



**CENTRE OF
EXPERTISE**
DELTA TECHNOLOGY

www.coedeltatechnology.nl

Definitief ontwerp Roggenplaat suppletie

VERSIE 2,DEFINITIEF



CENTRE OF EXPERTISE DELTA TECHNOLOGY
18 NOVEMBER 2016



Definitief ontwerp Roggenplaat suppletie

VERSIE 2, DEFINITIEF

CENTRE OF EXPERTISE DELTA TECHNOLOGY
18 NOVEMBER 2016

AUTEURS

Jebbe van der Werf (Deltares)
Matthijs Boersema (HZ University of Applied Sciences – Delta Academy)
Tjeerd Bouma (NIOZ)
Reinier Schrijvershof (Deltares)
Joost Stronkhorst (HZ University of Applied Sciences – Delta Academy)
Lodewijk de Vet (Deltares)
Tom Ysebaert (Wageningen Marine Research)

DATUM

18 November 2016

LOCATIE

Delft, Vlissingen, Yerseke

VERSIE EN STATUS

V2, definitief

Foto voorkant: Edwin Pareae

Interreg



Vlaanderen-Nederland
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling



Trefwoorden

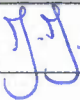
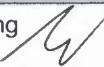

Oosterschelde, Roggenplaat, suppletie, variantenstudie, zandhonger

Samenvatting

Door de aanleg van de Oosterschelde-kering is in de Oosterschelde sprake van "zandhonger". De intergetijdengebieden eroderen en dit sediment komt in de getijgeulen terecht, omdat het evenwicht tussen opbouw en afbraak verstoord is. Dit heeft op termijn naar verwachting negatieve gevolgen voor ecologie, veiligheid en recreatie.

Rijkswaterstaat wil de Roggenplaat suppleren met 1,3 miljoen m³ zand ten behoeve van met name de foerageerfunctie voor vogels. Dit rapport beschrijft het genereren van verschillende suppletieontwerpen en het maken van een onderbouwde en objectieve keuze voor een definitief ontwerp op basis van een afwegingskader afgeleid van de doelstellingen.

Deze studie is uitgevoerd door Deltares in samenwerking met Hogeschool Zeeland, NIOZ en Wageningen Marine Research in het Centre of Expertise (CoE) Delta Technology consortium.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	nov. 2016	Jebbe van der Werf et al.		Zheng Wang		Frank Hoozemans	 b.a.

Status

definitief

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Aanpak	1
1.4	Leeswijzer	2
1.5	Verantwoording	2
2	MORFOLOGIE EN ECOLOGIE ROGGENPLAAT	3
2.1	Inleiding	3
2.2	Waterbeweging en morfologie Roggenplaat	4
2.2.1	Stroming	4
2.2.2	Wind en golven	9
2.2.3	Morfologie	9
2.3	Ecologie Roggenplaat	14
2.3.1	inleiding	14
2.3.2	macrozoöbenthos	15
2.3.3	watervogels	20
2.3.4	zeehonden	23
3	AFWEGINGSKADER	25
3.1	Inleiding	25
3.2	Doel	26
3.3	Natuurlijk systeem	28
3.4	Ontwerp en aanleg van suppletievarianten	29
3.5	Neveneffecten	30
3.6	Resultierend afwegingskader	30
4	GESCHIKTHEIDSKAARTEN	33
4.1	Inleiding	33
4.2	Economisch belang	33
4.2.1	Mosselpercelen (criterium 1)	33
4.3	Ecologisch belang	34
4.3.1	Zeehonden (criterium 2)	34
4.3.2	Natuurlijke oesterriffen (criterium 3)	34
4.3.3	Andere ecologische afwegingen	35
4.4	Morfodynamiek	35
4.4.1	Afwateringsgeulen (criterium 4)	35
4.4.2	Erosieve gebieden (criterium 5)	36
4.5	Uitvoering	36
4.6	Synthese	37
5	SUPPLETIEONTWERPEN	39
5.1	Voorkeursvariant	39
5.2	Suppletieontwerpen	39
6	DELFT3D MODEL ROGGENPLAAT	47
6.1	Inleiding	47
6.2	Modelopzet	47
6.2.1	Modelkeuzes	47
6.2.2	Rekenrooster	47
6.2.3	Randvoorwaarden	49

6.2.4	Bathymetrie	49
6.2.5	Overige instellingen	50
6.3	Modelvalidatie	50
6.3.1	Waterstanden	50
6.3.2	Stroming	52
6.3.3	Golven	54
6.4	Conclusie	55
7	EFFECTBEPALING EN AFWEGING SUPPLETIEONTWERPEN	57
7.1	Hydro-morfologie	57
7.1.1	Inleiding	57
7.1.2	Stroming	57
7.1.3	Zandtransporten	62
7.1.4	Morfologie	65
7.1.5	Storm effect	67
7.1.6	Gevoeligheid voor instellingen golfmodel	71
7.1.7	Conclusie	72
7.2	Ecologie	73
7.2.1	Inleiding	73
7.2.2	Ecologische verstoring	73
7.2.3	Ecologisch herstel	74
7.3	Uitvoering	77
7.3.1	kosten	77
7.3.2	Gebruik wingebed	77
7.3.3	Aanleg-eisen	78
7.4	Integrale afweging	80
8	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	83
8.1	Conclusies	83
8.2	Aanbevelingen	84
9	REFERENTIES	85
	APPENDIX A: VALIDATIE GROFMAZIG VERSUS FIJNMAZIG MODEL	87
	APPENDIX B: REPRESENTATIEVE SIMULATIEPERIODE	89
	APPENDIX C: UITVOERINGSKOSTEN ROGGENPLAAT SUPPLETIE	91
	APPENDIX D: PRIMING BINNEN DE UITVOERING ZANDSUPPLETIE ROGGENPLAAT	93
	APPENDIX E: RESULTATEN GOLFMODEL MET ANDERE INSTELLINGEN	97

1 INLEIDING

1.1 ACHTERGROND

Door de aanleg van de Oosterschelde-kering (in de periode 1983-1986) is in de Oosterschelde sprake van “zandhonger”. De intergetijdengebieden eroderen en dit sediment komt in de getijgeulen terecht, omdat het evenwicht tussen opbouw en afbraak verstoord is. De golfwerking, die in belangrijke mate de afbraak van intergetijdengebieden bepaalt, is nauwelijks veranderd door de aanleg van de kering. Het horizontale getij (debieten en stroomsnelheden), dat verantwoordelijk is voor opbouw, is daarentegen gereduceerd. Het oppervlakte van platen, slikken en schorren in de Oosterschelde neemt door de zandhonger af met (op termijn) negatieve gevolgen voor ecologie, veiligheid en recreatie (Van Zanten & Adriaanse, 2008).

Rijkswaterstaat heeft een zogeheten MIRT (Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport) uitgevoerd om uit te zoeken welke maatregelen genomen zouden kunnen worden om de negatieve effecten van de zandhonger af te remmen cq. te stoppen (Witteveen+Bos, 2011). Hieruit volgde suppleren van het intergetijdengebied met zand als voorkeursaanpak om de foerageerfunctie van steltlopers in stand te houden.

Deze foerageerfunctie wordt met name bepaald door het areaal dat tussen de 50% en 80% van de tijd droogvalt. Dit areaal is nodig opdat steltlopers voldoende lang kunnen foerageren per getij en zo in hun energiebehoefte kunnen voldoen. Op de Roggenplaat neemt deze droogvalduurklasse het snelste af van alle deelgebieden in de Oosterschelde. Vanwege deze urgentie wil Rijkswaterstaat de Roggenplaat in 2017-2018 suppleren met 1,3 miljoen m³ zand¹ ten behoeve van de volgende doelstellingen:

- 1 Behoud van de huidige foerageerfunctie van het Roggenplaat/Neeltje Jans-complex voor de komende 25 jaar.
- 2 Voorkomen van een ongewenste golfaanval op de zuidkust van Schouwen.
- 3 Ontwikkelen van kennis voor flexibel, klimaatbestendig en kosteneffectief kustmanagement.

Rijkswaterstaat heeft het Centre of Expertise (CoE) Delta Technology gevraagd om de variantenstudie, monitoring en het verdiepend onderzoek ten behoeve van de Roggenplaat suppletie op zich te nemen. Het CoE consortium bestaat uit Hogeschool Zeeland, NIOZ, Wageningen Marine Research en Deltares. Deltares is verantwoordelijk voor de variantenstudie.

In het eerste deel van deze studie is de voorkeursvariant bepaald (Van der Werf et al., 2016). Deze zogeheten zandreliëfvariant wordt in dit rapport uitgewerkt naar een definitief ontwerp.

1.2 DOELSTELLING

De doelstelling van deze ontwerpstudie luidt als volgt:

Het maken van een definitief ontwerp van de Roggenplaat suppletie op basis van de voorkeursvariant en het afwegingskader afgeleid van de Rijkswaterstaat doelstellingen.

Volgens Rijkswaterstaat is een suppletie van 1,3 miljoen m³ zand¹ nodig. De kosten hiervoor zijn begroot op 12,3 miljoen €. Het totale budget staat vast; het uiteindelijke suppletievolume niet.

1.3 AANPAK

De aanpak van de ontwerpstudie bestaat uit de volgende onderdelen:

- 1 De beschikbare kennis, data en modellen van de Roggenplaat en vergelijkbare intergetijdengebieden zijn geïnventariseerd en verzameld. Deze zijn gebruikt voor een beschrijving van het morfologisch en

¹ Het beunvolume van 1,65 miljoen m³ is hier omgerekend naar zandvolume op de Roggenplaat

- ecologisch functioneren van de Roggenplaat. Er is hierbij in het bijzonder lering getrokken uit proefprojecten die in het kader van de MIRT verkenning in de Oosterschelde zijn gedaan.
- 2 Uit de doelstellingen van Rijkswaterstaat en de beschikbare kennis is een afwegingskader afgeleid om een objectieve en onderbouwde keuze tussen suppletievarianten mogelijk te maken.
 - 3 Op basis van economische, ecologische, uitvoeringstechnische en hydro-morfologische aspecten is een geschiktheidskaart gemaakt die aangeeft op welke gebieden van de Roggenplaat gesuppleerd kan worden.
 - 4 Vervolgens is de voorkeursvariant uitgewerkt tot 4 verschillende suppletieontwerpen, met in acht neming van de morfologische en ecologische kennis van de Roggenplaat en het afwegingskader.
 - 5 Er is een numeriek (Delft3D) model ontwikkeld dat de golven, waterbeweging, zandtransport en initiële bodemontwikkeling op de Roggenplaat in detail simuleert. Hiermee zijn de verschillende suppletieontwerpen doorgerekend.
 - 6 Tot slot zijn suppletieontwerpen gewogen met behulp van het afwegingskader. Het toetsen aan de criteria gebeurt op basis van systeemkennis, modelresultaten en deskundigenoordeel. Dit leidt tot het definitief ontwerp.

