Oeverdijk. In het noorden bevindt zich de Grashaven. Richting het zuiden (ten zuiden van de Karperput) bevinden zich van noord naar zuid achtereenvolgens de Hoornsluis en de Noorder- en Zuidersluis. Deze laatste twee maken gebruik van hetzelfde toegangskanaal.

2.3 Relevante processen

2.3.1 Sedimenttransport in dwarsrichting

Zandverliezen in dwarsrichting komen met name voor tijdens zwaardere hydraulische condities. Hierbij wordt zand van bovenin het profiel naar diepere delen getransporteerd. In [ref 1] is gesteld dat het zand als verloren kan worden beschouwd wanneer het is getransporteerd over de NAP-2,0 m lijn. Boven deze lijn wordt verwacht dat het hoger gelegen profiel zich mogelijk weer enigszins kan herstellen.

In [ref 3] is de profielontwikkeling berekend tijdens ontwerpomstandigheden. Als voorbeeld is een dergelijk profiel hieronder getoond. De figuur toont dat tijdens een storm het profiel onder de NAP-2,0 m lijn slechts enkele meters richting het meer wordt uitgebouwd. Doordat het profiel onder de NAP-2,0 steiler wordt, kan het erosievolume wel tussen de meerbodem en de NAP-2,0 m lijn worden ingepast. In dit geval bevindt het verlies zich dus relatief dichtbij het Oeverdijkprofiel.



Figuur 2 Afslagprofiel voor het profiel van module 2 en 3 als gevolg van ontwerpcondities.

In [ref 4] is per sectie de hoeveelheid zand berekend dat als gevolg van dwarstransporten op jaarbasis over de NAP-2,0 m lijn wordt getransporteerd. Dit is dus in feite het gevolg van meerdere zwaardere condities. Op basis van Figuur 2 is het dus de verwachting dat dit zand direct tegen de Oeverdijk wordt afgezet. Het profiel zal zich cumulatief uitbouwen.

2.3.2 Sedimenttransport in langsrichting

Bij sedimentlangstransport wordt zand in feite alleen herverdeeld langs de waterlijn. Het dwarsprofiel zal zich terugtrekken daar waar het zand wordt geërodeerd, terwijl het profiel richting het meer zal uitbouwen daar waar het zand wordt afgezet. Wanneer de afzetting tegen een damconstructie plaats vindt is het mogelijk dat zand uiteindelijk om de damconstructies zal worden getransporteerd.

2.3.3 Achtergrondstroming

Voor beide bovengenoemde processen geldt dat het geërodeerde zand ook door achtergrondstroming verder richting het meer getransporteerd kan worden. In hoeverre dit relevant is hangt af van de grootte van de achtergrondstroming in relatie tot de korreldiameter.

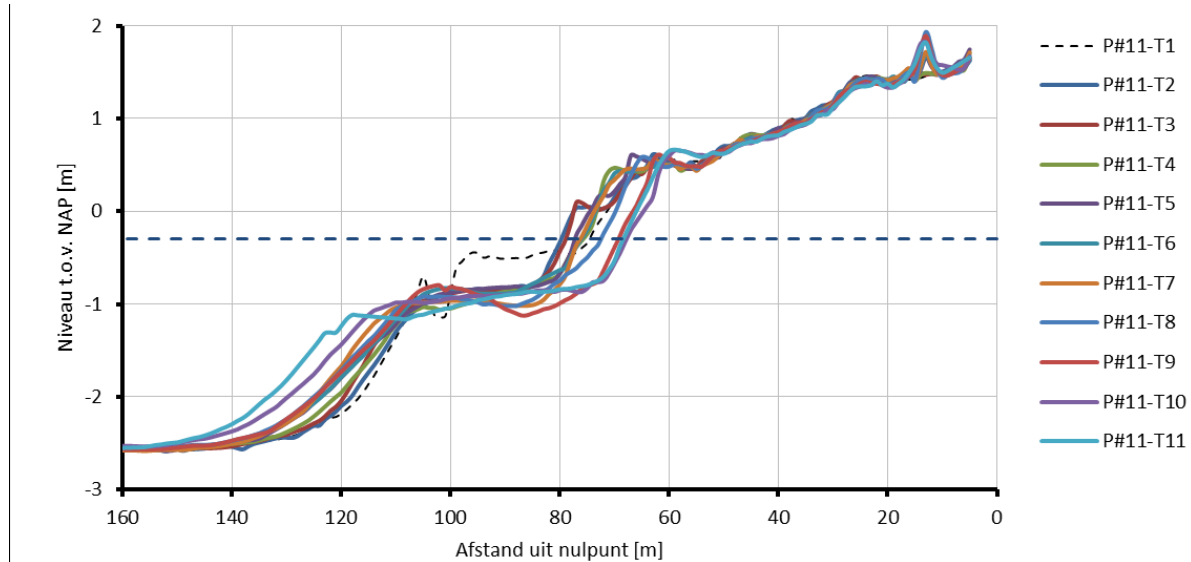
2.4 Lessen Pilot zandige vooroeverversterking Houtribdijk

Ter voorbereiding op zandige vooroever versterkingen zoals de Oeverdijk, is een proefsectie ingericht om het gedrag van een dergelijk systeem onder gebruikscondities beter te begrijpen [ref 5]. Deze proefsectie is gepositioneerd aan de Markermeerzijde van de Houtribdijk. Op regelmatige wijze wordt onder andere de morfologische ontwikkeling van de proefsectie gemeten. De belangrijkste bevindingen van de monitoring tot nu toe zijn hieronder opgenomen:

- Het aangebrachte materiaal blijft grotendeel in de proefsectie liggen;
- Er treden geen echte verliezen op;
- Er is wel sprake van een interne herverdeling van het aangebrachte materiaal;
- Er is rond de waterlijn en hoger primair sprake van een ontwikkeling in dwarsrichting;
- De oriëntatie van de buitenrand van deze bovenlaag is direct gekoppeld aan het recent aanwezige golfklimaat;
- De verliezen naar dieper water komen met name ten goede aan de vorming van een op de damwand aansluitende onderwaterrand;
- Via deze onderwaterrand wordt er zand om de damwand getransporteerd en daar weer afgezet.

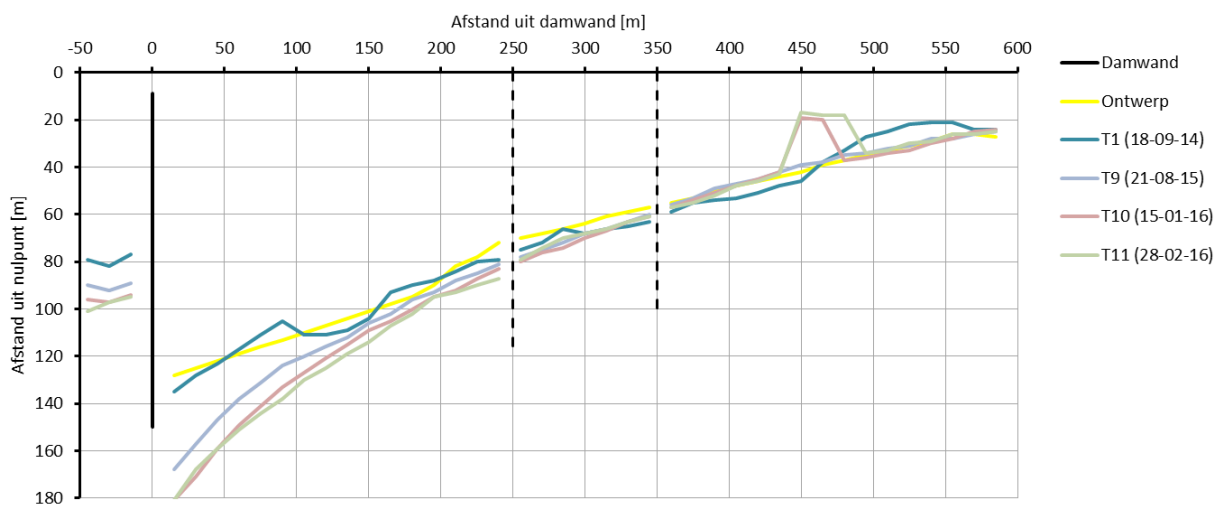
Hierbij dient te worden opgemerkt dat de definitie van verlies in het kader van de pilot iets anders is dan voor de Oeverdijk. Voor de pilot wordt gesproken van verlies uit de gehele proefsectie, aanzanding van de diepere profieldelen wordt dus niet gezien als sedimentverlies. Voor de Oeverdijk wordt gesproken van verlies wanneer het sediment over de NAP-2,0 m contour wordt getransporteerd, omdat dit lager gelegen sediment niet bijdraagt aan de veiligheidswerking van de Oeverdijk.

Op basis van de voorlopige resultaten van de pilot lijkt het erop dat het dwarsprofiel zich na aanleg qua vorm redelijk snel instelt en dat het aangroeien dan wel terugtrekken van het dwarsprofiel mogelijk het gevolg is van optredende langtransporten. Ter illustratie van het proces van profielontwikkeling is in Figuur 3 een meting opgenomen van een centraal in de proefsectie gelegen profiel. Hierin is te zien dat de uitbouw van de teen voor dit (qua vorm min of meer stabiele) profiel beperkt is. Ten opzichte van de start van de meting is ongeveer 10 tot 20 m meer van de bodem bedekt met zand.



Figuur 3 Ontwikkeling dwarsprofiel in het centrale deel van de sectie. T1 meting op 18-09-2014, T11 meting op 28-02-2016. Bron: [ref. 5].

De meerwaartse verplaatsing van het profiel is sterker tegen de opsluitende damconstructie Dit is geïllustreerd in Figuur 4, waar voor verschillende tijdstippen de positie van het NAP-1,5 m punt langs de proefsectie is getoond. In de laatste metingen (T9 tot T11) is het onderwaterdeel van het zandprofiel tot voorbij het uiteinde van de damconstructie uitgebouwd en vindt er transport van zand om de damconstructie plaats. Dit zand slaat vervolgens weer neer aan de andere zijde van de damconstructie. De meerwaartse uitbouw van het profiel op het NAP-1,5m niveau bedraagt op het moment ongeveer 50 m. Het zand kan daardoor om de damwand worden getransporteerd. Hierdoor zal het profiel tegen de damwand zich vermoedelijk niet heel veel verder uitbouwen.



Figuur 4 Overzicht positie onderlaag (positie doorsnijing op NAP-1,5 m) inclusief secties voor initiële en meest recente opnamen. Zwarte doorgetrokken lijn: positie damwand. Bron: [ref. 5].

2.5 Oevernabije effecten

2.5.1 Algemeen

Op basis van de beoogde werking van de Oeverdijk (zie §1.2) en de voorlopige resultaten van de pilot zandige versterking Houtribdijk (zie §2.4) is de kans groot dat materiaal dat uit de Oeverdijk erodeert zich in een zone direct tegen de Oeverdijk aan zal verspreiden. Het is dus zeer waarschijnlijk dat de meerbodem hier enigszins bedekt zal raken met zand. Uit de resultaten van de pilot Houtribdijk valt ook op te maken dat de mate waarin het onderwaterprofiel zich uitbouwt in oeverlangsrichting sterk zal verschillen. Dit hangt met name af van de dominante richting van het kustlangtransport.

In [ref 4] zijn de erosie- en sedimentatiezones langs de Oeverdijktrajecten rekenkundig onderzocht aan de hand van jaarlijks gemiddelde golfcondities. Deze resultaten kunnen mogelijk worden gebruikt om vrij specifiek aan te geven waar extra ruimte voor sedimentatie (en dus een extra meerwaartse verplaatsing van het profiel) gereserveerd moet worden. Het onderzoek heeft zich met name beperkt tot jaarlijks gemiddelde waardes. Dit is een goede benadering om het gedrag van het systeem te begrijpen en onderhoudsvolumes te berekenen. Zoals de resultaten van de pilot Houtribdijk echter ook laten zien is er een vrij grote spreiding in het gedrag van het systeem rond het gemiddelde. Deze spreiding is met name gerelateerd aan individuele (storm) condities. Dit maakt het rekenkundig voorspellen van deze spreiding lastig. Daarom is het verstandiger om een algehele dieper gelegen sedimentatiezone te hanteren.

De morfologische berekeningen laten zien dat er rekening moet worden gehouden met een jaarlijks gemiddeld dwarstransport van variërend van 1 tot 4 m³/m/jaar. De monitoringsresultaten van de pilot Houtribdijk laten zien dat het geërodeerde materiaal beneden het NAP-1,0 m niveau weer wordt afgezet. Uitgaande van een afzettingslaag van 2 m (laag tussen de huidige bodem op ongeveer NAP-3,0 m en NAP-1,0), betekent dit dat het profiel zich in 25 jaar gemiddeld met 50 m zal uitbouwen in meerwaartse richting.

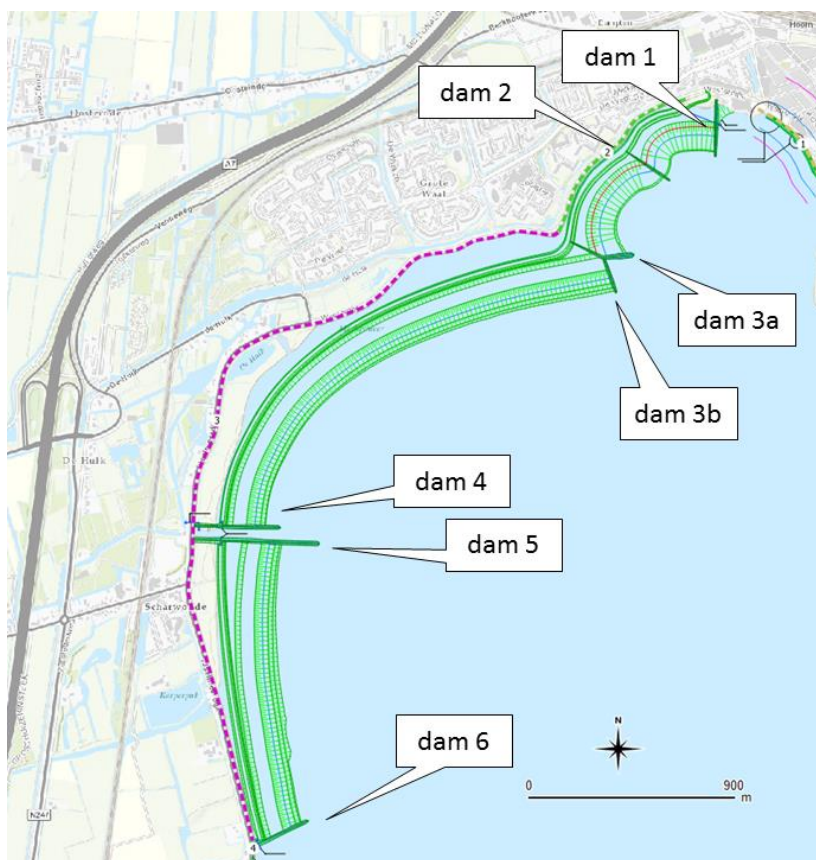
Ook de voorlopige monitoringsresultaten van de pilot Houtribdijk laten een uitbouw van ongeveer 50 m ter hoogte van de damwand zien. Deze uitbouw is al binnen enkele jaren na aanleg bereikt. De resultaten laten zien dat er zich een evenwicht heeft gevormd, daarnaast wordt verwacht dat de snelheid van uitbouw voor de Oeverdijksecties lager zal liggen omdat de lokale hydraulische condities lager zijn dan voor de proefsectie. De strook van 50 m ten opzichte van het ontworpen profiel lijkt daarom een redelijke maat. Dit is mogelijk zelfs nog wat conservatief. Een van de hypothesen is dat de relatief grote uitbouw van het onderwaterprofiel tegen de damwand van de pilot Houtribdijk samenhangt met de vrij beperkte lengte van de proefsectie. De Oeverdijksecties zijn veel langer, waardoor de uitbouw mogelijk minder groot is, mocht de hypothese kloppen.

2.5.2 Nabij strekdammen

De pilot Houtribdijk laat zien dat er transport om de kop van de dam plaats kan vinden wanneer het dieper gelegen profiel van de zandige vooroever is uitgebouwd tot aan de kop van de dam. In welke mate dit ook verwacht wordt voor de strekdammen van de Oeverdijk hangt (onder meer) af van:

- De afstand tussen de kop van de dam en de aansluiting van het ontwerpprofiel met de Markermeer bodem;
- De jaarlijks gemiddelde sedimenttransport richting.

Er is in [ref 3] een minimale afstand van 20 m tussen de kop van de dam en de aansluiting van het ontwerpprofiel met de Markermeer bodem gehanteerd. In drie van de zes dammen wordt deze minimale afstand daadwerkelijk gehaald. Dit geldt voor strekdam 1, 2 en 3b (zie Figuur 5). Voor de overige dammen is deze afstand groter, vanwege specifieke functies die gelden voor deze dammen.