1.4 LEESWIJZER

Het morfologische functioneren en de ecologische karakteristieken van de Roggenplaat staan beschreven in Hoofdstuk 2. In Hoofdstuk 3 wordt het afwegingskader gepresenteerd. In Hoofdstuk 4 worden de randvoorwaarden voor suppleren uitgewerkt naar geschiktheidskaarten die aangeven waar op de Roggenplaat gesuppleerd kan worden. Hoofdstuk 5 beschrijft de suppletieontwerpen op basis van de voorkeursvariant en in Hoofdstuk 6 wordt het Delft3D model gepresenteerd. In Hoofdstuk 7 worden de hydro-morfologische, ecologische en uitvoeringstechnische aspecten van de suppletieontwerpen besproken en wordt op basis hiervan een keuze gemaakt. Het laatste hoofdstuk presenteert de conclusies en aanbevelingen.

1.5 VERANTWOORDING

Hoofdstukken 2, 3 en 4 zijn overgenomen uit het rapport van Van der Werf *et al.* (2016). Hoofdstukken 1, 5, 6 en 8 zijn geschreven door Deltares, alsook paragrafen 7.1 en 7.4. Paragraaf 7.2 is geschreven door Wageningen Marine Research, paragraaf 7.3 door HZ en Bijlage D door het NIOZ.

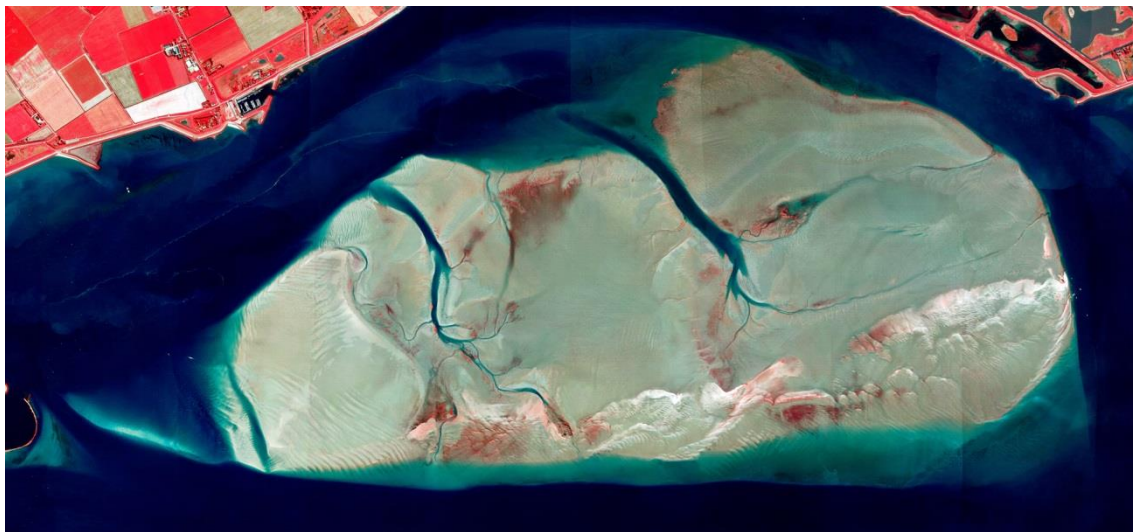
Het opstellen van dit rapport is gefinancierd binnen het Interreg V programma Vlaanderen-Nederland (project Smartsediments), het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Meer info: www.grensregio.eu

2 MORFOLOGIE EN ECOLOGIE ROGGENPLAAT

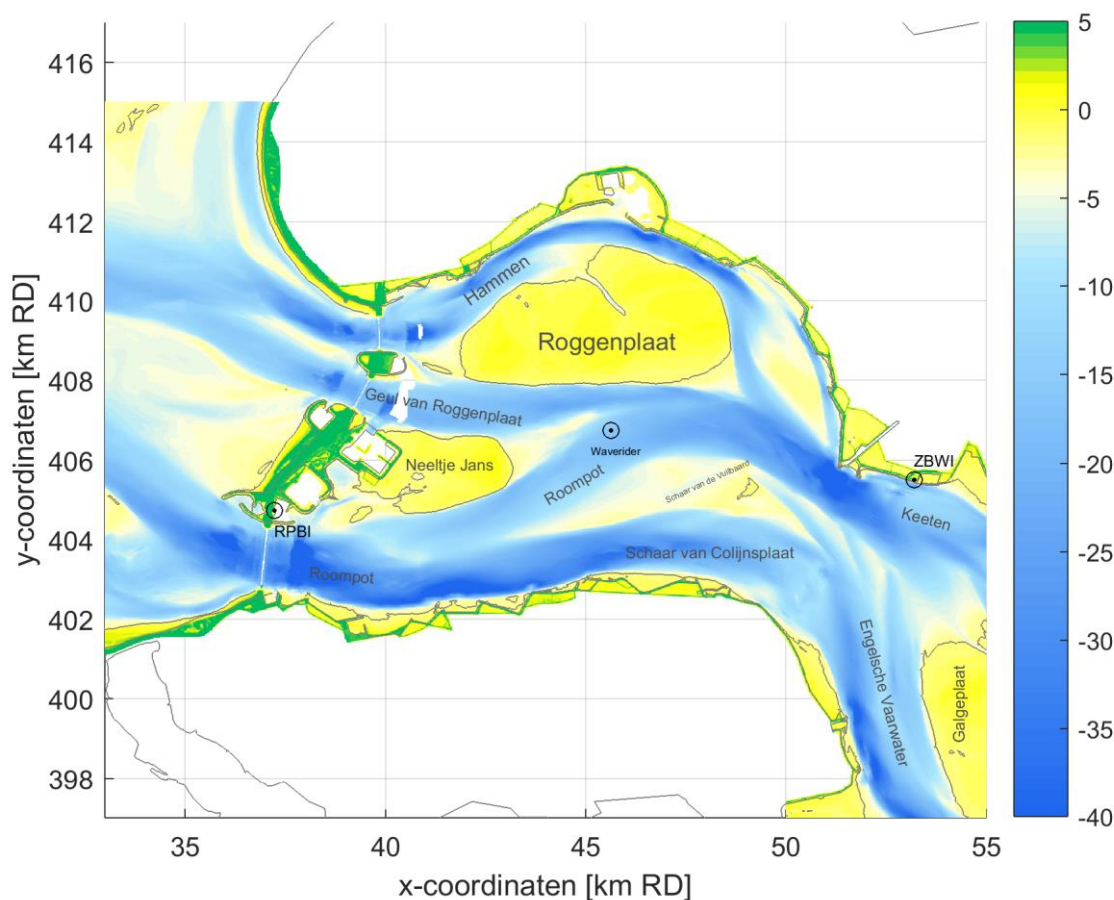
2.1 INLEIDING

De Roggenplaat behoort tot de grootste intergetijdengebieden van de Oosterschelde (Figuur 2.1 en Figuur 2.2). Het areaal intergetijdengebied, tussen gemiddeld hoogwater en gemiddeld laagwater, is 14,6 km² oftewel 1460 ha (situatie 2013). De Roggenplaat ligt direct aan de binnenkant van de Oosterscheldekering, en wordt omringd door de getijgeulen Hammen in het noorden en Geul van de Roggenplaat in het zuiden. Noordelijk ligt de zuidkust van Schouwen-Duiveland met de voormalige haven en het voormalige buurtschap Schelphoek.

Er zijn twee zuid-noord-georiënteerde afwateringsgeulen die de Roggenplaat in drie delen scheiden. Het noordelijk gedeelte rond de oostelijk gelegen geul is een rustplaats voor zeehonden. Langs de noordelijke en zuidoostelijke rand van de Roggenplaat liggen mosselpercelen. Verspreid over de Roggenplaat liggen natuurlijke oesterriffen. In Hoofdstuk 4 wordt nader ingegaan op de ligging van mosselpercelen, de rustplaats van de zeehonden en de natuurlijke oesterriffen. Op het zuidelijk gedeelte liggen schelpenbanken met een typische (zuid)west-(noord)oostelijke oriëntatie.



Figuur 2.1 Luchtfoto (in valse kleuren) van de Roggenplaat in 2014 (fotografie Edwin Parez).



Figuur 2.2 Bodemligging Roggenplaat en omgeving (2013) met de belangrijkste geulen en platen. Ook de locatie van de Wavender en de meetstations Roompot Binnen (waterstanden) en Zeelandbrug Wind zijn weergegeven.

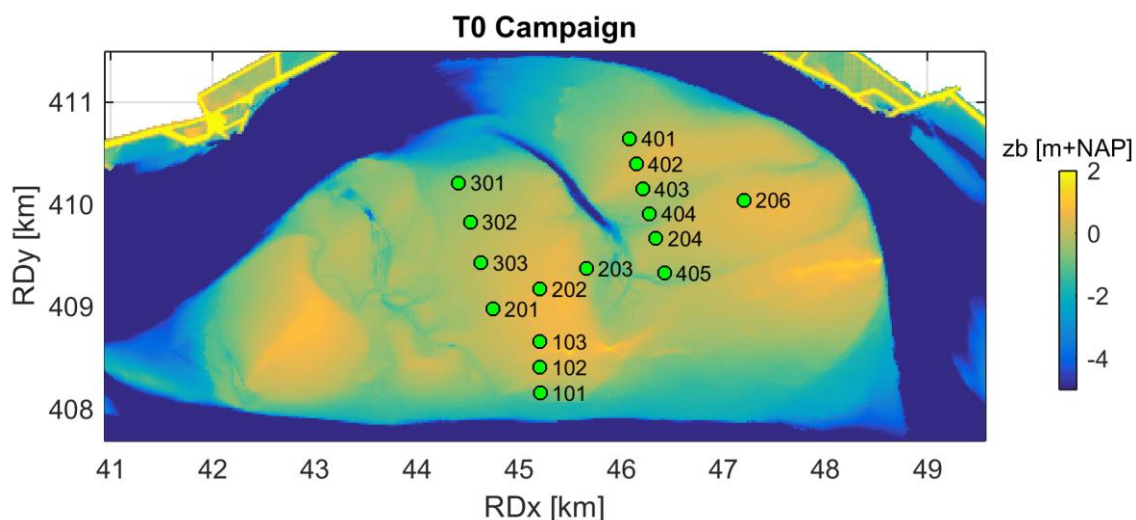
2.2 WATERBEWEGING EN MORFOLOGIE ROGGENPLAAT

2.2.1 STROMING

De getijslag in de Oosterschelde nam door de aanleg van de Volkerakdam in 1969 licht toe, vervolgens flink af door de Oosterschelde-kering in 1985/1986 en vervolgens weer toe vanaf 1986/1987 door de aanleg van de Oesterdam en Philipsdam. Dit betekent dat de getijslag vanaf 1987 ongeveer vergelijkbaar is met de situatie voor 1969 (Eelkema, 2013). Het meetstation het meest nabij de Roggenplaat, Roompot Binnen (zie Figuur 2.2 voor de locatie), had in 2013 een gemiddelde hoogwaterstand van +1,3 m NAP en een gemiddelde laagwaterstand van -1,2 m NAP, i.e. een gemiddelde getijslag van 2,50 m.