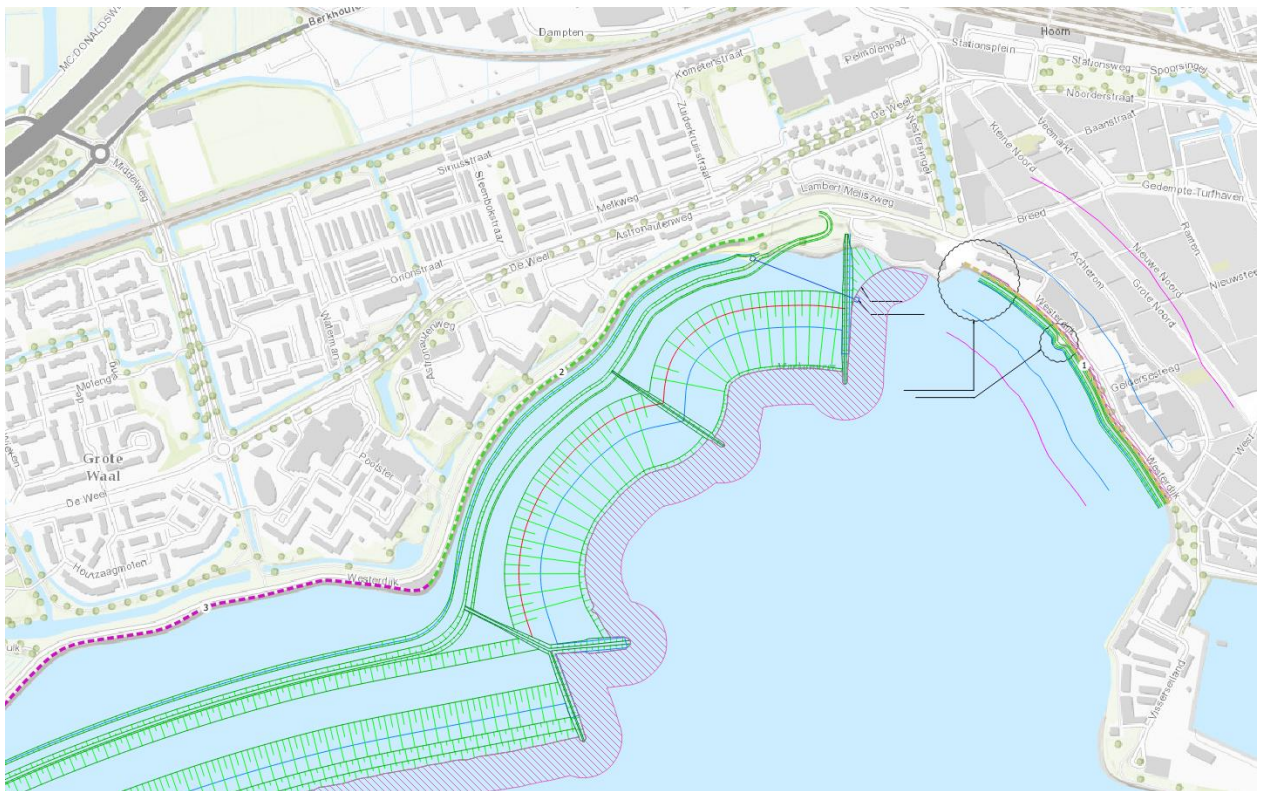
Figuur 5 Overzicht Oeverdijk voorontwerp, inclusief benaming dammen.

Gezien de (op basis van de resultaten van de pilot Houtribdijk) geraamde uitbouw van ongeveer 50 m, is het mogelijk dat zand om de genoemde strekdammen wordt getransporteerd. Voor strekdam 2 betekent dit dat er enkel materiaal uitwisseling tussen de twee secties van het stadstrand plaats vindt. Voor de dammen 1 en 3b zou dit betekenen dat er mogelijk een zandvolume direct achter de dam zich zal opbouwen. Met name de Y-constructie van de gehele dam 3 leent zich als potentiële 'zandvang'. Het is de verwachting dat het grootste gedeelte van het zandvolume zich direct achter de dam zal opbouwen. Daarom wordt voorgesteld om eveneens achter de dammen 1 en 3b een sedimentatiezone van 50 m te hanteren.

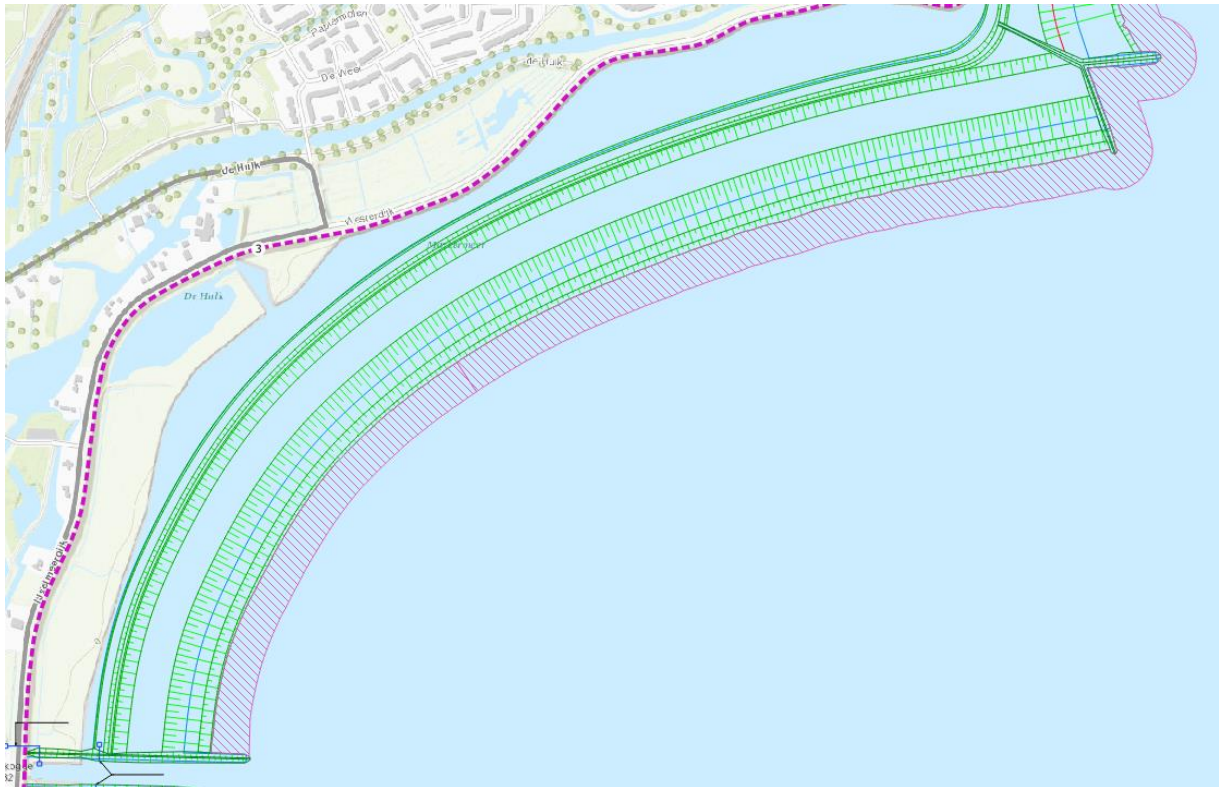
Voor de overige dammen geldt dat sediment zich aan de binnenzijde van de dammen zal verzamelen. Daarom wordt ook aan deze zijde een sedimentatie zonde met een breedte van 50 m gehanteerd.

2.5.3 Definitie sedimentatiestrook

Voor de aanleg van de Oeverdijk wordt een werkstrook van 50 m gehanteerd. Dit is in principe een zone die werkvaartuigen gebruiken voor de aanleg en heeft op zich dus geen effect op de bodem. Gezien de overeenkomst in afmetingen tussen de werkstrook en de sedimentatiezone, lijkt het desalniettemin logisch om deze strook ook aan te houden als directe sedimentatiezone. Deze zone is dus benodigd om de noodzakelijke dynamiek van de Oeverdijk toe te staan. Zie voor de positie van de zones Figuur 6 tot Figuur 8. Hierbij wordt opgemerkt dat deze strook niet langs de gehele lengte van de Oeverdijk zal worden opgevuld met sediment. Lokaal kan de bedekking gedurende de eerste 25 jaar variëren van enkele centimeters tot enkele meters (orde 1 tot 2 m). In stabiele regio's raakt de bodem mogelijk helemaal niet bedekt.



Figuur 6 Sedimentatie zone voor Stadsstrand Hoorn in rood gearceerde gebied.



Figuur 7 Sedimentatie zone voor Grote Waal in rood gearceerde gebied.

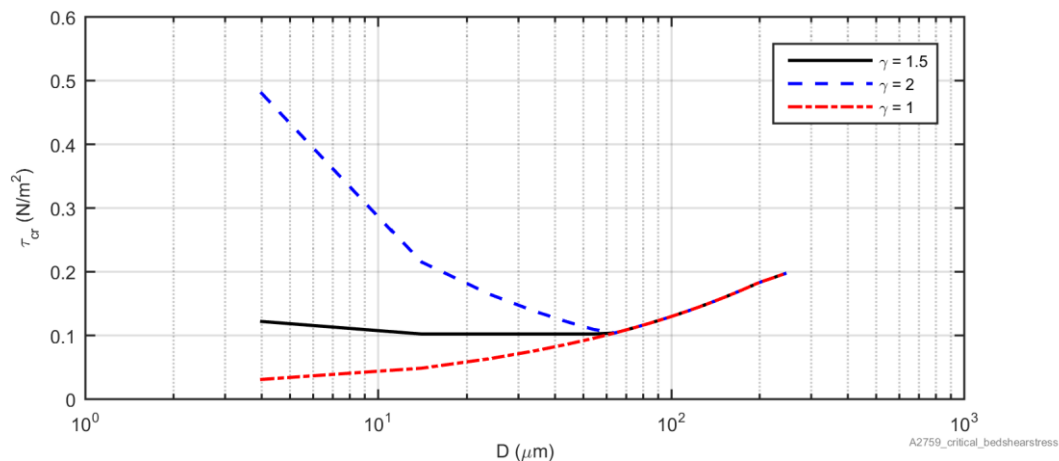


Figuur 8 Sedimentatie zone voor de Karperput in rood gearceerde gebied.

2.6 Grootschalige effecten

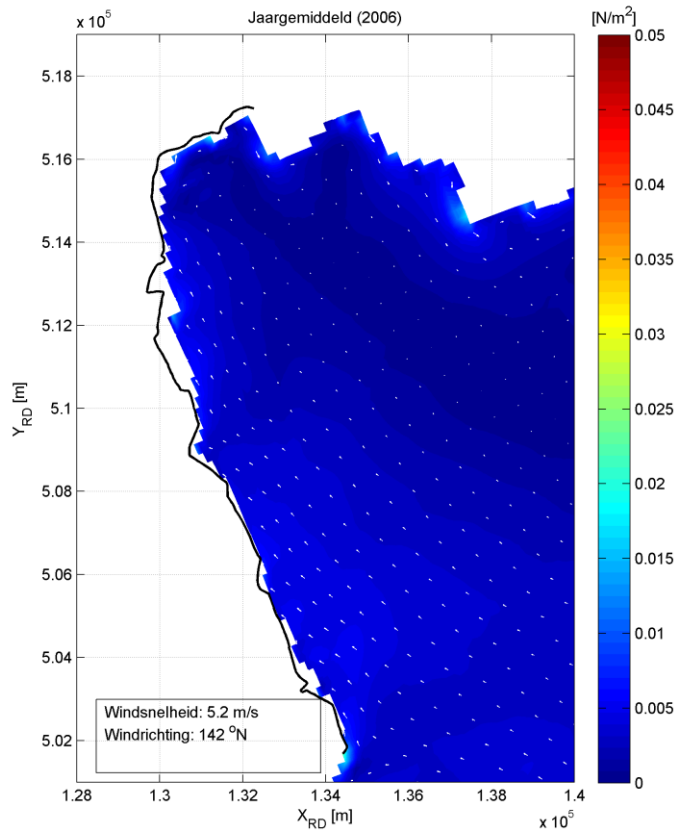
Sediment zal alleen door achtergrondstroming buiten de hierboven beschouwde sedimentatie zone kunnen worden getransporteerd. Dit kan alleen wanneer de achtergrondstroming in relatie tot de valsnelheid op diepere delen sterk genoeg is. Een manier om te bepalen of de achtergrondstroming sterk genoeg is, is door na te gaan of de bodemschuifspanning aan de bodem groter is dan de kritische bodemschuifspanning. De kritische bodemschuifspanning is een sedimenteigenschap en afhankelijk van de gemiddelde korrelde diameter van het sediment.

In [ref. 3] is de achtergrond stroming berekend voor een gemiddeld jaar. Op basis van de formulering van Van Rijn (1993) [ref. 8] kan de afhankelijkheid van de kritische bodemschuifspanning van de korrelgrootte worden berekend (Figuur 9). Voor alle instellingen geldt dat voor een korrelgrootte van 200 μm de kritische bodemschuifspanning 0,13 N/m^2 bedraagt.



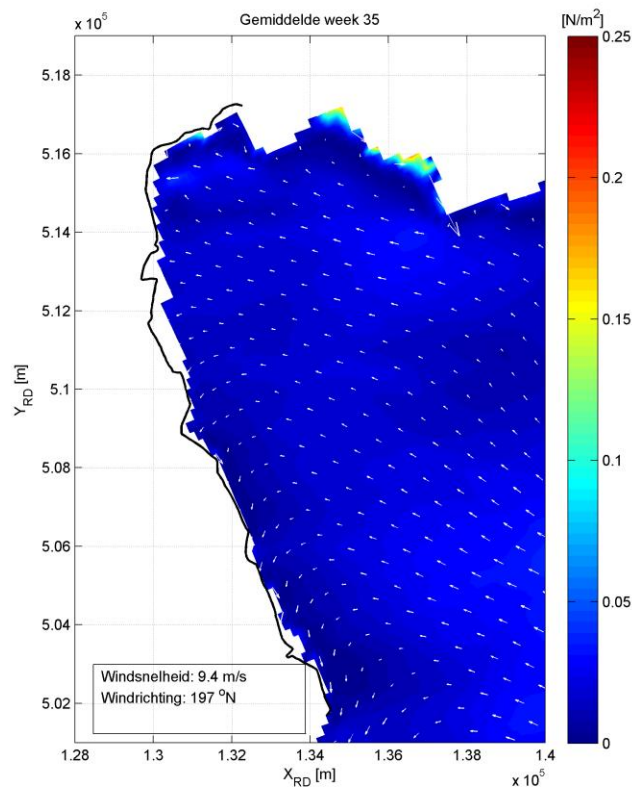
Figuur 9 Verloop kritische bodemschuifspanning voor toenemende korrelgrootte en verschillende waarden voor γ

Figuur 10 toont de jaargemiddelde bodemschuifspanning in het interessegebied. Op jaargemiddelde basis ligt de bodemschuifspanning tussen 0,01 en 0,02 N/m^2 . Dit is dus ongeveer een factor 10 lager dan de kritische bodemschuifspanning.



Figuur 10 Jaargemiddelde bodemschuifspanning.

Figuur 11 toont het weekgemiddelde bodemschuifspanningspatroon voor de week waar de hoogste bodemschuifspanningen zijn berekend. Ook in dit geval ligt de berekende bodemschuifspanning nergens boven de kritische bodemschuifspanning.



Figuur 11 Weekgemiddelde bodemschuifspanning gedurende zwaarste conditie.

2.7 Monitoring

Het morfologisch gedrag van het zandige profiel dient na opleveren te worden gemonitord. Ten eerste is dit noodzakelijk vanuit de veiligheidstoepassing van de Oeverdijk. Er dient op regelmatige basis gecontroleerd te worden of het volume zand in dwarsprofiel nog voldoende is om de veiligheidswerking te waarborgen. Daarnaast verschaft een zorgvuldige monitoring inzicht in het gedrag van de onderhoudsbuffer. Hierdoor wordt inzicht verschaft in de specifiek zwakke plekken. Daarnaast kan kennis worden opgedaan over de locaties waar het geërodeerde zand wordt verspreid. Door de opgedane kennis kan in de toekomst de Oeverdijk efficiënter worden beheerd. Het opstellen van het monitoringsplan is onderdeel van de detail ontwerpfase.

2.8 Conclusie deel 1

Hoofdstuk 2 van voorliggend document beschouwt de verspreiding van het geërodeerde materiaal uit het Oeverdijkprofiel in de periode na oplevering. Hiervoor is onderscheid gemaakt tussen een oever nabije sedimentatiezone en een grootschalige zone.

Voor de oever nabije zone wordt een gebied van 50 m ten opzichte van de teenlijn van de Oeverdijk en de strekdammen aangehouden. Deze zone is nodig om de vrije dynamiek, welke benodigd is voor de werking van de Oeverdijk, toe te staan. Sedimentatie van de bodem is in deze zone zeer waarschijnlijk. De mate van bedekking zal echter lokaal sterk verschillen van enkele centimeters (of helemaal niet) tot enkele meters (1 tot 2 m) gedurende 25 jaar. Overigens komen de

afmetingen van de sedimentatiezone overeen met de afmetingen van de werkstrook welke nodig is om de Oeverdijk aan te leggen.

Hoewel het niet valt uit te sluiten dat sediment buiten de hier gedefinieerde sedimentatiezone terecht komt, zal dit in kleine hoeveelheden zijn. Daarnaast geldt dat het grootste gedeelte van het sedimenttransport plaats vindt tijdens de winter, wanneer de meeste en zwaarste stormen plaats vinden. Hierdoor zal het bedekken van de bodem slechts beperkt (of helemaal geen) invloed hebben op het bodemleven. Het bodemleven is namelijk met name actief gedurende de zomerperiode.

Wat betreft sedimentatie buiten de oeversnabij zone geldt dat, op basis van de uitgevoerde berekeningen, er geen rekening gehouden hoeft te worden met structureel sedimenttransport door de achtergrondstroming. Hierdoor heeft de Oeverdijk geen structureel aanzandende werking voor de beschouwde havens, sluizen en gemalen en de nabij gelegen vaargeul.

In voorliggend deel 1 van deze nota is alleen de verspreiding beschouwd na aanleg van de Oeverdijk. Dat is inclusief de strekdammen. Gezien de voorbelasting welke nodig is om te compenseren voor de zettingen zal tijdens de uitvoering mogelijk gedurende lange tijd (minimaal een jaar) een (groot) zandlichaam worden aangebracht, welke niet is opgesloten door de strekdammen. Hierdoor kan de verspreiding tijdelijk mogelijk groter zijn dan voorzien. Deel 2 van deze nota gaat verder in op deze situatie.

3 Deel 2: verspreiding gedurende realisatie

3.1 Inleiding

3.1.1 Achtergrond

Alvorens de Oeverdijk volgens het ontwerp aan te leggen, is een periode van voorbelasting noodzakelijk. Het nieuw aan te leggen profiel is voorzien meerwaarts van de huidige dijk en grotendeels meerwaarts van de huidige waterlijn. Vanwege de relatief onbelaste historie van deze ondergrond mag significante zetting verwacht worden ter hoogte van het aan te leggen zandpakket. Een aanzienlijk percentage van de zetting zal optreden gedurende de periode van voorbelasting van 1 à 2 jaar. De conservatieve aanname hierbij is dat er gedurende deze periode geen opsluiting en afscherming van het zandlichaam plaatsvindt door middel van strekdammen. Deze worden pas in een later stadium aangelegd. Het profiel staat hiermee volledig bloot aan het golfklimaat. De periode van 1 à 2 jaar bevat ook 1 à 2 stormseizoenen. De verwachte ontwikkeling van het zandlichaam ten gevolge van de gemiddelde belasting als wel de stormbelasting dient inzichtelijk gemaakt te worden.

3.1.2 Doel

Het doel van dit deel is het voorspellen van de te verwachte ontwikkeling van het zandpakket gedurende de voorbelasting periode van 1 à 2 jaar op basis van jaargemiddelde belasting en ontwikkeling ten gevolge van 1 à 2 relatief zware condities (bijvoorbeeld één 1/25 per jaar storm of twee 1/10 per jaar stormen) representatief voor de stormseizoenen. Op basis van deze voorspelling moet het mogelijk zijn een risico analyse te maken wat betreft eventuele ongewenste ontwikkelingen van het zandlichaam gedurende de periode van voorbelasting.

De volgende vragen dienen hiertoe beantwoord te worden:

- Hoe groot is het te verwachten transport per conditie?
- Hoeveel zand verdwijnt uit het beoogde oeverdijk areaal?
- Waar komt dit zand grofstoffelijk terecht?

3.1.3 Aanpak

Teneinde de bovengenoemde vragen te beantwoorden is het onderzoek opgesplitst in twee delen:

- 1 De voorspelling van de ontwikkeling van het zandlichaam onder jaargemiddelde condities gedurende 1 à 2 jaar;
- 2 De simulatie van de korte termijn ontwikkeling van het zandlichaam ten gevolge van relatief zware condities representatief voor het stormseizoen.

De jaarrond ontwikkeling wordt onderzocht met het gebruik van UniBest of een soortgelijk *Generic Coastline Model* (GC model). Dit model zal geverifieerd worden met behulp van de bestaande XBeach en Delft3D modellen die opgezet zijn gedurende voorgaande fasen van dit project. Voor de simulatie van de ontwikkeling tijdens relatief zware condities zal gebruik worden gemaakt van een aangepaste versie van de bestaande XBeach modellen.

De volgende secties zullen worden beschouwd:

- Hoorn stadstrand;
- Grote Waal;
- Karperput;
- Zeevang.

3.1.4 Leeswijzer

In §3.2 is allereerst een samenvatting van de uitwerkingen opgenomen, evenals de conclusies. De volgende secties presenteren de uitwerkingen in meer detail. Allereerst is in §3.3 uiteengezet hoe het meer conceptuele GC model en het procesmatige XBeach model zijn toegepast voor de simulatie van de ontwikkeling van het zandlichaam tijdens de periode van voorbelasting. Tot slot bevat §3.4 de modelresultaten van beide modellen voor de relevante deelsecties van de Oeverdijk.

3.2 Samenvatting resultaten deel 2

Voorliggend document onderzoekt het gedrag van het oeverdijkprofiel zoals dat tijdens de uitvoeringsfase aanwezig zal zijn. Als gevolg van de verwachte zettingen is een aanzienlijk groter volume zand nodig dan voorzien in het oeverdijkontwerp. Daarnaast zal dit zandpakket met een steiler profiel worden aangelegd. Ook wordt er waarschijnlijk gewacht met het aanbrengen van de opsluitende constructies totdat het grootste gedeelte van de zetting is opgetreden. Dit alles zal vermoedelijk 1 à 2 jaar in beslag nemen, met als gevolg dat het zandpakket bloot wordt gesteld aan 1 à 2 stormseizoenen en het sedimenttransport niet wordt geblokkeerd door de dwarsdammen. Dit heeft als mogelijk gevolg dat sediment uit het oeverdijkprofiel spoelt en wordt verspreid buiten de projectgrenzen. De omvang van dit risico is ingeschat door de (ruimtelijke) ontwikkeling van het aanlegprofiel (dus inclusief zettingscompensatie) te simuleren als gevolg van jaarlijks gemiddelde golf aanval en als gevolg van een zwaardere stormconditie met een terugkeerfrequentie van 1/10 per jaar. De belangrijkste conclusies van deze uitwerkingen zijn hieronder samengevat.

3.2.1 Hoorn stadstrand

- Gedurende de uitvoeringsfase zal het sediment in langs- en dwarsrichting worden herverdeeld;
- Een netto volume van ongeveer 1.500 m³ wordt richting het oosten getransporteerd. Het grootste gedeelte van dit volume blijft binnen de projectgrenzen;
- Op jaarbasis is het de verwachting dat (als gevolg van dwarstransporten) een sedimentvolume van ongeveer 200 m³/jaar buiten de projectgrenzen terecht zal komen;
- Tijdens een 1/10 per jaar stormconditie wordt een volume van ongeveer 700 m³/dag buiten de projectgrenzen getransporteerd.
- Een en ander leidt lokaal tot een achteruitgang van de waterlijn oplopend tot circa 40 m/jaar;

3.2.2 Grote Waal

- Gedurende de uitvoeringsfase zal het sediment in langs- en dwarsrichting worden herverdeeld;
- Als gevolg van zuidwaarts transport slaat ongeveer 1000 m³/jaar aan materiaal neer in het uitwateringskanaal van gemaal Westerkogge. Daartegenover staat dat ongeveer 4.000 m³/jaar naar het oosten wordt getransporteerd en waarschijnlijk neerslaat in de omgeving van het stadstrand Hoorn. Het getransporteerde volume blijft waarschijnlijk binnen de projectgrenzen;
- Tijdens een 1/10 per jaar stormconditie verdubbelen deze waarden en verandert de eenheid in m³/dag.
- Op jaarbasis is het de verwachting dat (als gevolg van dwarstransporten) een sedimentvolume van ongeveer 600 m³/jaar buiten de projectgrenzen terecht zal komen;
- Tijdens een 1/10 per jaar stormconditie loopt dit volume op tot 2.700 m³/dag;
- Een en ander leidt lokaal tot een achteruitgang van de waterlijn oplopend tot circa 50 tot 60 m/jaar;

3.2.3 Karperput

- Gedurende de uitvoeringsfase zal het sediment in langs- en dwarsrichting worden herverdeeld;
- Er is sprake van een aanzienlijk noordwaarts gericht transport van 14.000 m³/jaar. Dit slaat hoofdzakelijk neer in het uitwateringskanaal van gemaal Westerkogge ten noorden

van deelsectie Karperput en verder richting het noorden (Grote Waal en verder), maar blijft vermoedelijk binnen de projectgrenzen;

- Tijdens een 1/10 per jaar stormconditie worden dezelfde waarden gevonden voor het langstransport, maar verandert de eenheid in m³/dag;
- Op jaarbasis is het de verwachting dat (als gevolg van dwarstransporten) een sedimentvolume van ongeveer 700 m³/jaar buiten de projectgrenzen terecht zal komen;
- Tijdens een 1/10 per jaar stormconditie loopt dit volume op tot 1.000 m³/dag;
- Een en ander leidt lokaal (in de zuidelijke hoek) tot een achteruitgang van de waterlijn oplopend tot circa 40 tot 50 m/jaar;

3.2.4 Zeevang

- Gedurende de uitvoeringsfase zal het sediment in langs- en dwarsrichting worden herverdeeld;
- Er is sprake van een noordwaarts gericht transport van 5.000 m³/jaar en een zuidwaarts gericht transport van ongeveer 7.500 m³/jaar. Het is de verwachting dat dit volume binnen de projectgrenzen zal neerslaan;
- Tijdens een 1/10 per jaar stormconditie worden ongeveer dezelfde waarden gevonden voor het langstransport, maar verandert de eenheid in m³/dag;
- Op jaarbasis is het de verwachting dat (als gevolg van dwarstransporten) een sedimentvolume van ongeveer 1.500 m³/jaar buiten de projectgrenzen terecht zal komen;
- Tijdens een 1/10 per jaar stormconditie wordt een volume van ongeveer 1.250 m³/dag buiten de projectgrenzen getransporteerd.
- Een en ander leidt lokaal (in de zuidelijke en noordelijke hoek) tot een achteruitgang van de waterlijn oplopend tot circa 15 tot 30 m/jaar;

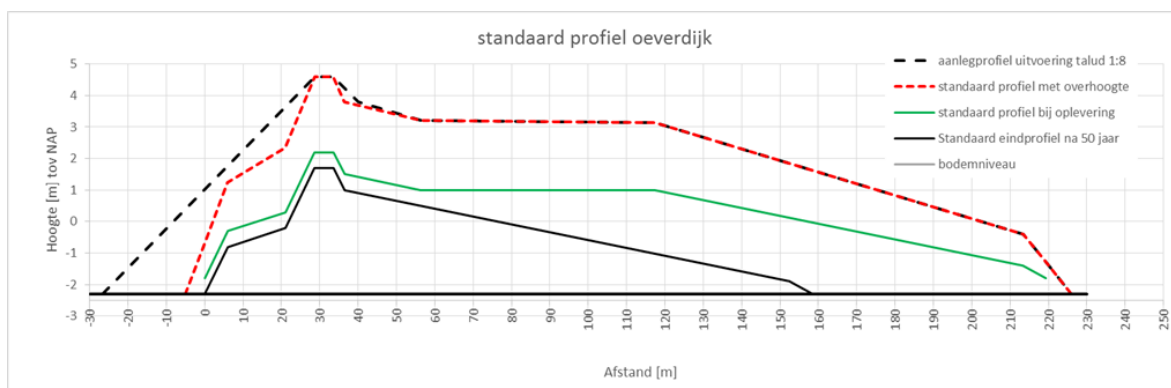
3.3 Opzet modellen

3.3.1 Algemeen

Een groot aantal modellen is reeds beschikbaar uit voorgaande fasen van het project. Voor het gebruik bij dit onderzoek is hieruit een selectie gemaakt op basis van de relevante processen die een rol spelen bij de (relatief korte termijn) ontwikkeling van het zandlichaam tijdens de voorbelasting. Vanwege de afwezigheid van strekdammen tijdens deze periode, is de (tijdelijke) oeverlijn relatief uniform in de langsrichting. Een conceptueel kustlijn model leent zich daardoor goed om de ontwikkeling van de oeverlijn te simuleren ten gevolge van voornamelijk langtransport bij jaargemiddelde condities. Voor de morfologie tijdens relatief zwaardere condities speelt naast langtransport ook dwarstransport een rol, over een relatief groter deel van de verticaal. Dit proces is, net zoals in voorgaande fasen tijdens het project, gesimuleerd met behulp van XBeach [ref. 4].

3.3.2 Aangepast profiel

De vormgeving (de positie van de oeverlijn als het karakteristieke dwarsprofiel) van het zandlichaam tijdens voorbelasting is niet gelijk aan de vormgeving van het oeverdijk ontwerp (zie voor het ontwerp [ref. 1]). Dit komt door de ruimtelijk variërende zettingsbuffer. Deze is hoger naarmate het oeverdijkprofiel hoger is. Het effect hiervan is dat oeverlijn consistent meerwaarts verplaatst en het (initiële) talud van het dwarsprofiel toeneemt (het profiel wordt steiler). Figuur 12 toont de opbouw van het dwarsprofiel. De zwarte lijn beschrijft het originele ontwerp van het dwarsprofiel van de oeverdijk met een buitentalud van 1:40. Het groene profiel toont het profiel bij oplevering na de voorbelasting. De afwijking met het zwarte profiel volgt uit een slijtlaag ter compensatie van het te verwachten verlies door lokale langs- en dwarstransport en de zetting gedurende de levensduur. Voor deze studie is het profiel bij oplevering plus initiële zettingsbuffer van belang (de rode streeplijn). Deze kenmerkt zich door een kruin op 4,5 m+ NAP, een berm met variërende breedte op circa NAP+3,2 m, een buitentalud tot NAP-0,4 m van circa 1:25 en een buitentalud van 1:8 tussen NAP-0,4 m en de huidige bodem. De meerwaartse verplaatsing van de oeverlijn is af te leiden uit het dwarsprofiel¹.



Figuur 12 Opbouw van het dwarsprofiel van het zandlichaam bij aanvang van de periode van voorbelasting.

¹ N.B. Ten opzichte van [ref. 1] is dit de horizontale afstand tussen de het zwarte profiel en het rode streepprofiel op NAP-0,4 m omdat er nog geen morfologische toetsing heeft plaatsgevonden van het dwarsprofiel inclusief slijtlaag (het groene profiel).

3.3.3 GC model

Het GC model bepaalt de ontwikkeling in de tijd van de oeverlijn op basis van de momentane gradiënt in het sediment langtransport. Het langtransport wordt berekend aan de hand van de bulk sediment langtransport formule Soulsby-Van Rijn ([ref. 6]; [ref. 7]).

De benodigde invoer voor het bepalen van de ontwikkeling van de oeverlijn bestaat uit een definitie van de initiële positie van de oeverlijn, een generiek dwarsprofiel inclusief sediment karakteristieken en een lokaal jaargemiddeld golfspectrum. Het golfspectrum dient opgebouwd te zijn uit de kans van voorkomen per relevante golfconditie (bestaande uit een golfhoogte, golfperiode en een golfrichting). De morfologie van de oeverlijn volgt vervolgens uit het berekende netto sediment langtransport. Een opbouwend langtransport (positieve gradiënt) resulteert in erosie en een landwaartse verplaatsing van de lokale oeverlijn. Een afnemend langtransport (negatieve gradiënt) resulteert in sedimentatie en een meerwaartse verplaatsing van de oeverlijn. Voor de profiel invoer is gebruik gemaakt van de gegevens zoals gepresenteerd in paragraaf 3.3.2. Het jaargemiddelde lokale golfspectrum is gebaseerd op de translatie van de langjarige wind tijdserie naar een langjarige golf tijdserie met behulp van een golfmodel, zie [ref. 4].

3.3.4 XBeach model

De morfologische ontwikkeling van het profiel ten gevolge van jaargemiddelde condities als wel ten gevolge van één enkele relatief zware conditie is gesimuleerd. Het resultaat van de jaargemiddelde belasting is gebruikt voor de analyse van de ontwikkeling tijdens jaarrond condities (parallel aan de GC model benadering) en levert ook een ingespeeld bodemprofiel dat dient als invoer voor de morfologische simulatie onder zware condities. De resultaten uit deze som worden enkel gebruikt voor de analyse van de ontwikkeling onder relatief zware condities.

Eenzelfde modelopzet zoals uiteengezet in [ref. 4] is toegepast voor de opzet van de XBeach modellen gebruikt bij dit onderzoek. Deelsectie Zeevang vormt hierop een uitzondering. Door de relatief hoge non-uniformiteit in de langsrichting ten gevolge van de strekdammen, was het voorheen modelmatig niet haalbaar om de gehele deelsectie in één model te vangen vanwege het vereiste detail in de langsrichting. Bij dit onderzoek volstaat een enigszins lagere resolutie in de langsrichting vanwege de hogere uniformiteit. Waar dit voorheen alleen mogelijk was bij simulatie met Delft3D, is deelsectie Zeevang nu ook bij simulatie in XBeach in één enkel modeldomein te vangen. Deze omvat de oeverdijksectie Zeevang inclusief 500 m extra oeverlengte in het noorden en zuiden.