Het getijprima volgt de ontwikkeling van de getijslag, maar deze is door de kering wel afgenomen van ~1200 miljoen m³ eind jaren '60 tot ~950 miljoen m³ in de jaren '90 (Eelkema, 2013). De geulen bij de kering hebben geen duidelijke eb- of vloeddominantie in termen van getijvolumes. Tussen 1984 en 1987 nam de gemiddelde stroomsnelheid in de getijgeulen van de Oosterschelde af van ~1.2 naar ~0.8 m/s (Ten Brinke et al., 1994), wat het effect van de aanleg van de kering illustreert.

Tussen 24 februari en 25 maart 2015 zijn er op 16 locaties op de Roggenplaat stroomsnelheden gemeten met Aquadops. Figuur 2.3 en Tabel 2.1 geven de ligging en meetperiode. Er is langs 4 raaien gemeten. Dit is het eerste getal van de naam van de locatie; het tweede getal geeft de positie langs de betreffende raai weer. De meting bij locatie MP205 is mislukt en daarom is deze locatie niet opgenomen in de onderstaande figuur.



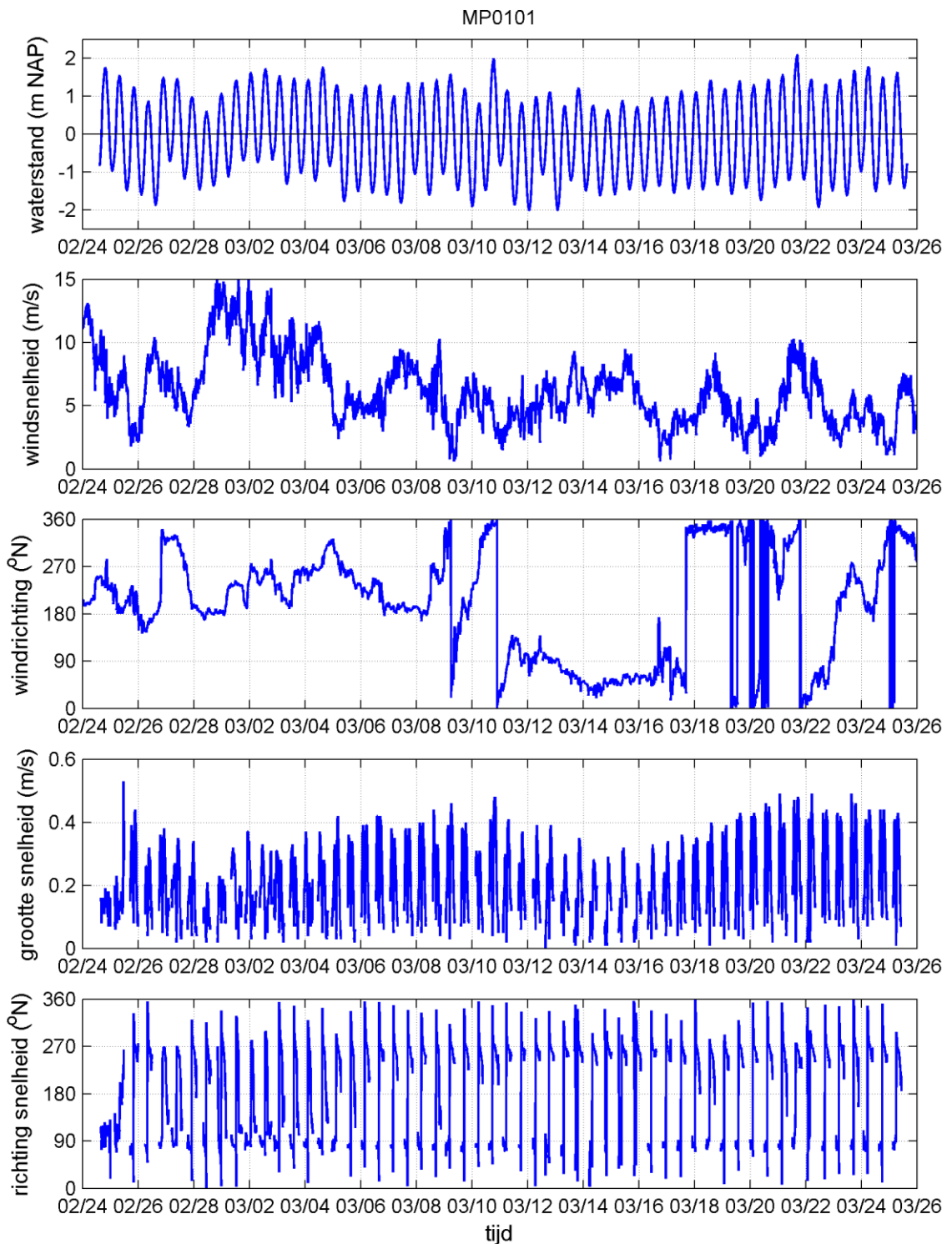
Figuur 2.3 Ligging Aquadops tijdens de T0 meting van de stroomsnelheden (februari – maart 2015). De onderliggende bathymetrie betreft het jaar 2013.

Tabel 2.1 Bodemligging (RTK gemeten) bij de Aquadops tijdens T0 metingen.

Naam	Bodemligging (m NAP)
MP101	-0,82
MP102	+0,24
MP103	+0,46
MP201	+0,13
MP202	+0,52
MP203	-0,09
MP204	-0,05
MP206	+0,42
MP301	-0,61
MP302	-0,24
MP303	-0,01
MP401	-0,18
MP402	+0,34
MP403	-0,02
MP404	-0,44
MP405	-0,35

Figuur 2.4 toont de waterstanden bij het meetstation MP101 (op basis van de gemeten waterstand bij station Roompot Binnen en een correctie van de M2 amplitude en fase, Marco Schrijver, persoonlijke communicatie), de windsnelheid en windrichting bij station Zeelandbrug Wind (zie Figuur 2.2 voor de ligging) en de lokale, diepte-gemiddelde stroomsnelheden. De windrichting is nautisch gedefinieerd, i.e. 0° correspondeert met een wind afkomstig uit het noorden. Anders dan de wind correspondeert een richting van 0° met een stroming naar het noorden.

Deze figuur laat zien dat de waterstanden variëren door astronomische en meteorologische invloeden. Zo is er op 1 maart een toename in de waterstanden te zien gekoppeld aan de relatief sterke wind vanuit het zuid-zuidwesten. Op deze locatie variëren de pieksnelheden tussen de 0,2 en 0,5 m/s. De snelheden op de andere locaties hebben dezelfde orde van grootte. De springtij-doodtijcyclus is zichtbaar in de snelheden met hogere waarden rond 8 en 22 maart en lagere rond 1 en 15 maart.

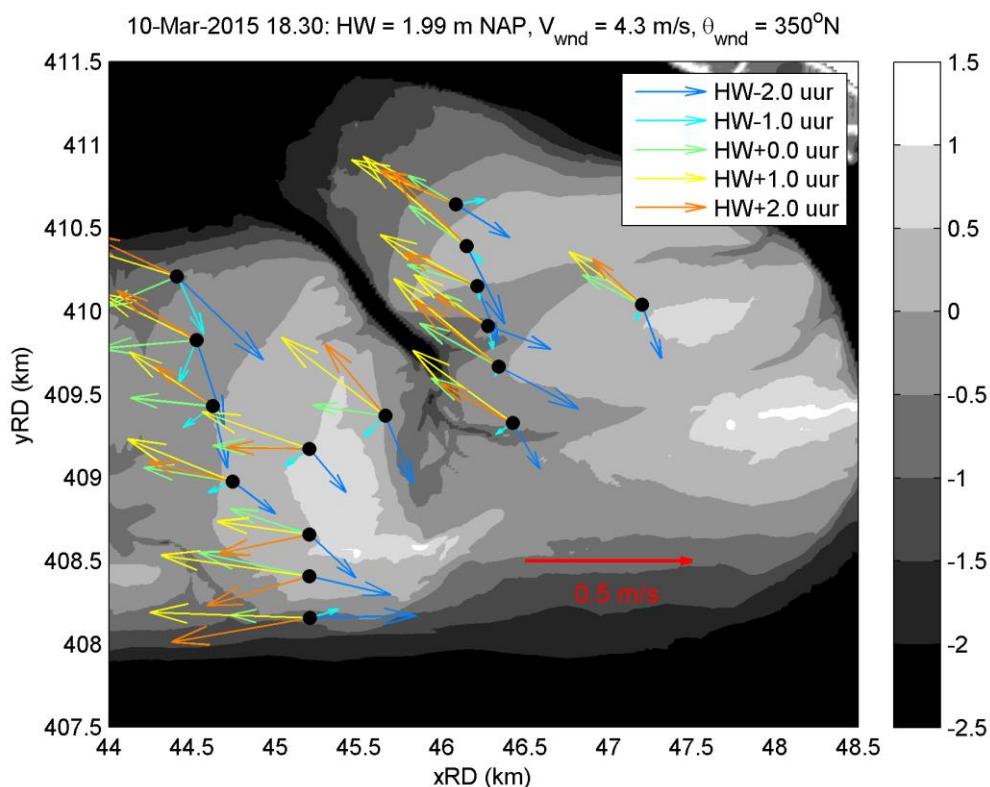


Figuur 2.4 T0 metingen (2015) van de waterstand en dieptegemiddelde stroomsnelheid bij locatie MP0101, en optredende windcondities bij het nabijgelegen station Zeelandbrug Wind.