De invoer van het XBeach model bestaat daarmee uit (zie [ref. 4] voor een uitgebreide toelichting):

- Initieel bodemprofiel op basis van de huidige bathymetrie met het standaard oeverdijkprofiel met overhoogte (zie Figuur 12) daarop gesuperponeerd;
- Jaargemiddelde golfbelasting bestaande uit een willekeurig gegenereerde reeks van golfcondities op basis van het jaargemiddelde lokale golfspectrum;
- Een 1/10 per jaar stormconditie (golven en waterstand) gedurende 48 uur op basis van de lokale Hydra Zoet gegevens.

3.4 Modelresultaten

3.4.1 Algemeen

Jaargemiddelde condities

De ontwikkeling van de oeverlijn is op verschillende manieren beschouwd om een zo compleet mogelijk beeld te krijgen van de bandbreedte van de te verwachten morfologie. De eerste benadering is op basis van de bulk sediment transportformule Soulsby – van Rijn. Aan de hand van de gradiënt in de lokaal berekende sediment transportcapaciteit, kan een ontwikkeling van de oeverlijn berekend worden. Deze methode gaat uit van het per definitie behalen van de transportcapaciteit en vormt daarmee een zekere bovengrens wat betreft de berekende erosie. Belangrijke parameters hierbij zijn onder andere het dwarstalud, de korreldiameter en de lokale hoek tussen de oevernormaal en de golfrichting. De belasting bestaat uit een jaargemiddeld golfspectrum.

Bij de tweede benadering wordt gebruik gemaakt van het procesmatige rekenmodel XBeach. Een deel van de huidige Markermeerdijk inclusief het oeverdijkprofiel is volledig opgenomen in dit model. XBeach is in essentie een stormafslag model en hoewel het wel mogelijk is, vormt de gesimuleerde ontwikkeling ten gevolge van relatief minder extreme condities een onderschatting van de werkelijkheid. Zeker in de situatie waar ook 'kalmte' condities bij kunnen dragen aan de ontwikkeling van het profiel, wat lokaal het geval is bij een voorbelastingprofiel zonder afscherming door strekdammen. De resultaten verkregen met de tweede benadering vormen daarmee een ondergrens van de te verwachten ontwikkeling.

Zware condities

Het procesmatige rekenmodel XBeach leent zich goed voor het simuleren van de ontwikkeling van het profiel tijdens relatief zware condities. De rekenresultaten van dit model worden daarom als toereikend beschouwd voor het opstellen van de conclusies wat betreft de te verwachten gevolgen van het stormseizoen.

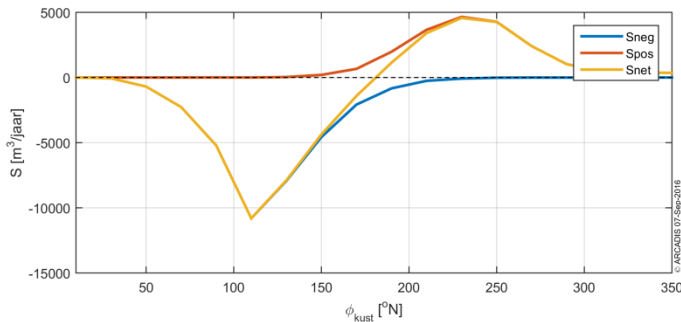
3.4.2 Jaargemiddelde condities

Hoorn stadstrand

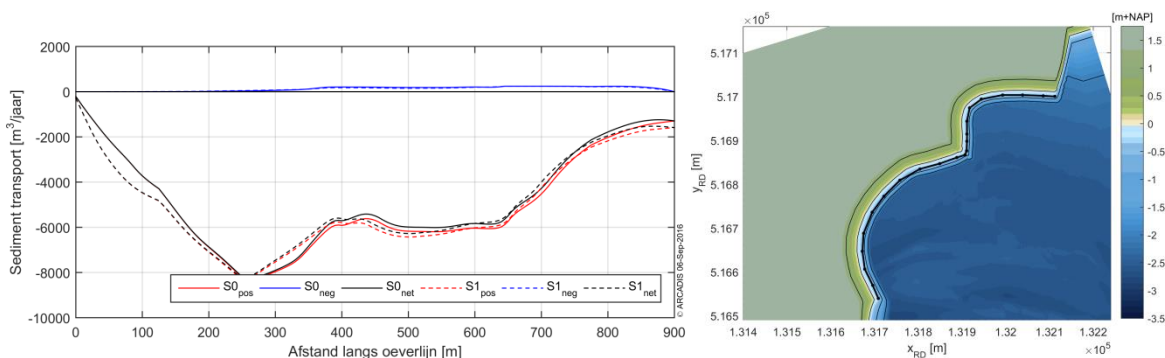
De relatie tussen de oriëntatie van de oeverlijn (ϕ in $^{\circ}$ N) en het bruto en netto sedimenttransport (S in m^3 /jaar) is weergegeven met behulp van een S - ϕ kromme (Figuur 13). De evenwichtsoriëntatie, waar de oevernormaal gelijk is aan de gemiddelde golfrichting en geen sprake is van netto langtransport, is berekend op 177° N. Vanwege de ligging van de Hoornse Hop kan het noordwaartse transport (het 'negatieve' transport in Figuur 13) hoger oplopen dan het zuidwaartse transport (het 'positieve' transport).

Aan de hand van de S - ϕ kromme kan het bruto en netto langtransport berekend worden langs de oeverlijn van deelsectie Hoorn stadstrand. De deelsectie wordt afzonderlijk beschouwd wat wil zeggen dat het noordwaarts transport op de zuidelijke grens en het zuidwaarts transport op de noordelijke grens op 0 wordt geforceerd (dit is niet geheel correct, zie paragraaf 3.5). Het resulterende transport langs de oeverlijn (zuid-noord) is getoond in Figuur 14. Hierin is blauw het zuidwaarts transport, rood het noordwaarts transport en zwart het resulterende netto transport. De doorgetrokken grafieken tonen de transporten direct na oplevering, de streepgrafieken tonen de transporten na één jaar morfologische ontwikkeling. Hieruit blijkt dat, door de oriëntatie van de oevernormaal, het zuidwaarts transport (S_{neg}) verwaarloosbaar is. Door het wegvallen van de afscherming door de strekdammen wordt het netto transport gedomineerd door het noordwaarts transport; dit bouwt op richting het noorden tot maximaal $8.000 m^3$ /jaar, en neemt vervolgens af tot circa $1.500 m^3$ /jaar bij de noordelijk begrenzing. Dat wil zeggen dat er een verlies optreedt van

circa 1.500 m³/jaar richting het oosten. De verwachting is dat dit wel direct ten oosten van het oeverdijkprofiel neerslaat, door de komvorm van de Hoornse Hop.

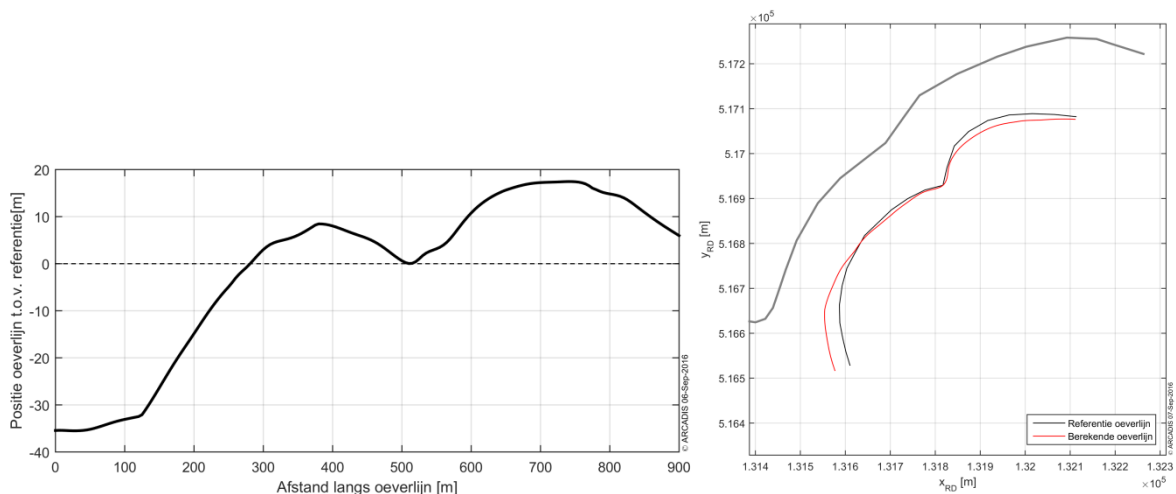


Figuur 13 S-φ kromme voor detailsectie Hoorn stadstrand.



Figuur 14 Berekend bruto en netto langtransport (links) langs de oeverlijn (rechts).

Middels de gradiënt in het langtransport kan de ontwikkeling van de oeverlijn berekend worden, uitgedrukt in een teruggang dan wel meerwaartse verplaatsing van de waterlijn. Deze verplaatsing is zowel in absolute zin als in ruimtelijke vorm weergegeven, respectievelijk in het linkerframe en het rechterframe in Figuur 15. Ten gevolge van de opbouw van het transport is er teruggang zichtbaar in het zuiden van de deelsectie. Deze is maximaal op de zuidelijke begrenzing en bedraagt circa 35 m. Na circa 275 m neemt het transport af en is er sprake van een meerwaartse verplaatsing van de oeverlijn door afzetting van het materiaal.



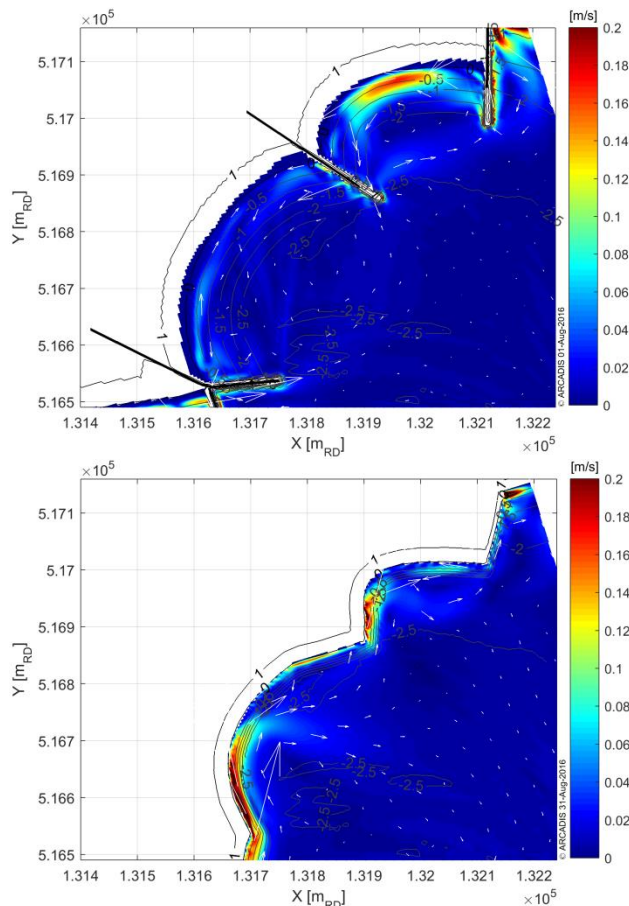
Figuur 15 Berekende verplaatsing van de oeverlijn na 1 jaar (GC model).

De modelresultaten van het XBeach model zijn hieronder gepresenteerd. Figuur 16 toont de jaargemiddelde stroomsnelheid langs deelsectie Hoorn stadstrand in de situatie met en zonder strekdammen. Een significante langsstroming kan worden waargenomen langs de onbeschermde kappen van het zandlichaam. Deze langsstroming heeft een toename in sedimenttransport tot gevolg ten opzichte van de situatie met strekdammen waar geen sprake is van langsstroming rond de kappen.

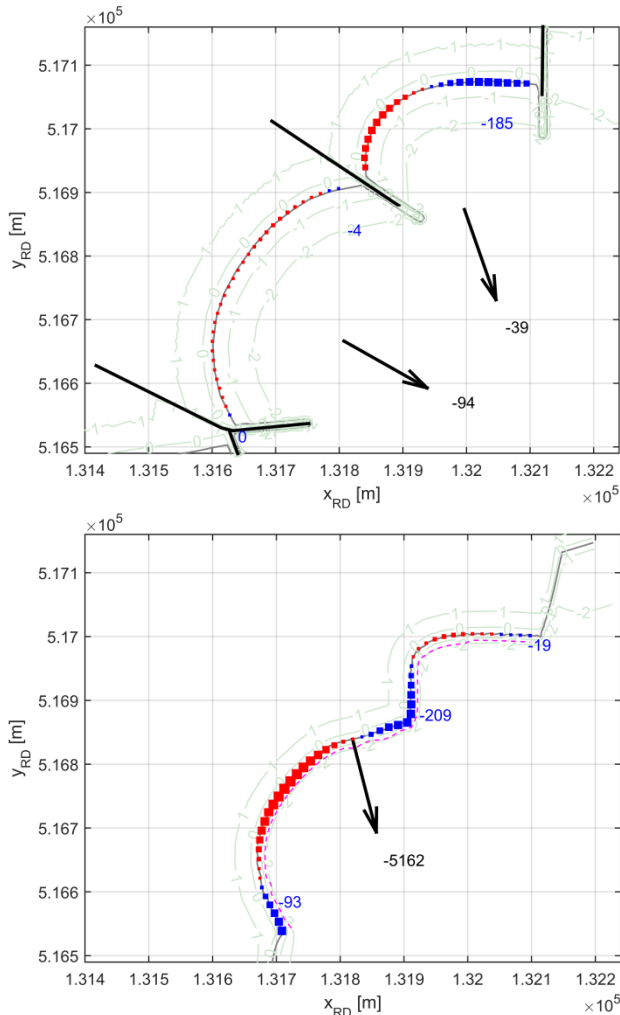
Dit is ook terug te zien in Figuur 17. Hierin is de erosie (blauw) en sedimentatie (rood) ten gevolge van langstransport getoond. Cumulatief over de verticaal is rond de kappen sprake van erosie en in de kommen is sprake van sedimentatie.

De langsverliezen nemen voornamelijk toe bij de zuidelijke begrenzing en rond de kaap halverwege.

Het dwarsverlies (zwart) neemt significant toe ten opzichte van de situatie bij oplevering. Dit komt niet alleen door de afwezigheid van de strekdammen, maar hoofdzakelijk door het steilere talud (1:25 ten opzichte van 1:40 en onder de waterlijn initieel zelfs 1:8). In totaal is er sprake van een dwarsverlies over de NAP-2 m contour van 5.500 m³ in het eerste jaar. Overigens slaat maar 200 m³ hiervan niet neer binnen 50 m van het oeverdijk profiel in de dwarsrichting. Het daadwerkelijke verlies naar diepere delen bedraagt dus 200 m³.

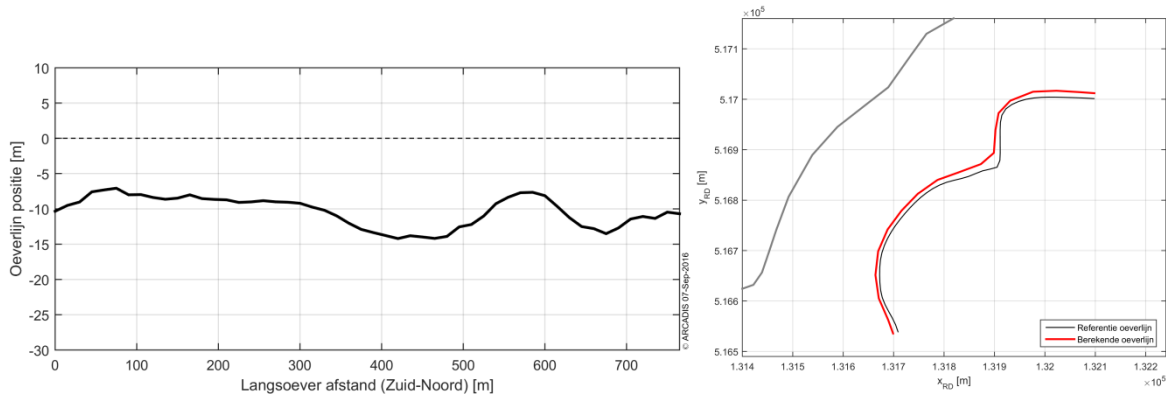


Figuur 16 Jaargemiddelde stroomsnelheid in situatie na oplevering (links) en tijdens voorbelasting (rechts).



Figuur 17 Langverliezen (blauw) en dwarsverliezen (zwart) in de situatie na oplevering (links) en tijdens voorbelasting (rechts).

Ook hier is gekeken naar de ontwikkeling van de waterlijn door de afstand tussen de NAP-0,4 m contour te beschouwen aan het begin en het eind van de simulatie (Figuur 18). Langs de gehele sectie is sprake van een teruggang van de oeverlijn. Deze teruggang varieert tussen de 7 en 14 m. Het is voornamelijk het dwarsverlies dat deze teruggang veroorzaakt. Het dwarsverlies leidt tot 5 tot 8 m teruggang. Bij de begrenzingen van de sectie en ter hoogte van de centrale kaap is de totale teruggang wat groter door het langsverlies.



Figuur 18 Berekende verplaatsing van de oeverlijn na 1 jaar (XBeach).

Conclusie Hoorn stadstrand

De teruggang door langsverlies is circa 35 m/j in het zuiden en loopt terug tot 0 m/j richting het noorden.

De teruggang door dwarsverlies is circa 8 m/j.

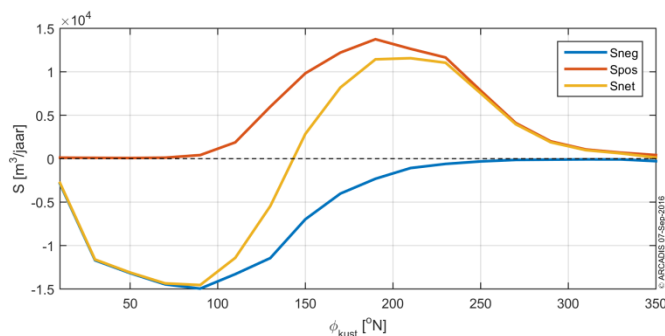
Het langsverlies uit het profiel is circa $1.500 \text{ m}^3/\text{j}$. Dit slaat hoofdzakelijk neer net ten oosten van de oeverdijk in de Hoornse Hop.

Het dwarsverlies uit het profiel is circa $200 \text{ m}^3/\text{j}$. Dit slaat hoofdzakelijk neer net buiten het oeverdijkareaal in de dwarsrichting.

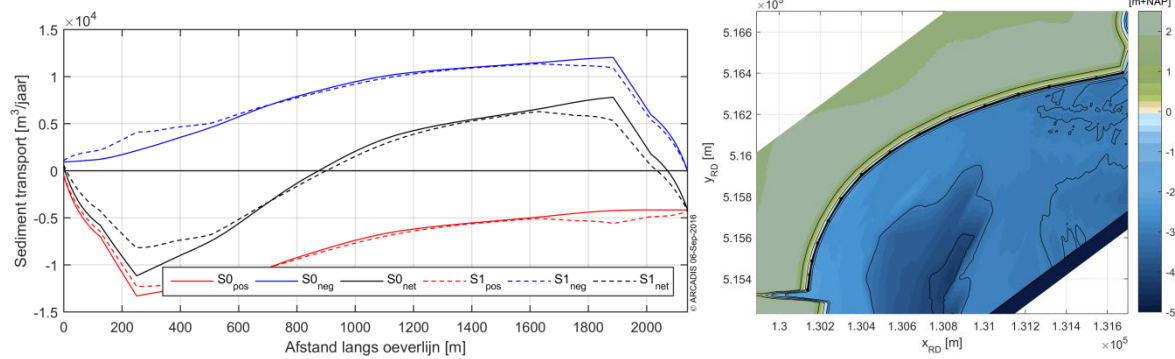
Grote Waal

De $S-\phi$ kromme voor deelsectie Grote Waal is getoond in Figuur 19. Door het meer onbeschermd karakter ten opzichte van deelsectie Hoorn stadstrand is de maximale transportcapaciteit van het sediment langstransport wel tot een factor 3 hoger. Echter, de oriëntatie van de oevernormaal ligt bij deelsectie Grote Waal dichter op de evenwichtsoriëntatie. Het berekende maximale transport (getoond in Figuur 20) is daardoor maar een fractie groter dan bij deelsectie Hoorn stadstrand. Er is hier sprake van zowel noordwaarts (rood) als zuidwaarts (blauw) transport. Deze zijn op respectievelijk de zuidelijke en noordelijke begrenzing op 0 geforceerd zodat de deelsectie in feite los van de overige deelsecties beschouwd wordt. In werkelijkheid zal er naar alle waarschijnlijkheid sediment 'lekker' vanuit deelsectie Karperput bij afwezigheid van strekdammen, maar middels deze aanpak wordt er een conservatief verlies berekend.

Op basis van het netto transport is er sprake van circa $1.000 \text{ m}^3/\text{j}$ verlies naar het zuiden en circa $4.000 \text{ m}^3/\text{j}$ naar het noorden (oosten). Vanwege de vormgeving van het ontwerp zal het verlies naar het zuiden vooral resulteren in afzetting in de uitwatering. Het verlies naar het oosten voedt in zekere zin deelsectie Hoorn stadstrand en zal voornamelijk neerslaan in de Hoornse Hop.

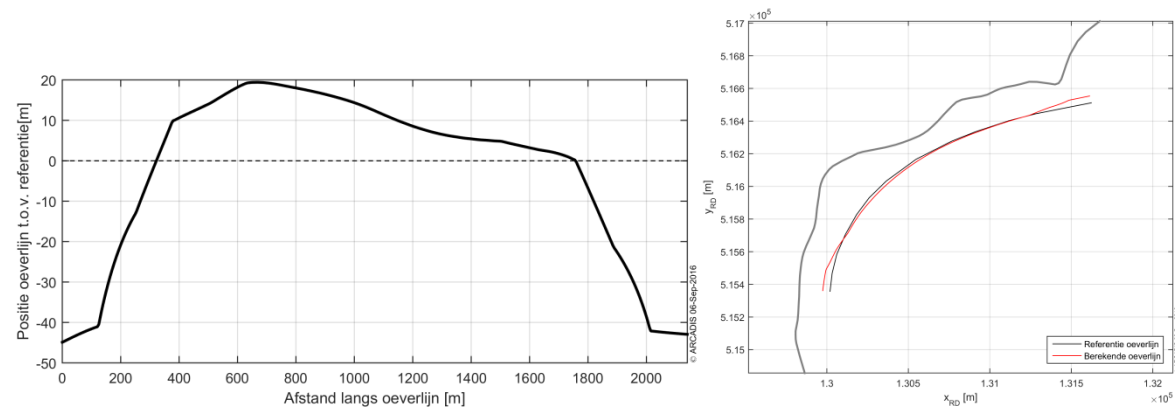


Figuur 19 S- ϕ kromme voor deelsectie Grote Waal.



Figuur 20 Berekend bruto en netto langstransport (links) langs de oeverlijn (rechts).

Middels de gradiënt in het langstransport kan de ontwikkeling van de oeverlijn berekend worden, uitgedrukt in een teruggang dan wel meerwaartse verplaatsing van de waterlijn. Deze verplaatsing is zowel in absolute zin als in ruimtelijke vorm weergegeven, respectievelijk in het linkerframe en het rechterframe in Figuur 21. Ten gevolge van de opbouw van het transport bij beide uiteinde van de deelsectie, is er teruggang zichtbaar op deze locaties. De maximale teruggang bedraagt circa 45 m/j en neemt af richting het centrum. Door netto transport naar het centrum van het deelvak is hier sprake van enige afzetting van sediment: de verplaatsing van de oeverlijn loopt hier lokaal op tot 20 m/j.



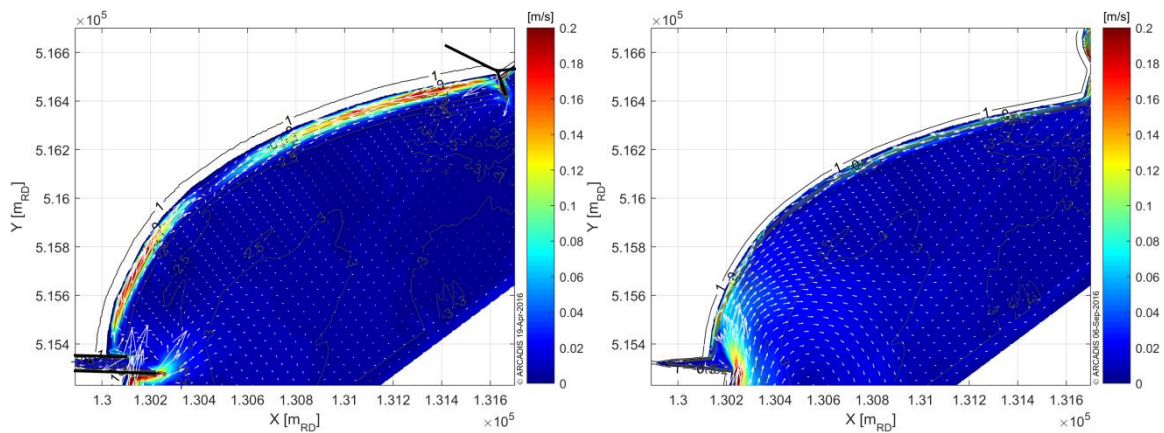
Figuur 21 Berekende verplaatsing van de oeverlijn na 1 jaar (GC model).

De modelresultaten van het XBeach model zijn hieronder gepresenteerd. Figuur 22 toont de jaargemiddelde stroomsnelheid langs deelsectie Grote Waal in de situatie met en zonder strekdammen. De strekdammen hebben voor deelsectie Grote Waal in feite geen afscherpende functie, enkel een compartimenterende functie. Het stroompatroon verandert daarom ook niet significant en is nog altijd gericht richting het centrum van het deelvak. Wel is door het steilere talud deze langsstroming over een smallere band zichtbaar langs de oever.

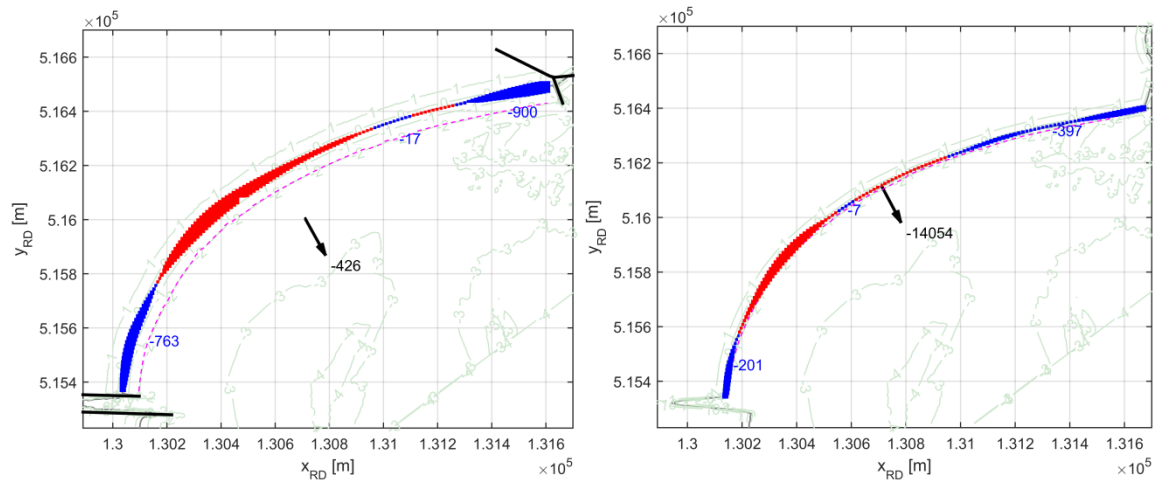
In Figuur 23 is in blauw de erosie en rood de sedimentatie ten gevolge van het langstransport getoond. Logischerwijs heeft de stroming naar het centrum ook nu erosie aan de uiteinden van het deelvak en sedimentatie in het centrum tot gevolg.

Het dwarsverlies (zwart) neemt significant toe ten opzichte van de situatie bij oplevering. Dit komt hoofdzakelijk door het steilere talud (1:25 ten opzichte van 1:40 en onder de waterlijn initieel zelfs 1:8). In totaal is er sprake van een dwarsverlies over de NAP-2 m contour van ruim 14.000 m³ in

het eerste jaar. Overigens slaat maar 600 m³ hiervan niet neer binnen 50 m van het oeverdijkprofiel in de dwarsrichting. Het daadwerkelijke verlies naar diepere delen bedraagt dus 600 m³.

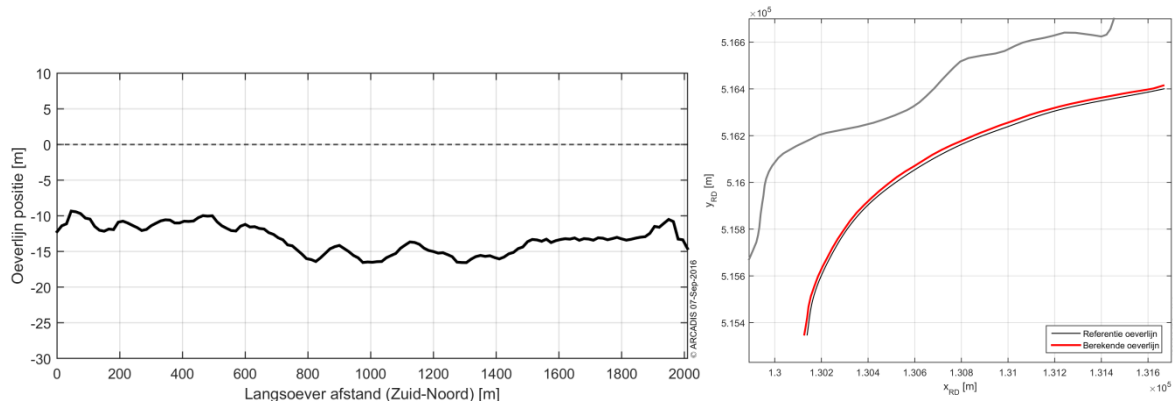


Figuur 22 Jaargemiddelde stroomsnelheid in situatie na oplevering (links) en tijdens voorbelasting (rechts).



Figuur 23 Langverliezen (blauw) en dwarsverliezen (zwart) in de situatie na oplevering (links) en tijdens voorbelasting (rechts).

Ook hier is gekeken naar de ontwikkeling van de waterlijn door de afstand tussen de NAP-0,4 m contour te beschouwen aan het begin en het eind van de simulatie (Figuur 24). Langs de gehele sectie is sprake van een teruggang van de oeverlijn. Deze teruggang varieert tussen de 10 en 17 m. Het is voornamelijk het dwarsverlies dat deze teruggang veroorzaakt. Het dwarsverlies leidt tot 6 tot 9 m teruggang. Bij de begrenzings van de sectie is de totale teruggang wat groter door het langsverlies.



Figuur 24 Berekende verplaatsing van de oeverlijn na 1 jaar (XBeach).

Conclusie

De teruggang door langsverlies is circa 45 m/j bij beide sectie begrenzingen en loopt terug richting het centrum. Hier is zelfs sprake van sedimentatie.

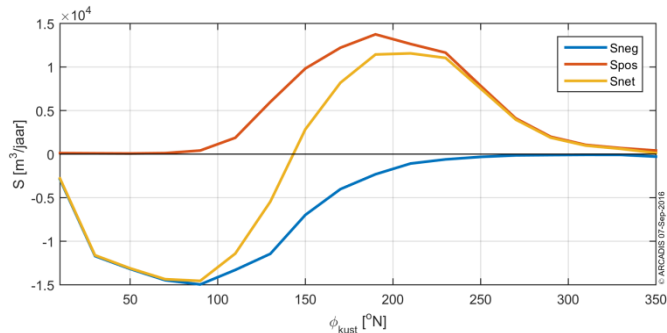
De teruggang door dwarsverlies is circa 9 m/j.

Het langsverlies uit het profiel is circa 5.000 m³/j. Dit slaat hoofdzakelijk neer in de uitwatering ten zuiden van deelsectie Grote Waal (1.000 m³/j) en richting het oosten in de Hoorse Hop (4.000 m³/j).

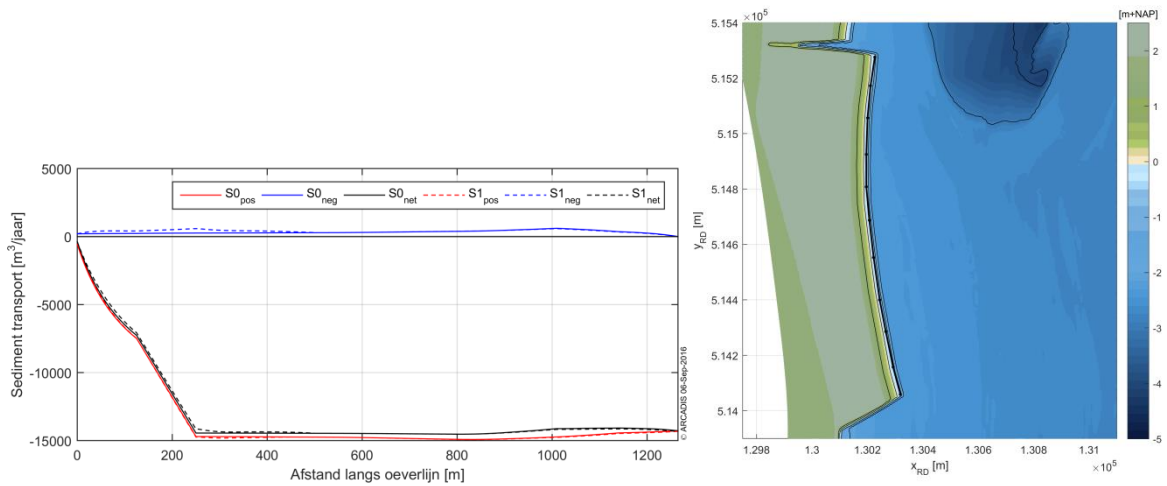
Het dwarsverlies uit het profiel is circa 600 m³/j. Dit slaat hoofdzakelijk neer net buiten het oeverdijkareaal in de dwarsrichting.