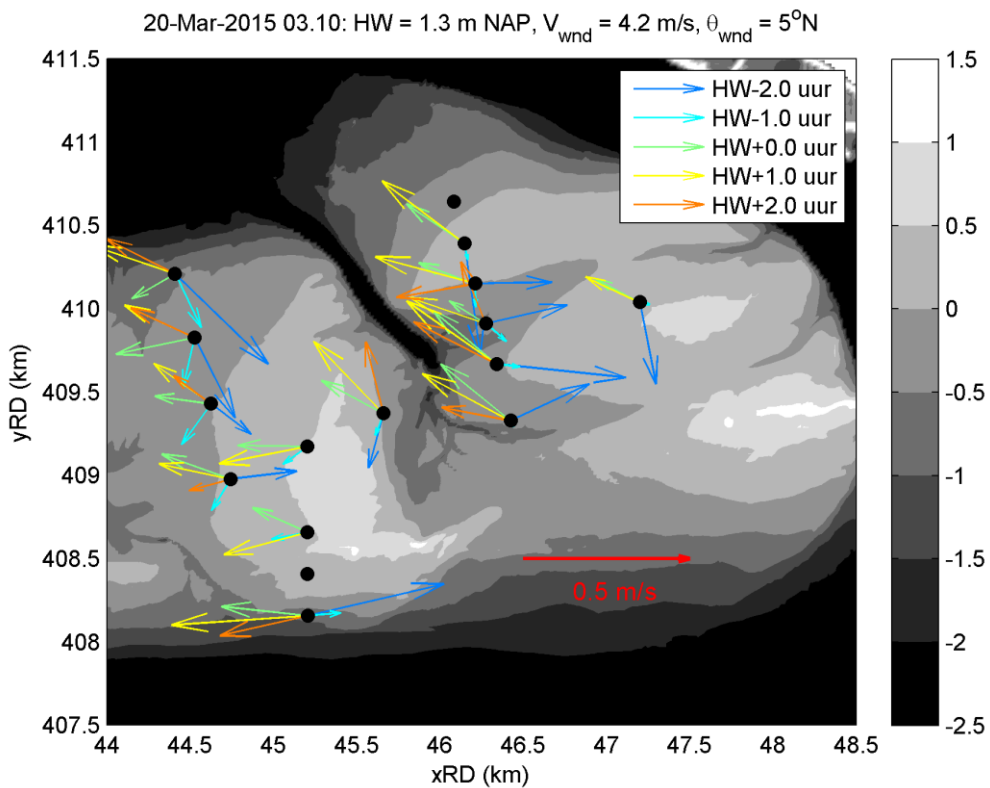
Figuur 2.5 en Figuur 2.6 tonen de gemeten diepte-gemiddelde stroomsnelheden 2 uur voor, 1 uur voor, tijdens, 1 uur na en 2 uur na hoogwater (HW). De onderliggende bodemligging is in [m NAP] en afkomstig uit 2013. In de titel van de figuren staat het tijdstip van het hoogwater, het lokaal opgetreden hoogwater en de windcondities (gemiddeld over de periode 2 uur voor t/m 2 uur na HW). Het betreft vergelijkbare windcondities (windkracht 3 Bft uit het noorden), en een hoger (Figuur 2.5) en lager (Figuur 2.6) hoogwater.

Deze figuren laten zien dat de stroomsnelheden een dominante oostelijke component hebben tijdens het opstromen van de plaat en een dominante westelijke component tijdens het afstromen. De stroming op de locaties direct ten oosten van de afwateringsgeul hebben een sterkere noordwestelijke oriëntatie tijdens afstroming, in lijn met de oriëntatie van de afwateringsgeul. De stroming tijdens het hogere HW (Figuur 2.5) is aanzienlijk sterker. Bij de meeste stations draait de stromingsrichting het grootste gedeelte van de tijd met de klok mee.

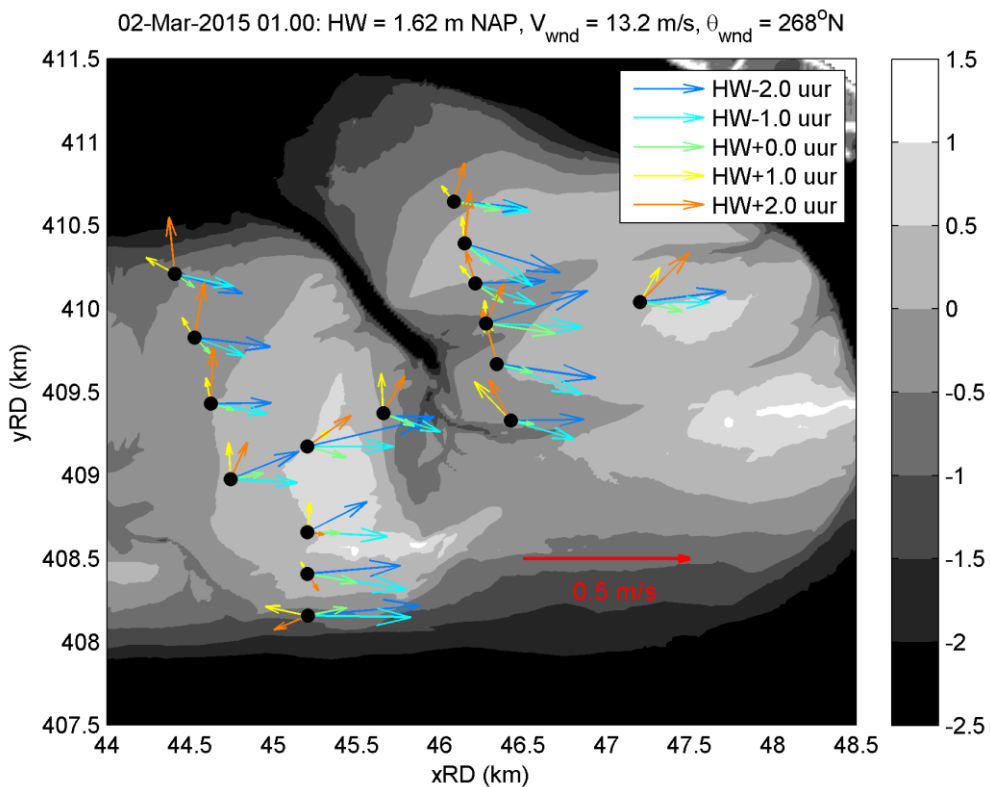
De sterkste wind tijdens de TO metingen was op 2 maart 2015: de windsnelheid was ruim 13 m/s (6 Bft) en afkomstig uit het westen. Figuur 2.7 laat zien dat de wind de snelheden op de Roggenplaat sterk beïnvloedt. De westwaartse snelheden tijdens eb zijn sterk gereduceerd. Tijdens vloed hebben de snelheden een sterkere oostelijke oriëntatie dan bij een lager windsnelheid (Figuur 2.5 en Figuur 2.6), maar opvallend genoeg worden deze vloedsnelheden niet versterkt door de meewaaierende wind.



Figuur 2.5 Gemeten dieptegemiddelde stroomsnelheden op de Roggenplaat rond het hoogwater van 10 maart 2015 om 18.30 uur met de 2013 modelbathymetrie [m NAP] eronder.



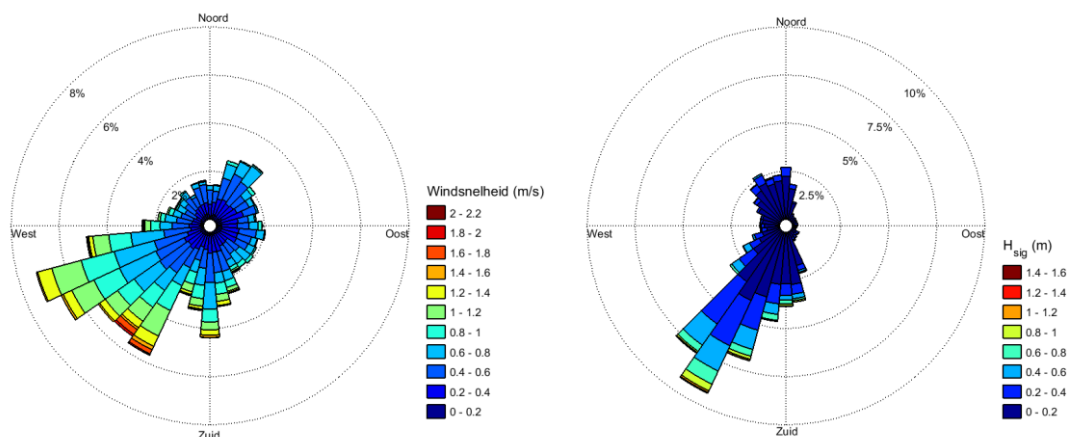
Figuur 2.6 Gemeten dieptegemiddelde stroomsnelheden op de Roggenplaat rond het hoogwater van 20 maart 2015 om 03.10 uur met de 2013 modelbathymetrie [m NAP] eronder.



Figuur 2.7 Gemeten dieptegemiddelde stroomsnelheden op de Roggenplaat rond het hoogwater van 2 maart 2015 om 01.00 uur met de 2013 modelbathymetrie [m NAP] eronder.

2.2.2 WIND EN GOLVEN

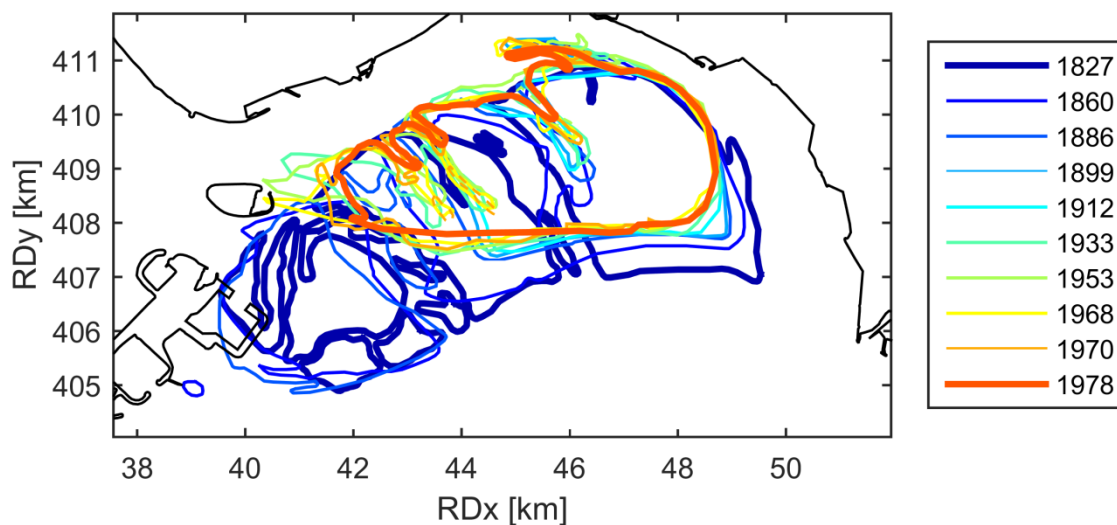
De golven bij de Roggenplaat zijn voornamelijk lokaal opgewekte windgolven. De gemiddelde significante golfhoogte bij de Waverider in de geul ten zuiden van de Roggenplaat was in de periode januari 2015 – januari 2016 0,2 m. De dominante golfrichting is zuidwestelijk, in lijn met de windcondities.



Figuur 2.8 Golf- en windroos T0 metingen. De winsnelheden zijn gemeten in 2015 bij station Zeelandbrug Wind; de golfhoogtes bij de Waverider ten zuiden van de Roggenplaat in de periode januari 2015 – januari 2016.

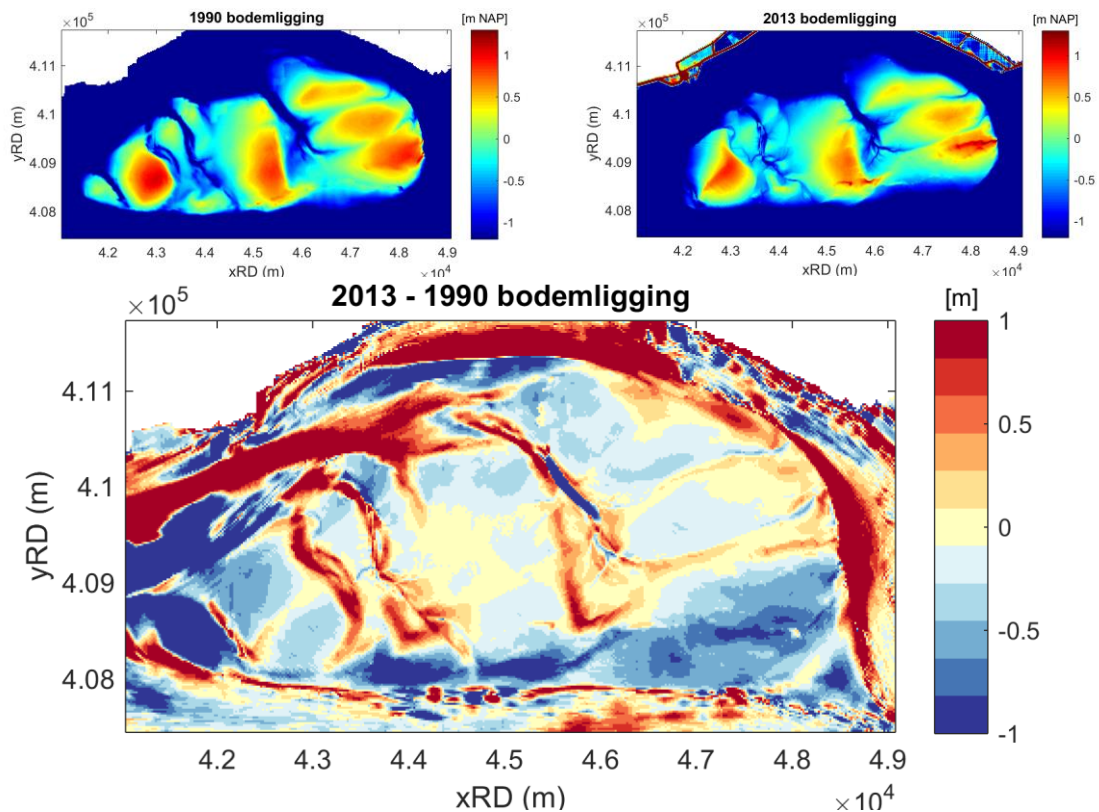
2.2.3 MORFOLOGIE

Figuur 2.9 toont de ontwikkeling van de laagwaterlijn van de Roggenplaat tussen 1827 en 1978 op basis van historische kaarten afkomstig uit Van den Berg (1986). Hieruit blijkt dat de Roggenplaat kleiner en meer aangesloten is geworden (kortere waterlijn). Het zuidelijke, en dat met name het zuidwestelijke, gedeelte is het meeste veranderd. De noordelijke plaatrand is vrij stabiel. De noordelijk gelegen getijgeul de Hammen houdt een sterke noordelijke verplaatsing van de Roggenplaat mogelijk tegen, omdat deze een bepaalde evenwichtsdoorsnede nastreeft en de kust van Schouwen vastligt. Deze figuur laat zien dat de Roggenplaat lang voor de aanleg van de Oosterschelde-kering in 1986 onderhevig was aan significante morfologische veranderingen.



Figuur 2.9 Ontwikkeling laagwaterlijn Roggenplaat tussen 1827 en 1978. De zwarte lijn correspondeert met de hedendaagse kustlijn.

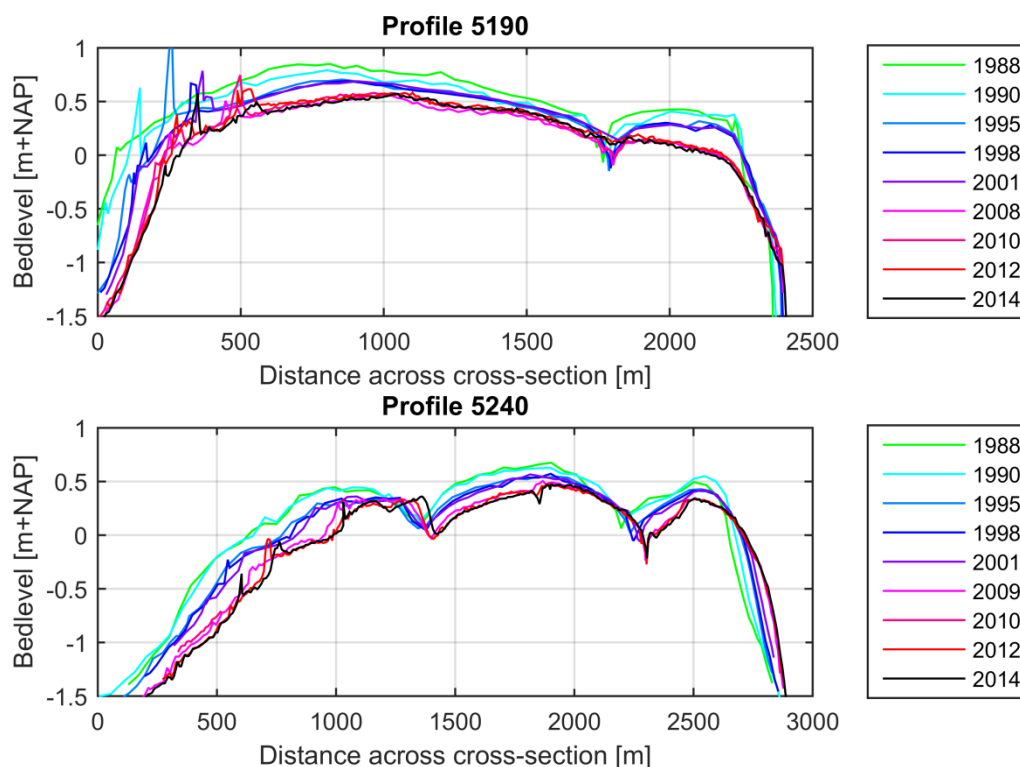
De bodemligging in 1990 en 2013, en het verschil hiertussen wordt getoond in Figuur 2.10. Deze zijn gebaseerd op de Rijkswaterstaat Vaklodingen. De algehele plaaterosie is goed zichtbaar; met name het oppervlakte van de gebieden hoger dan +0,5 m NAP is sterk verminderd tussen 1990 en 2013. Verder is de zuidrand sterk geërodeerd en lijken de geulen en plaatdelen zich in noordoostelijke richting te verplaatsen.



Figuur 2.10 Bodemligging Roggenplaat in 1990 en 2013, en het verschil hiertussen.

Naast de Vaklodingen wordt de bodemligging langs 6 raaien over de Roggenplaat met RTK gemeten (zie Figuur 2.13 voor de ligging van de RTK raaien). Deze metingen worden ongeveer jaarlijks uitgevoerd en zijn nauwkeuriger ($\pm 0,03$ m) dan de Vaklodingen ($\pm 0,1$ m). Figuur 2.11 toont de bodemligging langs raaien 5190 (midden Roggenplaat) en 5240 (oostelijk deel).