Karperput

De S-φ kromme voor deelsectie Karperput is getoond in Figuur 25. Deze is vrijwel identiek aan de S-φ kromme van deelsectie Grote Waal. Echter, de hoek tussen de oriëntatie van de oevernormaal en de evenwichtsoriëntatie is bij deelsectie Karperput significant en loopt op tot orde 25°. Het berekende maximale transport (getoond in Figuur 26) is daardoor circa een factor 2 groter dan bij deelsectie Grote Waal. Ook is hier sprake van enkel noordwaarts (rood) transport. Het zuidelijk transport (blauw) is verwaarloosbaar. Opnieuw zijn deze transporten respectievelijk op de zuidelijke en noordelijke begrenzing op 0 geforceerd zodat de deelsectie in feite los van de overige deelsecties beschouwd wordt. Aangezien het lokale dominante transport noordwaarts is en er zich geen deelsecties bevinden direct ten zuiden van Karperput is dit een realistische benadering. Op basis van het netto transport is er sprake van een verwaarloosbaar verlies naar het zuiden en circa 14.000 m³/j naar het noorden. Het verlies naar het noorden voedt in zekere zin deelsectie Grote Waal en zal voornamelijk neerslaan in het centrum van deze deelsectie of zelfs in de Hoornse Hop terecht komen. Initieel zal er ook afzetting van materiaal plaatsvinden in de uitwatering ten noorden van deelsectie Karperput.

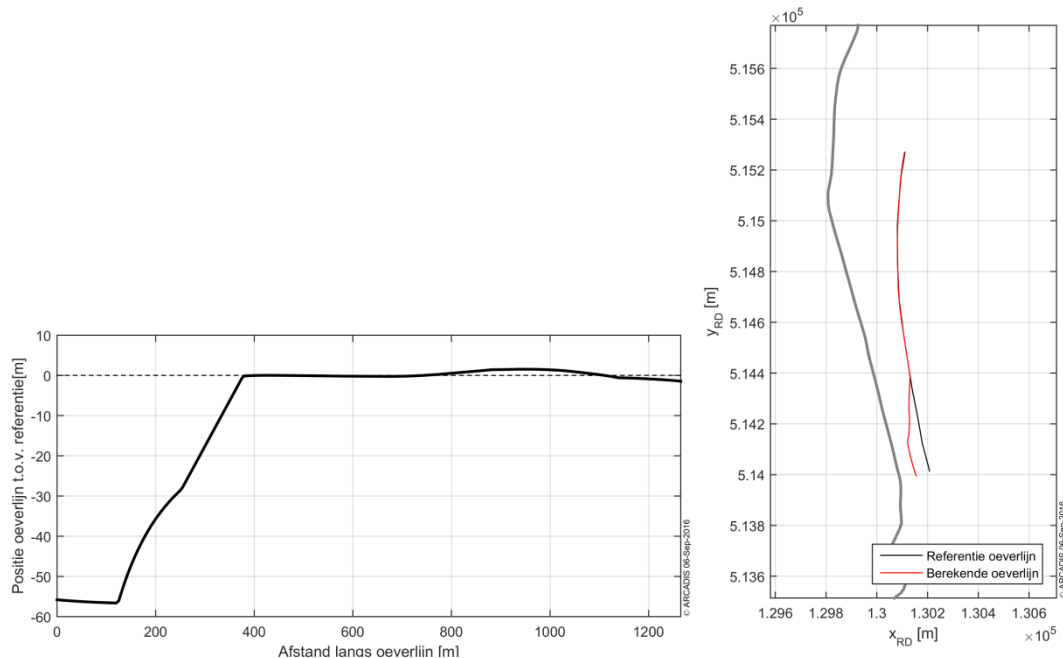


Figuur 25 S-φ kromme voor deelsectie Karperput.



Figuur 26 Berekend bruto en netto langtransport (links) langs de oeverlijn (rechts).

Middels de gradiënt in het langtransport kan de ontwikkeling van de oeverlijn berekend worden, uitgedrukt in een teruggang dan wel meerwaartse verplaatsing van de waterlijn. Deze verplaatsing is zowel in absolute zin als in ruimtelijke vorm weergegeven, respectievelijk in het linkerframe en het rechterframe in Figuur 27. Ten gevolge van de opbouw van het noordwaarts transport is er sprake van significante erosie in het zuidelijke deel van de deelsectie. De maximale teruggang bedraagt circa 56 m/j en neemt af richting het centrum. Het netto transport blijft vervolgens vrijwel constant wat betekent dat dit sediment niet meer wordt afgezet binnen dit deelvak, maar richting het noorden wordt getransporteerd.

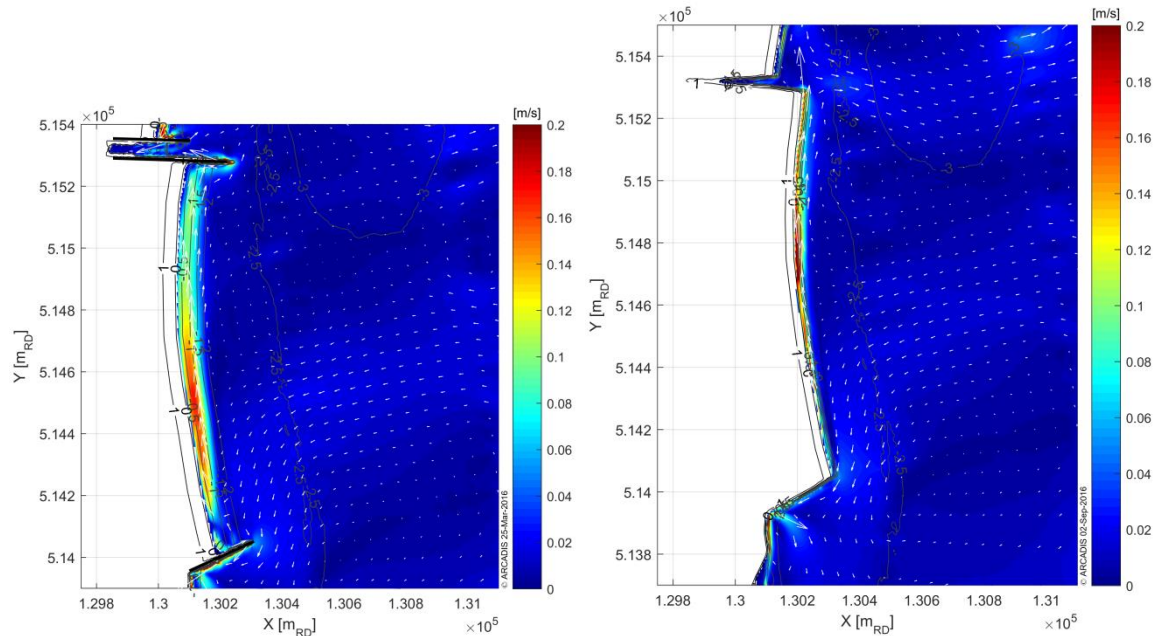


Figuur 27 Berekende verplaatsing van de oeverlijn na 1 jaar (GC model).

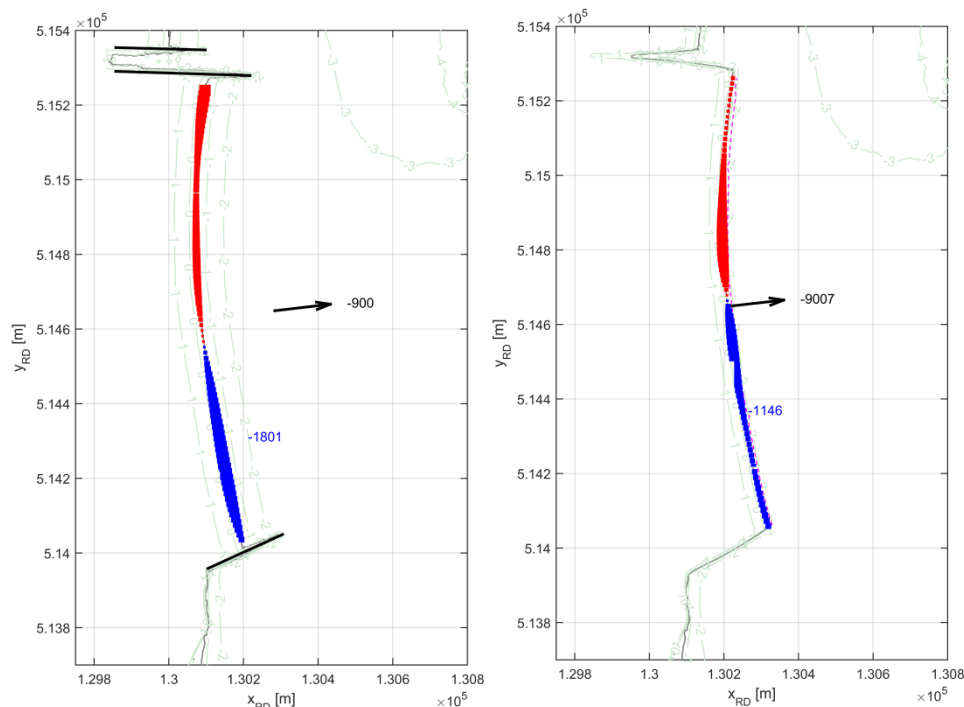
De modelresultaten van het XBeach model zijn hieronder gepresenteerd. Figuur 28 toont de jaargemiddelde stroomsnelheid langs deelsectie Karperput in de situatie met en zonder strekdammen. De strekdammen hebben voor deelsectie Karperput in feite geen afscherpende functie (de zuidelijke strekdam slechts minimaal), enkel een compartimeterende functie; het beperken van sedimentverlies door langstransport. Het stroompatroon verandert daarom ook niet significant en is nog altijd gericht richting het noorden. Wel is door het steilere talud deze langsstroming over een smallere band zichtbaar langs de oever.

In Figuur 29 is in blauw de erosie en rood de sedimentatie ten gevolge van het langstransport getoond. Logischerwijs heeft de stroming naar het noorden ook nu erosie in het zuiden en enige afzetting van materiaal in het noorden tot gevolg.

Het dwarsverlies (zwart) neemt significant toe ten opzichte van de situatie bij oplevering. Dit komt hoofdzakelijk door het steilere talud (1:25 ten opzichte van 1:40 en onder de waterlijn initieel zelfs 1:8). In totaal is er sprake van een dwarsverlies over de NAP-2 m contour van ruim 9.000 m³ in het eerste jaar. Overigens slaat maar 700 m³ hiervan niet neer binnen 50 m van het oeverdijk profiel in de dwarsrichting. Het daadwerkelijke verlies naar diepere delen bedraagt dus 700 m³.



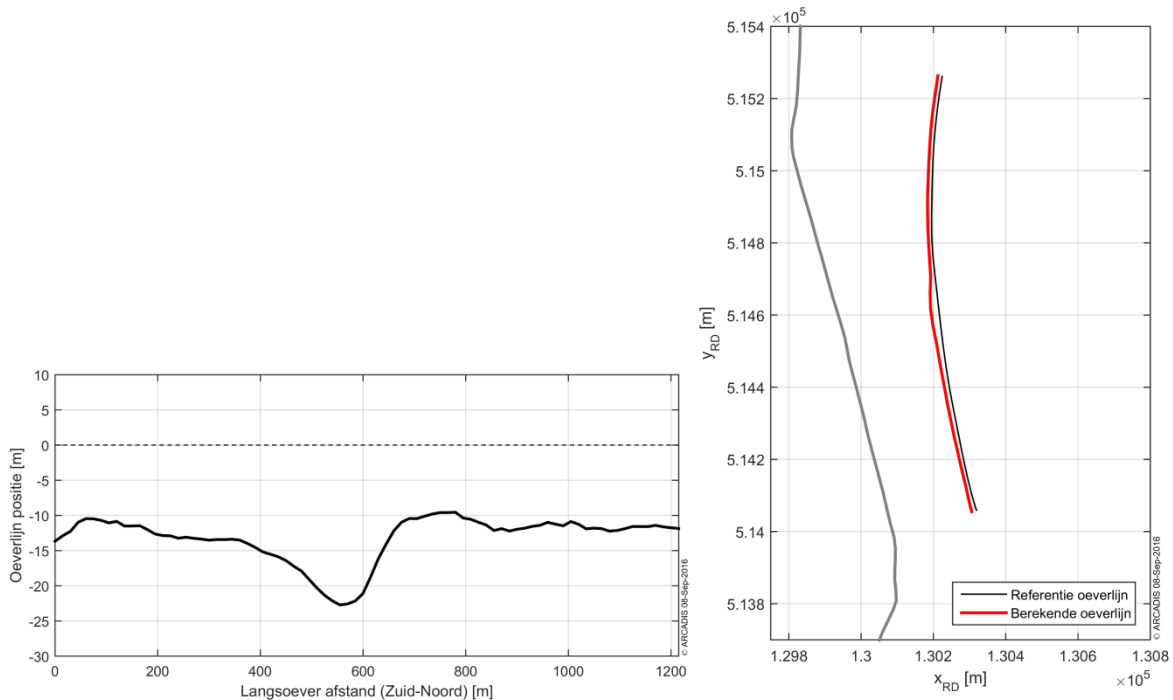
Figuur 28 Jaargemiddelde stroomsnelheid in situatie na oplevering (links) en tijdens voorbelasting (rechts).



Figuur 29 Langverliezen (blauw) en dwarsverliezen (zwart) in de situatie na oplevering (links) en tijdens voorbelasting (rechts).

Ook hier is gekeken naar de ontwikkeling van de waterlijn door de afstand tussen de NAP-0,4 m contour te beschouwen aan het begin en het eind van de simulatie (Figuur 30). Langs de gehele sectie is sprake van een teruggang van de oeverlijn. Deze teruggang varieert tussen de 10 en 23 m. Het is voornamelijk het dwarsverlies dat deze teruggang veroorzaakt. Het dwarsverlies leidt tot

circa 7 m teruggang met centraal in het deelvak een uitschieter naar 15. Bij de zuidelijke begrenzingen van de sectie is de totale teruggang wat groter door het langsverlies.



Figuur 30 Berekende verplaatsing van de oeverlijn na 1 jaar (XBeach).

Conclusie

De teruggang door langsverlies is circa 56 m/j bij de zuidelijke sectie begrenzing en loopt terug naar 0 over een afstand van circa 400 m.

De teruggang door dwarsverlies is circa 7 m/j. In het centrum is dit lokaal 15 m.

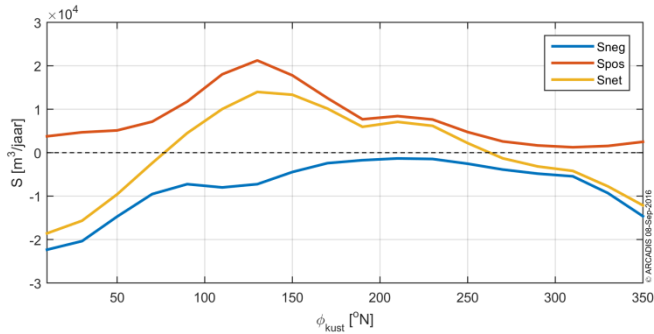
Het langsverlies uit het profiel is circa 14.000 m³/j. Dit slaat hoofdzakelijk neer in de uitwatering ten noorden van deelsectie Karperput en verder richting het noorden (Grote Waal en verder).

Het dwarsverlies uit het profiel is circa 700 m³/j. Dit slaat hoofdzakelijk neer net buiten het oeverdijkareaal in de dwarsrichting.