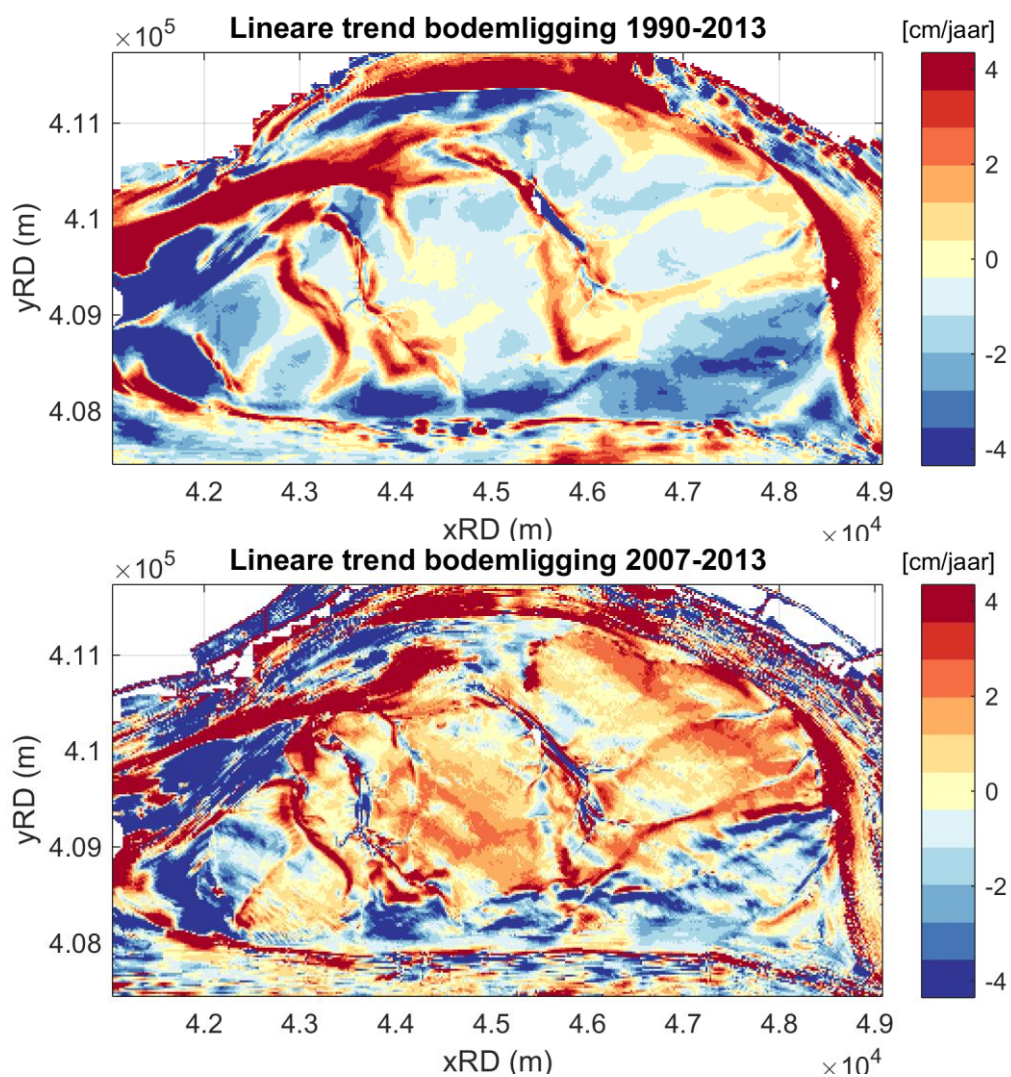
Ook hieruit blijkt de sterke erosie van de zuidelijke plaatrand. Deze is tussen 1988 en 2013 ongeveer 200 m verschoven in noordelijke richting. Het midden van de plaat erodeert met $\sim 0,2-0,5$ m. De noordelijke plaatrand ligt vrij stabiel. Vanaf de 1990 meting zijn er schelpenruggen op de zuidelijke rand van raai 5190 zichtbaar die in noordwaartse richting verplaatsen. Er ontstaan twee schelpenruggen. In 2014 in de meest noordelijke schelpenrug afgenomen in grootte. De oostelijke raai (5240) laat duidelijk de hogere gedeelten/ruggen van de Roggenplaat zien die ook in noordelijke richting lijken te verplaatsen. Dit kan duiden op een netto sedimenttransport met een sterke noordwaartse component, in lijn met de overheersende zuidwestelijke windrichting. Het kan ook meespelen dat de zuidzijde en de zuidelijke flanken sterk eroderen en dat dit sediment (gedeeltelijk) in zuidelijke richting wordt verplaatst. De laatste jaren, 2010-2013, lijkt de bodemligging minder sterk te veranderen dan de jaren ervoor.



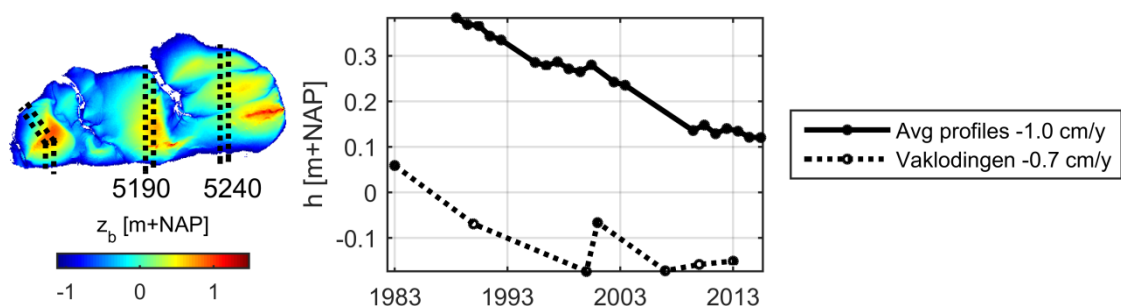
Figuur 2.11 Bodemligging langs RTK raaien 5190 en 5240. De afstand neemt toe in noordelijke richting.

De afgenomen erosiesnelheid is ook te zien in Figuur 2.12, waarin de ruimtelijke verdelingen van de lineaire erosietrends voor de perioden 1990-2013 en 2007-2013 zijn weergegeven. Volgens De Ronde et al. (2013) is de erosie tussen 1990 en 2010 het sterkste in het noorden en zuiden van de plaat (24 mm/jaar). Het westelijk gedeelte erodeert 14 mm/jaar en het grote middengedeelte 5 mm/jaar. De Ronde et al. (2013) koppelen de sterke erosie van de zuidrand aan golfwerking. Dit gedeelte ligt geëxposeerd voor golven uit de dominante zuidwestelijke richting.

De gemiddelde bodemontwikkeling op basis van de RTK data langs de 6 raaien en de Vaklodingen data van de gehele Roggenplaat houdt gelijke tred (Figuur 2.13). De gemiddelde erosie van de Roggenplaat bedraagt 0,7 cm/jaar in de periode 1983-2013 volgens de Vaklodingen en 1,0 cm/jaar in de periode 1988-2015 volgens de RTK raaien. De RTK raaien lopen over de relatief hogere gedeelten van de Roggenplaat die relatief sneller eroderen. De laatste paar jaren lijkt de erosietrend af te vlakken. Opvallend genoeg lijken de RTK data te wijzen op een eerder afvlakking in de periode 1995-2001. De onzekerheid in de Vaklodingen data is orde 0,1 m, die wordt gesymboliseerd door de “bodemsprong” tussen 2000 en 2001. De 2000 Vaklodingen data zijn aantoonbaar onnauwkeurig, wat blijkt uit een vergelijking met de RTK data. Daarom nemen we de 2000 Vaklodingen data in het vervolg van dit rapport niet mee.

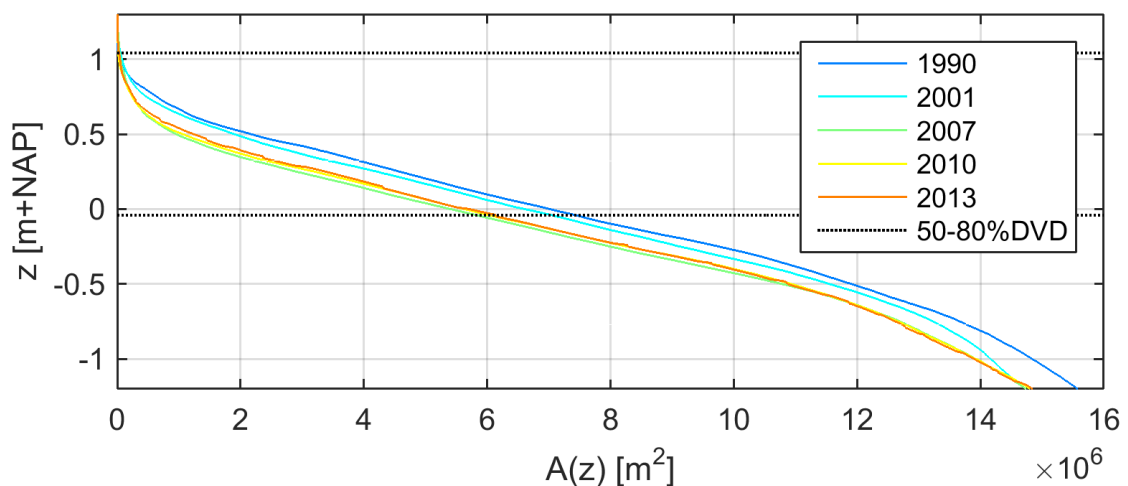


Figuur 2.12 Lineaire erosietrend voor de periode 1990-2013 (boven) en 2007-2013 (beneden).



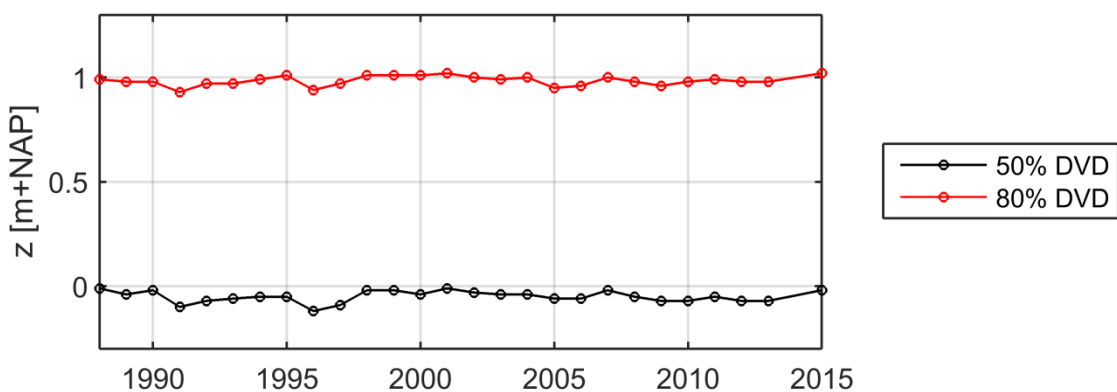
Figuur 2.13 Gemiddelde bodemligging RTK raaien en Vaklodingen data Roggenplaat.

Hypsometrische curves zijn een andere manier om de morfologische ontwikkeling van Roggenplaat te bestuderen. Deze curves tonen een cumulatieve verdeling van het plaatoppervlakte als functie van de hoogte. Figuur 2.14 laat deze zien voor de periode 1990-2013. Hierin zijn verticale niveaus ingetekend die corresponderen met een 50% en 80% droogvalduur op basis van de waterstanden die in 2013 bij station Roompot Binnen zijn gemeten. Uit deze figuur blijkt dat de hoogteverandering op de Roggenplaat vrij uniform verloopt; tussen 2007 en 2013 zijn de veranderingen beperkt. Een uitzondering op deze uniforme verlaging is de relatief snelle erosie van de plaatranden (dieper dan ca. NAP -0,8 m), wat ook zichtbaar is in de ruimtelijke verdeling van de erosie (Figuur 2.12). Verder laat deze figuur zien dat er nauwelijks areaal op de Roggenplaat is en was dat meer dan 80% van de tijd droogvalt. Dit betekent dat het totale areaal dat meer dan 50% droogvalt een goede maat is voor het areaal met 50-80% droogvalduur.

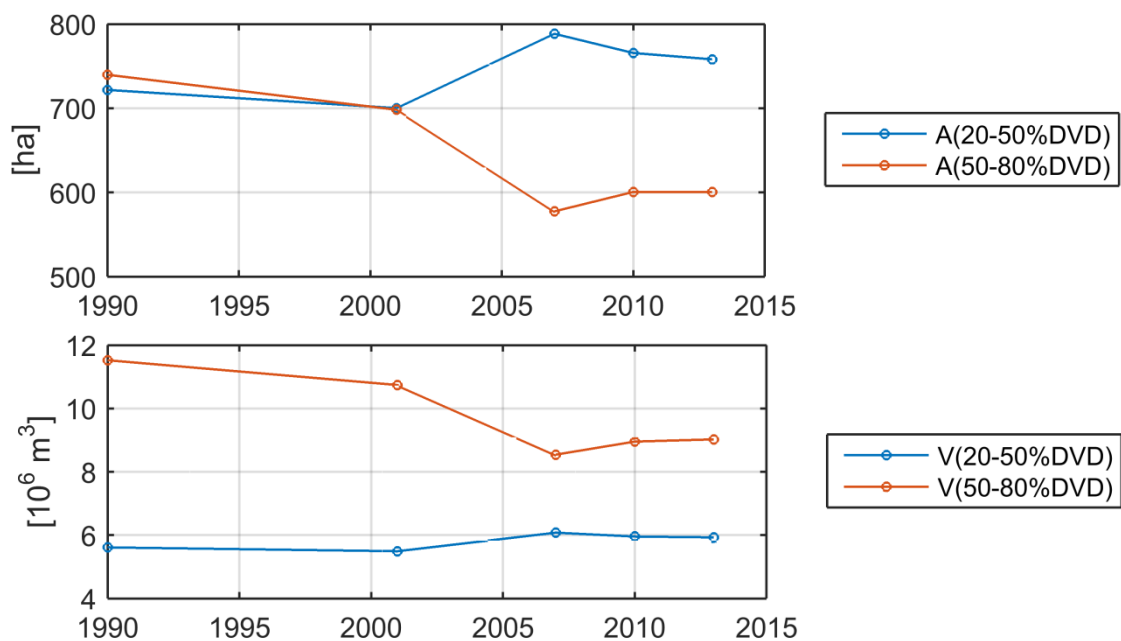


Figuur 2.14 Hypsometrische curves Roggenplaat voor de jaren 1990, 2001, 2007, 2010 en 2013.

De foerageerfunctie van de Roggenplaat wordt in belangrijke mate bepaald door de droogvalduur. Dit hangt af van de waterstand en de bodemligging die beide veranderen in de tijd. Het laatste is getoond in Figuur 2.14; de ontwikkeling van de waterstanden is zichtbaar gemaakt in Figuur 2.15. Deze figuur toont geen lange-termijn trend gerelateerd aan zeespiegelstijging. De beschouwde periode is te kort en het beeld wordt gedomineerd door jaarlijkse variaties door astronomische getijcycli, zoals b.v. de 18,6-jarige cyclus. De jaarlijkse variatie in de waterstanden die correspondeert met 50% en 80% DVD is maximaal ~0,1 m en significant in het licht van de hypsometrische curve (Figuur 2.14). Echter, het vertroebelt het lange-termijn beeld en daarom hebben we de arealen met een constante waterstand (uit het jaar 2013) berekend, zie Figuur 2.16.



Figuur 2.15 Ontwikkeling waterstanden Roompot Binnen die corresponderen met 50% en 80% droogvalduur.



Figuur 2.16 Ontwikkeling areaal (boven) en volume (onder) 20-50% en 50-80% DVD.

De trend is dat het areaal en volume 20-50% DVD areaal tussen 1990 en 2013 toeneemt, terwijl tegelijkertijd het 50-80% DVD areaal afneemt. Het zand wordt dus van de hogere naar de lagere delen verplaatst. De afname is sterker dan de toename, in lijn met de algehele erosie van de Roggenplaat. In 2010, het referentiejaar, ligt 600 ha van de Roggenplaat tussen de 50% en 80% van de tijd droog. Van 1990 tot aan heden is er ca. 2,5 miljoen kuub aan zand tussen de 50-80% DVD klasse verloren gegaan.

2.3 ECOLOGIE ROGGENPLAAT

2.3.1 INLEIDING

De Oosterschelde is omwille van zijn biologische rijkdom aangewezen als Natura 2000. Sinds 2002 is de Oosterschelde ook een Nationaal Park. De Oosterschelde is een belangrijk leefgebied voor kustbroedvogels, moerasbroedvogels en (doortrekkende en overwinterende) watervogels. In het kader van Natura 2000 is de Oosterschelde aangewezen voor zes habitat(sub)typen. Het habitatype 'grote baaien' (H1160) betreft het open water in de Oosterschelde, inclusief droogvallende platen en slikken. Het habitatype wordt begrensd of door de hoogwaterlijn óf door habitatypen 'zilte pionierbegroeiingen', 'slijkgrasvelden' en 'schorren en zilte graslanden' die ook iets onder de gemiddelde hoogwaterlijn kunnen voorkomen.

In de Oosterschelde wordt vooral het habitatype H1160 (grote, ondiepe krekens en baaien) bedreigd door de zandhonger. Voor dit habitatype is het doel: behoud van oppervlakte en verbetering kwaliteit. De Oosterschelde is het enige gebied in Nederland dat voor dit habitatype is aangewezen. De kwaliteitsdoelstelling betreft: het behouden van de variatie en oppervlakten aan slikken en platen en permanent onder water staande delen. Dit houdt ook in: de verdeling tussen diepe en ondiepe, laagdynamische en hoogdynamische delen en zandige en slibrijke delen met hun bijbehorende biodiversiteit en de eventuele aanwezigheid van zeegrasvelden.

De Roggenplaat vormt met zijn 1460 ha één van de grootste intergetijdengebieden in de Oosterschelde en is één van de belangrijkste foerageergebieden voor steltlopers en één van de belangrijkste ligplaatsen voor zeehonden in de Oosterschelde. Hieronder wordt een kort overzicht gegeven van het huidige voorkomen van macrozoöbenthos, steltlopers en zeehonden op de Roggenplaat, op basis van recent verzamelde data (T0 situatie). Bij het opstellen van dit rapport waren nog niet alle verzamelde data met betrekking tot de

huidige situatie beschikbaar. Deze worden tevens in de rapportage T0 monitoring toegevoegd en waar nodig gebruikt bij het uitwerken van de voorkeursvariant in een later stadium.

2.3.2 MACROZOÖBENTHOS

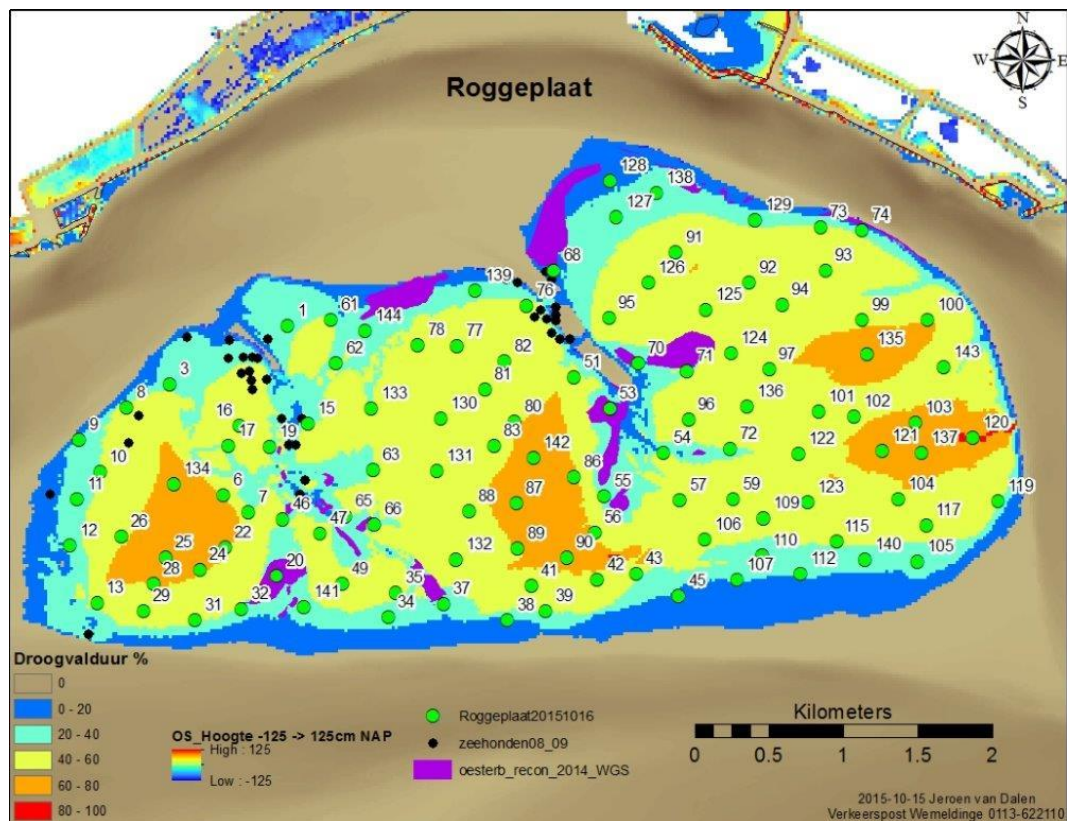
Het macrozoöbenthos (benthische macroinvertebraten > 1 mm, voornamelijk wormen, schelpdieren en schaaldieren) vormt een belangrijke schakel binnen het estuariene voedselweb en is de belangrijkste voedselbron voor vele soorten steltlopers.

Bemonstering 2015

In het najaar (oktober) van 2015 zijn 113 locaties bemonsterd op de Roggenplaat (Figuur 2.17). Op elke locatie zijn volgende parameters verzameld:

- benthos cores (diameter 10 cm), samengevoegd en in het veld gezeefd over een 1 mm zeef
- 1 sediment core, 3 cm diep, t.b.v. bepaling korrelgrootteverdeling
- 3 chl *a* cores, 1 cm diep, samengevoegd, t.b.v. chlorophyll *a* bepaling
- dichtheid van *Arenicola* hoopjes, op basis van 10x tellen in frame 50x50 cm

Het macrozoöbenthos is vervolgens in het lab gedetermineerd en geteld volgens standaardprocedures. Tevens is het asvrijdrooggewicht (AFDW) bepaald. De sedimentsamenstelling is bepaald met behulp van een *Malvern Laser Diffraction Analyser* bij het NIOZ. De chlorophyll *a* data waren bij het tot stand komen van dit rapport nog niet beschikbaar.



Figuur 2.17 Macrobenthos locaties bemonsterd op 16 en 19 oktober 2015 op de Roggenplaat (n=113).