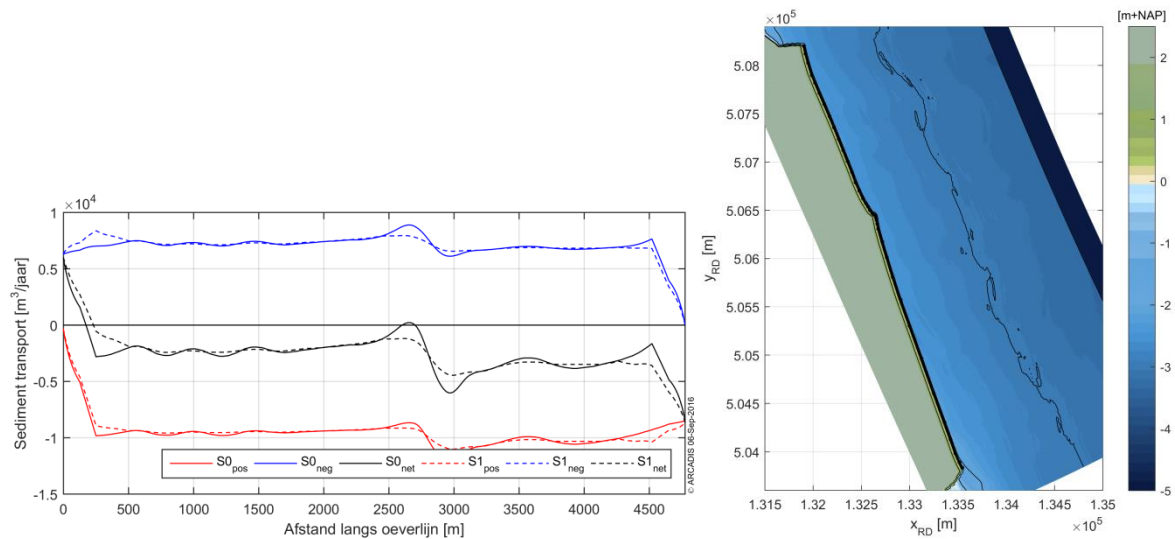
Zeevang

De S-φ kromme voor deelsectie Zeevang is getoond in Figuur 31. Voor zowel een westelijke als oostelijke oriëntatie van de oevernormaal kan een evenwichtsoriëntatie gevonden worden op basis van de S-φ kromme. Logischerwijs gaat het hierbij om de oriëntatie richting het oosten (77 °N). Het berekende langstransport (getoond in Figuur 32) toont een vrij constant netto transport richting het noorden van circa 2.500 m³/j. De oriëntatie van de oevernormaal zit dichtbij de evenwichtsoriëntatie. Uitzondering hierop is de nu onbeschermdde kaap halverwege. Opnieuw zijn deze transporten respectievelijk op de zuidelijke en noordelijke begrenzing op 0 geforceerd zodat de deelsectie in feite los van de overige deelsecties beschouwd wordt. Voor de op zichzelf staande deelsectie Zeevang is dit een realistische benadering.

Op basis van het netto transport is er sprake van een verlies naar het zuiden van circa 5.000 m³/j en circa 7.500 m³/j naar het noorden. Het verlies naar het noorden zal tot enige sedimentatie leiden in de Heintjesbraak. Het verlies richting het zuiden resulteert in enige sedimentatie ter hoogte van het strandje van de camping Strandbad Edam, net ten noorden van de Haven Edam.

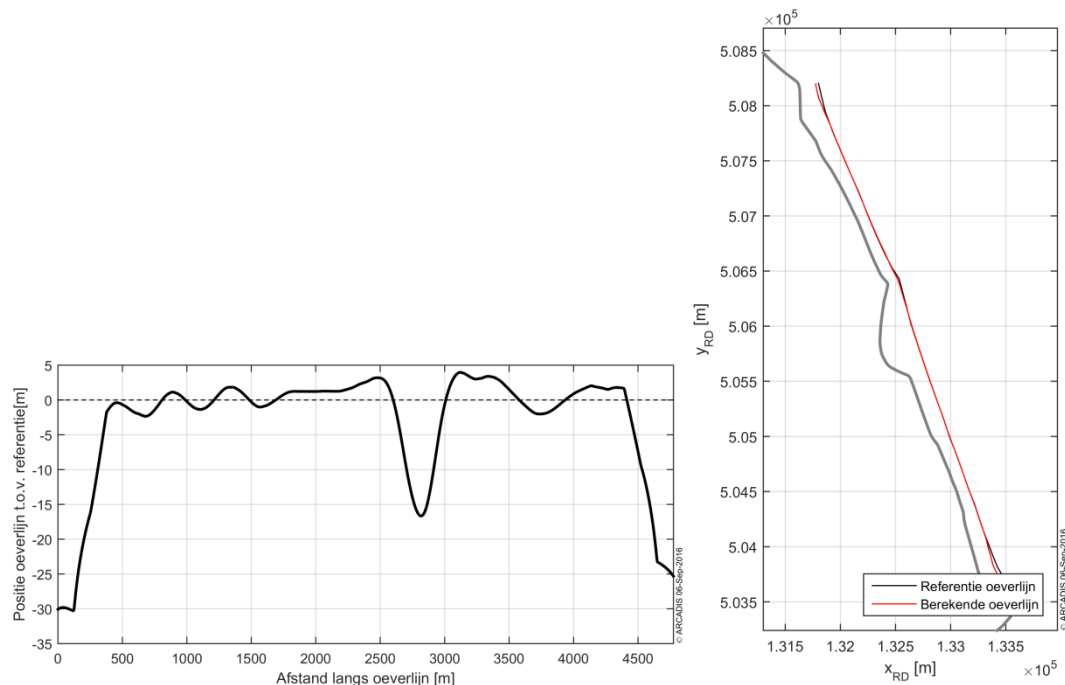


Figuur 31 S- ϕ kromme voor deelsectie Zeevang.



Figuur 32 Berekend bruto en netto langtransport (links) langs de oeverlijn (rechts).

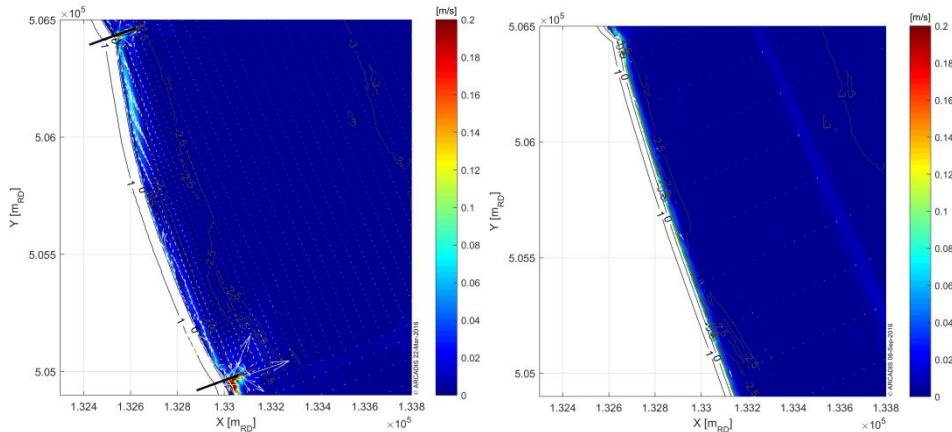
Middels de gradiënt in het langtransport kan de ontwikkeling van de oeverlijn berekend worden, uitgedrukt in een teruggang dan wel meerwaartse verplaatsing van de waterlijn. Deze verplaatsing is zowel in absolute zin als in ruimtelijke vorm weergegeven, respectievelijk in het linkerframe en het rechterframe in Figuur 33. Ten gevolge van het vrij constante netto langtransport langs de deelsectie is de verplaatsing van de oeverlijn gering. Uitzondering hierop is de kaap, deze zal afvlakken; een lokale teruggang van 15 m in het eerste jaar. De lokale verliezen in het noorden en zuiden door de afwezigheid van compartimenteringsdammen is lokaal 25-30 m/j.



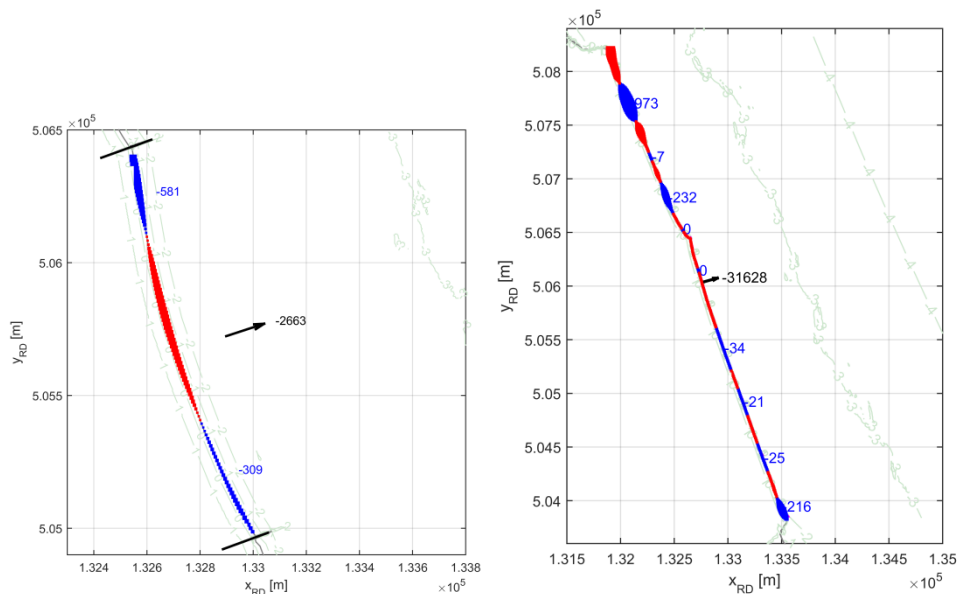
Figuur 33 Berekende verplaatsing van de oeverlijn na 1 jaar (GC model).

De modelresultaten van het XBeach model zijn hieronder gepresenteerd. Figuur 34 toont de jaargemiddelde stroomsnelheid langs deelsectie Zeevang in de situatie met en zonder strekdammen². De strekdammen hebben voor deelsectie Zeevang in feite geen afschermende, enkel een compartimenterende functie; het opsluiten van het oeverdijk profiel. De jaargemiddelde stroomsnelheid is vanwege de kleine hoek tussen de oevernormaal en de evenwichtsoriëntatie in combinatie met de zeer uniforme oeverlijn in langsrichting vrijwel verwaarloosbaar. In Figuur 29 is in blauw de erosie en rood de sedimentatie ten gevolge van het langstransport getoond. De afwisselende trend van afwisselend minimale erosie en sedimentatie toont aan dat de oeverlijn vrijwel in evenwicht is. Enkel in het noorden is wat komvorming zichtbaar. Het dwarsverlies (zwart) neemt significant toe ten opzichte van de situatie bij oplevering. Dit komt hoofdzakelijk door het steilere talud (1:25 ten opzichte van 1:40 en onder de waterlijn initieel zelfs 1:8). In totaal is er sprake van een dwarsverlies over de NAP-2 m contour van ruim 31.500 m³ in het eerste jaar. Overigens slaat maar 1.550 m³ hiervan niet neer binnen 50 m van het oeverdijk profiel in de dwarsrichting. Het daadwerkelijke verlies naar diepere delen bedraagt dus 1.550 m³.

² N.B. de situatie met strekdammen is niet volledig gemodelleerd in XBeach. In plaats daarvan wordt het centrale compartiment van de tussenvariant getoond. Ter vergelijking is bij de plot van de situatie zonder strekdammen ingezoomd op hetzelfde stuk oeverdijk.

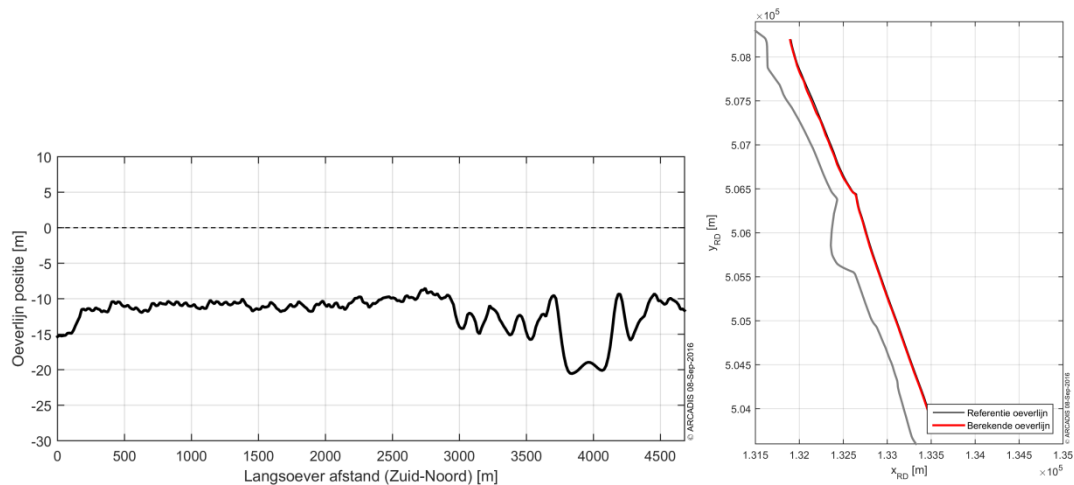


Figuur 34 Jaargemiddelde stroomsnelheid in situatie na oplevering (tussenvariant, links) en tijdens voorbelasting (onderhoudsvariant, rechts).



Figuur 35 Langverliezen (blauw) en dwarsverliezen (zwart) in de situatie na oplevering (tussenvariant, links) en tijdens voorbelasting (onderhoudsvariant, rechts).

Ook hier is gekeken naar de ontwikkeling van de waterlijn door de afstand tussen de NAP-0,4 m contour te beschouwen aan het begin en het eind van de simulatie (Figuur 36). Langs de gehele sectie is sprake van een teruggang van de oeverlijn. Deze teruggang varieert tussen de 10 en 20 m. Het is voornamelijk het dwarsverlies dat deze teruggang veroorzaakt. Het dwarsverlies leidt tot circa 7 m teruggang over de gehele lengte van het deelvak. Bij de zuidelijke begrenzingen van de sectie en ter hoogte van de komvorming (4.000 m) is de totale teruggang wat groter door het langsverlies.



Figuur 36 Berekende verplaatsing van de oeverlijn na 1 jaar (XBeach).

Conclusie

De teruggang door langsverlies is circa 30 m/j bij beide sectie begrenzingen en loopt terug naar 0 over een afstand van circa 400 m. ter hoogte van de kaap is de teruggang lokaal 15 m.

De teruggang door dwarsverlies is circa 7 m/j.

Het langsverlies uit het profiel is circa 12.500 m³/j. 5.000 m³/j hiervan gaat richting het noorden (Heintjesbraak). De overige 7.500 m³/j gaat richting het zuiden (strand camping Strandbad Edam). Het dwarsverlies uit het profiel is circa 1.550 m³/j. Dit slaat hoofdzakelijk neer net buiten het oeverdijkareaal in de dwarsrichting.

3.4.3 Zware condities

De ontwikkeling van de oeverlijn ten gevolge van zware condities is vervolgens gesimuleerd met behulp van XBeach door het ingespeelde profiel te belasten met een 1/10 per jaar storm. De eigenschappen van deze 1/10 per jaar stormconditie verschillen per deelsectie (zie [ref. 1]). De resultaten zijn opnieuw per deelsectie gepresenteerd. N.B. de langs- en dwarsverliezen zijn nu in m³/dag.

Hoorn stadstrand

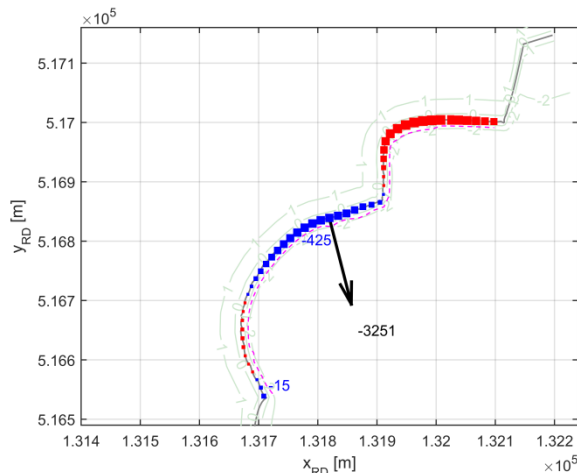
De ontwikkeling van het oeverdijkprofiel tijdens de periode van voorbelasting ten gevolge van een zware conditie is gesimuleerd door belasting met een 1/10 per jaar storm met de condities op de modelrand zoals weergegeven in Tabel 1.

Parameter	Instelling
Significante golfhoogte [m]	0,94
Piekperiode [s]	4,0
Richting van inval [°N]	180
Maximale waterstand [m+NAP]	0,09

Tabel 1 Stormcondities 1/10 per jaar storm Hoorn stadstrand.

In Figuur 37 is in blauw de erosie en rood de sedimentatie ten gevolge van het langstransport getoond. Dwarsverlies is weergegeven met de zwarte vector. In vergelijking met de jaarlijkse verliezen tijdens jaarrond condities (zie Figuur 17) is te concluderen dat de jaarrond verliezen in

m^3/j in dezelfde orde liggen als de stormverliezen in m^3/d . De langsverliezen liggen een fractie hoger en de dwarsverliezen juist wat lager. Wel dient rekening gehouden te worden met het feit dat de actieve hoogte, de verticale afstand in het profiel waarover de verliezen optreden, groter is dan tijdens jaargemiddelde condities. Op basis hiervan kan de ontwikkeling van de oeverlijn tijdens zware condities geschaald worden aan de hand van de jaargemiddelde ontwikkeling. Zie voor de resultaten Tabel 2.



Figuur 37 Langverliezen (blauw) en dwarsverliezen (zwart) ten gevolge van de 1/10 per jaar stormconditie in de situatie na oplevering.

Oeverlijn ontwikkeling	Jaargemiddelde condities	Zware conditie (1/10 per jaar)
Maximale lokale teruggang oeverlijn door langsverlies	35 m/j (zuidelijke begrenzing)	30 m/d (zuidelijke begrenzing)
Gemiddelde teruggang oeverlijn door dwarsverlies	8 m/j	4 m/d
Langsverlies uit het oeverdijkareaal	1.500 m^3/j (richting het oosten)	2.500 m^3/d (richting het oosten)
Dwarsverlies uit het oeverdijkareaal	200 m^3/j	700 m^3/d

Tabel 2 Geschatte ontwikkeling van de oeverlijn ten gevolge van de 1/10 per jaar conditie.

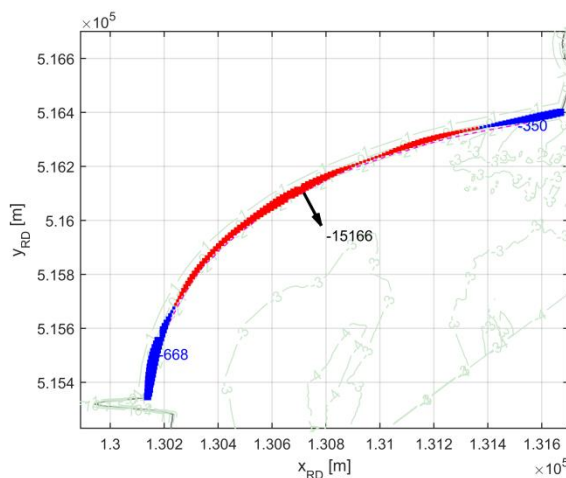
Grote Waal

De ontwikkeling van het oeverdijkprofiel tijdens de periode van voorbelasting ten gevolge van een zware conditie is gesimuleerd door belasting met een 1/10 per jaar storm met de condities op de modelrand zoals weergegeven in Tabel 3.

Parameter	Instelling
Significante golfhoogte [m]	1,03
Piekperiode [s]	4,1
Richting van inval [$^{\circ}$ N]	158
Maximale waterstand [m+NAP]	0,08

Tabel 3 Stormcondities 1/10 per jaar storm Grote Waal.

In Figuur 38 is in blauw de erosie en rood de sedimentatie ten gevolge van het langtransport getoond. Dwarsverlies is weergegeven met de zwarte vector. In vergelijking met de jaarlijkse verliezen tijdens jaarrond condities (zie Figuur 23) is te concluderen dat de jaarrond verliezen in m^3/j in dezelfde orde liggen als de stormverliezen in m^3/d . De langsverliezen liggen een fractie hoger en het dwarsverlies is vrijwel identiek. Wel dient rekening gehouden te worden met het feit dat de actieve hoogte, de verticale afstand in het profiel waarover de verliezen optreden, groter is dan tijdens jaargemiddelde condities. Op basis hiervan kan de ontwikkeling van de oeverlijn tijdens zware condities geschaald worden aan de hand van de jaargemiddelde ontwikkeling. Zie voor de resultaten Tabel 4.



Figuur 38 Langverliezen (blauw) en dwarsverliezen (zwart) ten gevolge van de 1/10 per jaar stormconditie in de situatie na oplevering.

Oeverlijn ontwikkeling	Jaargemiddelde condities	Zware conditie (1/10 per jaar)
Maximale lokale teruggang oeverlijn door langsverlies	45 m/j (beide begrenzingsen)	55 m/d (beide begrenzingsen)
Gemiddelde teruggang oeverlijn door dwarsverlies	9 m/j	6 m/d
Langsverlies uit het oeverdijkareaal	1.000 m^3/j (richting het zuiden) 4.000 m^3/j (richting het noorden)	2.000 m^3/d (richting het oosten) 8.000 m^3/d (richting het noorden)
Dwarsverlies uit het oeverdijkareaal	600 m^3/j	2.700 m^3/d

Tabel 4 Geschatte ontwikkeling van de oeverlijn ten gevolge van de 1/10 per jaar conditie.

Karperput

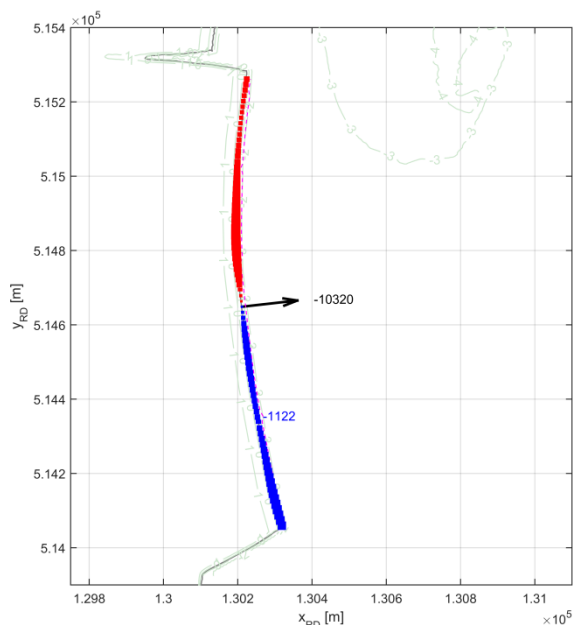
De ontwikkeling van het oeverdijkprofiel tijdens de periode van voorbelasting ten gevolge van een zware conditie is gesimuleerd door belasting met een 1/10 per jaar storm met de condities op de modelrand zoals weergegeven in Tabel 5.

Parameter	Instelling
-----------	------------

Significante golfhoogte [m]	0,96
Piekperiode [s]	3,9
Richting van inval [°N]	113
Maximale waterstand [m+NAP]	0,01

Tabel 5 Stormcondities 1/10 per jaar storm Karperput.

In Figuur 39 is in blauw de erosie en rood de sedimentatie ten gevolge van het langstransport getoond. Dwarsverlies is weergegeven met de zwarte vector. In vergelijking met de jaarlijkse verliezen tijdens jaarrond condities (zie Figuur 29) is te concluderen dat de jaarrond verliezen in m^3/j in dezelfde orde liggen als de stormverliezen in m^3/d . De langsverliezen zijn vrijwel identiek en de dwarsverliezen liggen een fractie hoger. Wel dient rekening gehouden te worden met het feit dat de actieve hoogte, de verticale afstand in het profiel waarover de verliezen optreden, groter is dan tijdens jaargemiddelde condities. Op basis hiervan kan de ontwikkeling van de oeverlijn tijdens zware condities geschaald worden aan de hand van de jaargemiddelde ontwikkeling. Zie voor de resultaten Tabel 6.



Figuur 39 Langsverliezen (blauw) en dwarsverliezen (zwart) ten gevolge van de 1/10 per jaar stormconditie in de situatie na oplevering.

Oeverlijn ontwikkeling	Jaargemiddelde condities	Zware conditie (1/10 per jaar)
Maximale lokale teruggang oeverlijn door langsverlies	56 m/j (zuidelijke begrenzing)	36 m/d
Gemiddelde teruggang oeverlijn door dwarsverlies	8 m/j	6 m/d
Langsverlies uit het oeverdijkareaal	14.000 m^3/j (richting het noorden)	13.500 m^3/d (richting het noorden)

Dwarsverlies uit het oeverdijkareaal	700 m ³ /j	1.000 m ³ /d
--------------------------------------	-----------------------	-------------------------

Tabel 6 Geschatte ontwikkeling van de oeverlijn ten gevolge van de 1/10 per jaar conditie.

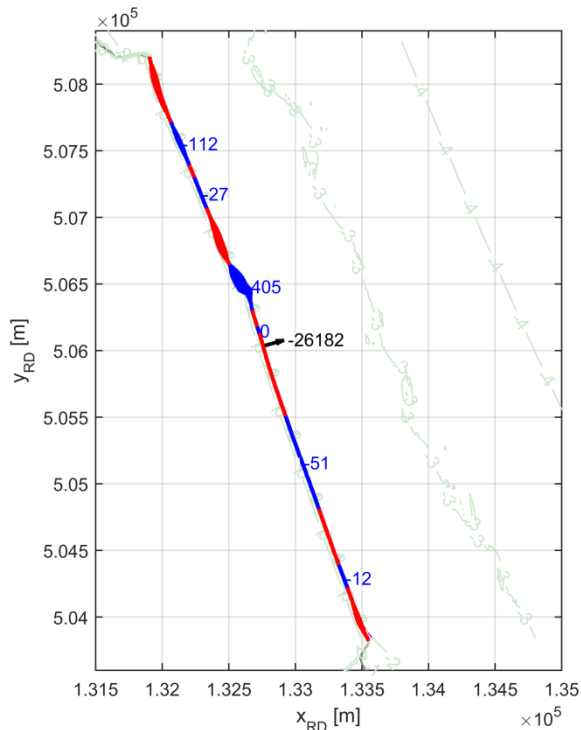
Zeevang

De ontwikkeling van het oeverdijkprofiel tijdens de periode van voorbelasting ten gevolge van een zware conditie is gesimuleerd door belasting met een 1/10 per jaar storm met de condities op de modelrand zoals weergegeven in Tabel 7.

Parameter	Instelling
Significante golfhoogte [m]	1,01
Piekperiode [s]	4,0
Richting van inval [°N]	68
Maximale waterstand [m+NAP]	-0,07

Tabel 7 Stormcondities 1/10 per jaar storm Zeevang.

In Figuur 40 is in blauw de erosie en rood de sedimentatie ten gevolge van het langtransport getoond. Dwarsverlies is weergegeven met de zwarte vector. In vergelijking met de jaarlijkse verliezen tijdens jaarrond condities (zie Figuur 35) is te concluderen dat de jaarrond verliezen in m³/j in dezelfde orde liggen als de stormverliezen in m³/d. De langs- en dwarsverliezen liggen een fractie slechts een fractie lager. Wel dient rekening gehouden te worden met het feit dat de actieve hoogte, de verticale afstand in het profiel waarover de verliezen optreden, groter is dan tijdens jaargemiddelde condities. Op basis hiervan kan de ontwikkeling van de oeverlijn tijdens zware condities geschaald worden aan de hand van de jaargemiddelde ontwikkeling. Zie voor de resultaten Tabel 8.



Figuur 40 Langverliezen (blauw) en dwarsverliezen (zwart) ten gevolge van de 1/10 per jaar stormconditie in de situatie na oplevering.

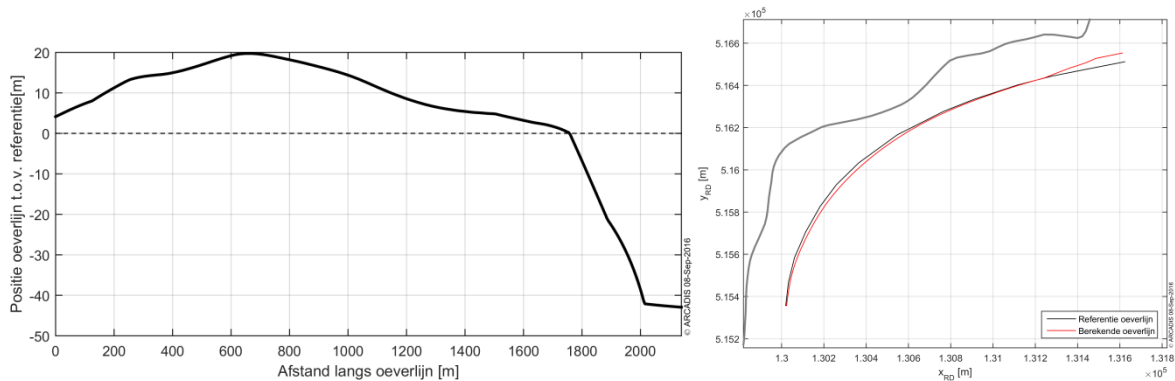
Oeverlijn ontwikkeling	Jaargemiddelde condities	Zware conditie (1/10 per jaar)
Maximale lokale teruggang oeverlijn door langsverlies	30 m/j (beide begrenzingsen) 15 m/j (kaap)	20 m/d (beide begrenzingsen) 10 m/d (kaap)
Gemiddelde teruggang oeverlijn door dwarsverlies	7 m/j	4 m/j
Langsverlies uit het oeverdijkareaal	5.000 m ³ /j (richting het noorden) 7.500 m ³ /j (richting het zuiden)	3.500 m ³ /d (richting het noorden) 6.000 m ³ /d (richting het zuiden)
Dwarsverlies uit het oeverdijkareaal	1.550 m ³ /j	1.250 m ³ /d

Tabel 8 Geschatte ontwikkeling van de oeverlijn ten gevolge van de 1/10 per jaar conditie.

3.5 Oeverdijk als geheel

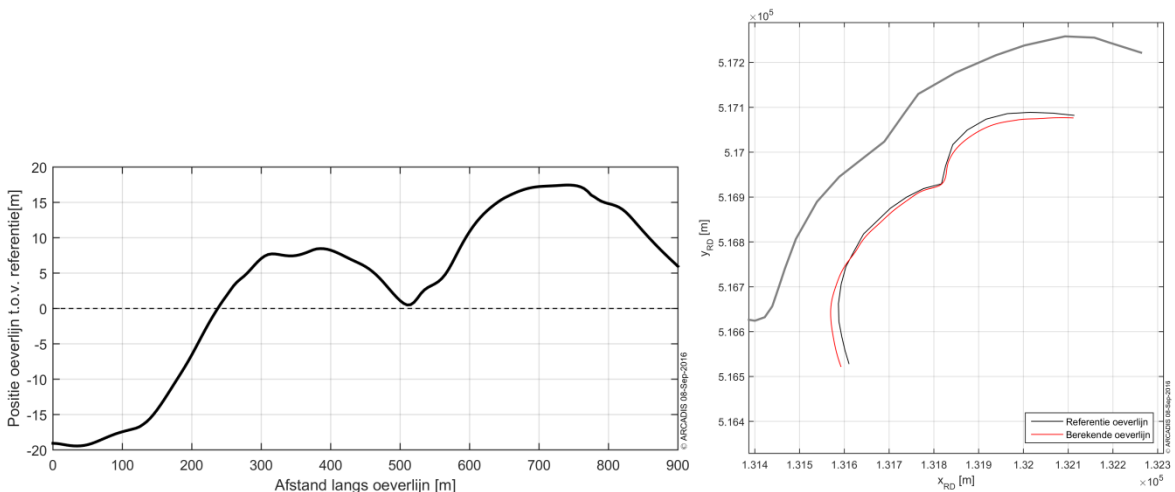
Deelsectie Zeevang kan terecht beschouwd worden als op zichzelf staand. Interactie met de overige oeverdijksecties is vrijwel uitgesloten. Echter, dit gaat niet op voor de overige secties, zeker in de situatie zonder opsluit- en compartimenteringsdammen. Zo ontstaat er ter hoogte van Karperput een maximaal noordwaarts transport van circa 14.000 m³/j. Dit transport zal voor een aanzienlijk deel de deelsectie Grote Waal voeren.

Indien dit transport op de zuidelijke rand van deelsectie Grote Waal wordt opgelegd (dit is alleen mogelijk in het GC model) is de ontwikkeling van de oeverlijn zoals weergegeven in Figuur 41, zie ter vergelijking Figuur 21. De teruggang aan de zuidelijke begrenzing is volledig verdwenen. De teruggang aan de noordelijke begrenzing is nog altijd circa 45 m.



Figuur 41 Berekende verplaatsing van de oeverlijn na 1 jaar (GC model).

Eenzelfde benadering is ook toe te passen voor de (opnieuw eenzijdige) interactie tussen Grote Waal en Hoorn stadstrand. Deze laatste deelsectie wordt gevoed door een deel van het noordwaartse transport op de noordelijke rand van Grote Waal. Als aangenomen wordt dat dit volledige transport de Hoornse Hop in getransporteerd wordt ($4.000 \text{ m}^3/\text{j}$), is de oeverlijn ontwikkeling aldaar zoals weergegeven in Figuur 42. Zie ter vergelijking Figuur 15. De teruggang bij de zuidelijke begrenzing is gereduceerd van 35 m naar 19 m. De ontwikkeling in het overige deel van de deelsectie is identiek.



Figuur 42 Berekende verplaatsing van de oeverlijn na 1 jaar (GC model).

Ook bij zwaardere condities zal interactie optreden. Dit is echter lastig op voorhand te kwantificeren aangezien de hoek van inval van de zware conditie niet vast ligt.

4 Referenties

- 1 AMMD, Ontwerpnota Oeverdijk, concept, september 2016, documentnummer 001280
- 2 AMMD, Ontwerpbasis Oeverdijk, concept, september 2016, documentnummer 001386
- 3 AMMD, Ontwerp veiligheidsprofiel Oeverdijk, concept, augustus 2016, documentnummer 001254
- 4 AMMD, Morfologische onderbouwing Oeverdijk varianten, concept, augustus 2016, documentnummer 001299
- 5 EcoShape (2016), *Pilot Voorlandoplossing Houtribdijk, interim-rapportage augustus 2016*, RWS/EcoShape-stuurgroep Pilot Houtribdijk, juli 2016. Ref: 078898436:0.1 – *Concept*
- 6 Soulsby, R.L. (1997). Dynamics of Marine Sands. London: Thomas Telford Publications.
- 7 Van Rijn, L.C. (1985). Sediment transport, part III: bed forms and alluvial roughness. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(12), 1733-1754.
- 8 Van Rijn, 1993. *Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas*. Aqua Publications, Amsterdam. ISBN 90-800-356-2-9