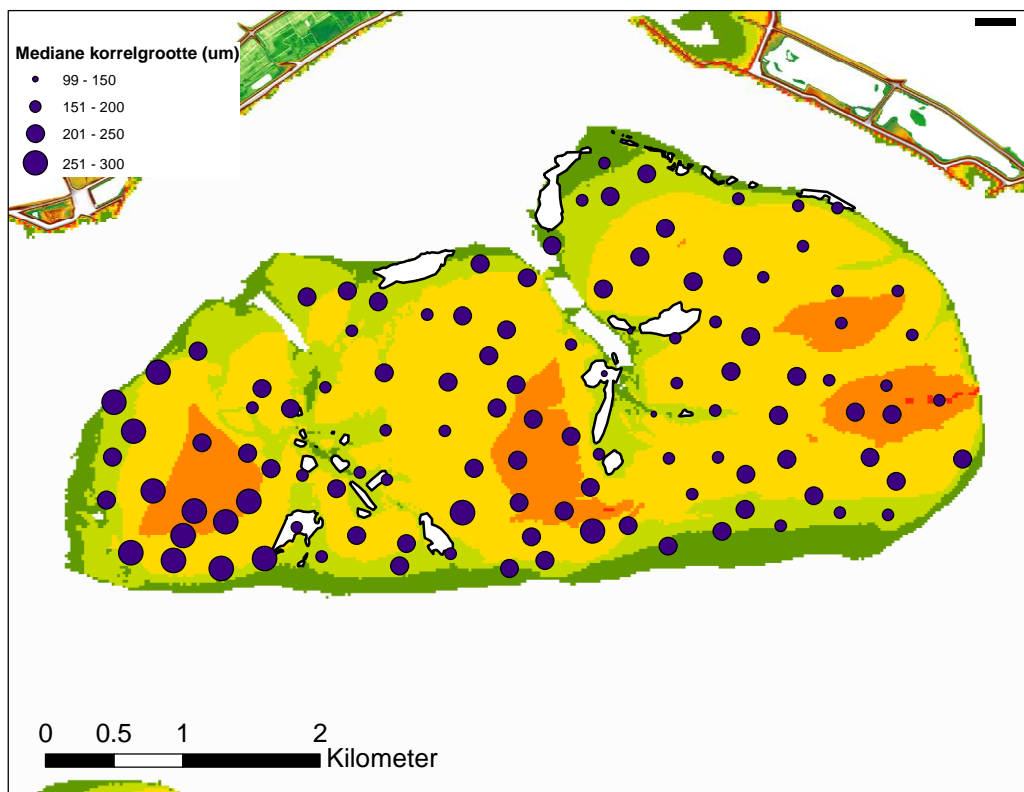
Sedimentsamenstelling

De gemiddelde mediane korrelgrootte op de Roggenplaat bedraagt $210 \mu\text{m} \pm 2,9$ (Tabel 2.2). Het sediment op de Roggenplaat kan dan ook gemiddeld geclassificeerd worden als fijn zandig. Deze vormt dan ook de grootste fractie (Tabel 2.2).

Tabel 2.2 Sedimentsamenstelling op de Roggenplaat. Coarse (Grof) = fractie tussen 0.5 – 1.0 mm, Medium (Middel) = 0.25 – 0.5 mm, Fines (Fijn) = 0.125 – 0.25 mm, Very Fines (Zeer Fijn) = 0.063 – 0.125 mm, Silt = < 0.063 mm; D50 = mediane korrelgrootte van de totale sedimentfractie.

	Coarse (%)	Medium (%)	Fines (%)	Very Fines (%)	Silt (%)	D50 (μm)
Gemiddelde	0,45	31,4	57,4	6,6	4,1	210
Min	0	3,4	33,0	0,1	0	99
Max	3,5	60,9	74,0	31,2	32,6	282

De ruimtelijke verdeling van het sediment toont vooral in het westelijke deel van de Roggenplaat hogere mediane korrelgroottes (Figuur 2.18). In de nabijheid van de oesterriffen is het sediment vaak fijner en is de siltfractie relatief groot (max. 32,6 %). Er is geen relatie vastgesteld tussen de sedimentsamenstelling en de droogvalduur.



Figuur 2.18 Mediane korrelgrootte van het sediment op de Roggenplaat. Op de kaart zijn tevens de oesterriffen ingetekend (zwart omliggende gebieden). De achtergrondkaart is de droogvalduurkaart 2010: donkergroen 0-20 % droogvalduur, lichtgroen 20-40 %, geel 40-60 %, en oranje 60-80%.

Algemene karakteristieken macrozoöbenthos

In totaal zijn 81 taxa (aantal soorten) gedetermineerd in de 113 monsters. Gemiddeld werden er $11,4 \pm 0,51$ per locatie aangetroffen (Tabel 2.3). De gemiddelde dichtheid bedraagt $5026 \pm 615 \text{ ind.m}^{-2}$, de gemiddelde biomassa $30,74 \pm 4,12 \text{ g AFDW.m}^{-2}$ (Tabel 2.3).

Tabel 2.3 Totale gemiddelde dichtheid, totale gemiddelde biomassa en aantal soorten per locatie in oktober 2015 op de Roggenplaat (n = 113).

Densiteit (ind/m²)	
Gemiddeld	Range
5026 ± 615	0 – 53858
Biomassa (g AFDW/m²)	
Gemiddeld	Range
$30,74 \pm 4,12$	0,06 - 338,75
Aantal soorten	
Gemiddeld	Range
$11,4 \pm 0,51$	0 - 29

De meest voorkomende soort op de Roggenplaat is de wapenworm *Scoloplos armiger*, gevolgd door het buldozerkreeftje *Urothoe poseidonis*, en het nonnetje *Macoma balthica* (Tabel 2.4). Van de 20 meest voorkomende soorten behoort meer dan de helft tot de *Annelida* (wormen), gevolgd door *Bivalvia* (schelpdieren) en *Crustacea* (schaaldieren).

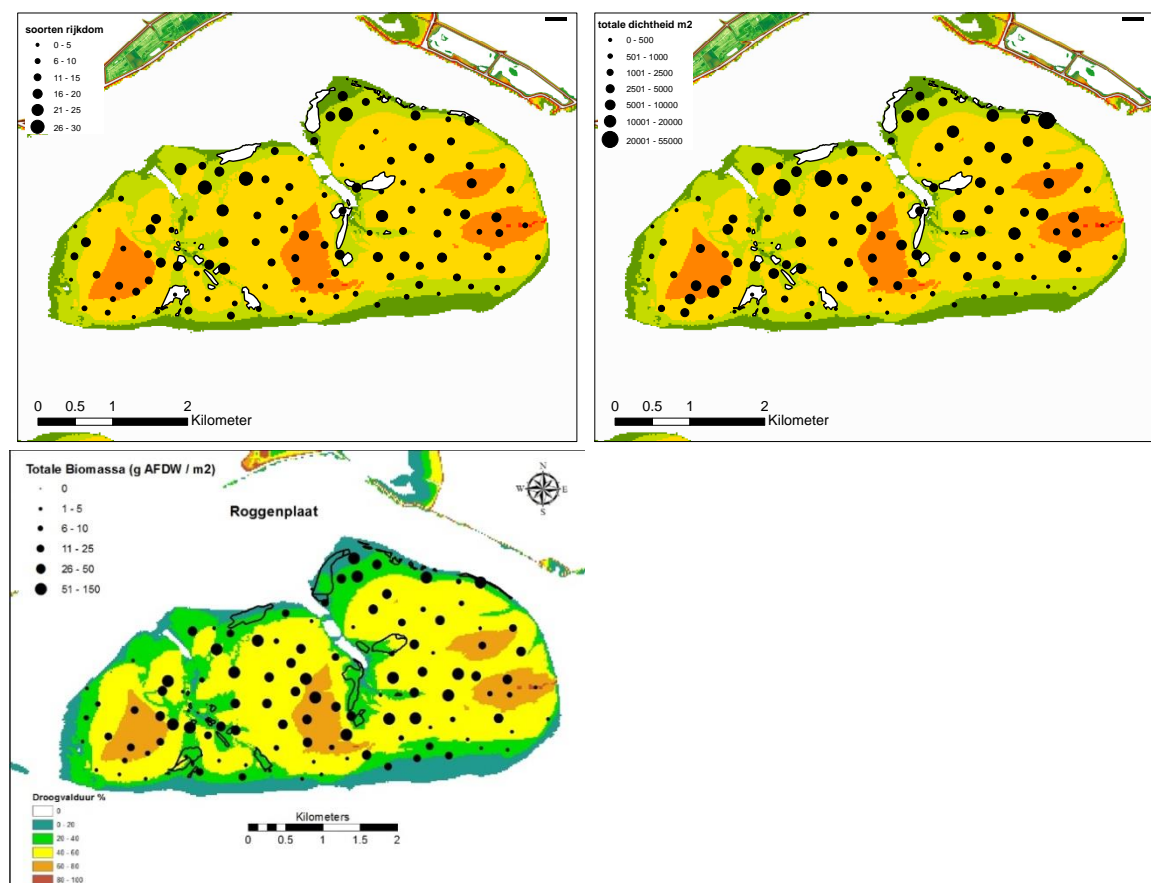
Tabel 2.4 Frequentie van voorkomen (F, %), gemiddelde biomassa (B, g AFDW.m⁻²), en gemiddelde dichtheid (D, ind.m⁻²) van de 20 meest voorkomende soorten op de Roggenplaat in oktober 2015 (n = 113).

Soort	Phylum	F	B	D
<i>Scoloplos armiger</i>	Annelida	88	1,15	718,1
<i>Urothoe poseidonis</i>	Crustacea	75	0,29	745,9
<i>Macoma balthica</i>	Mollusca	70	3,11	164,1
<i>Aphelochaeta marioni</i>	Annelida	54	0,19	859
<i>Oligochaeta</i>	Annelida	53	0,12	691,8
<i>Pygospio elegans</i>	Annelida	50	0,006	67,6
<i>Capitella capitata</i>	Annelida	47	0,06	292,6
<i>Cerastoderma edule</i>	Mollusca	46	10,6	59,7
<i>Eteone sp.</i>	Annelida	41	0,03	45,4
<i>Corophium arenarium</i>	Crustacea	39	0,05	217,8
<i>Peringia ulvae</i>	Mollusca	33	0,18	135,6
<i>Phyllodoce mucosa</i>	Annelida	30	0,18	68,7
<i>Crangon crangon</i>	Crustacea	28	0,06	17,7
<i>Lanice conchilega</i>	Annelida	28	2,29	186,3
<i>Nereis sp.</i>	Annelida	27	0,005	25,2
<i>Arenicola marina</i>	Annelida	26	2,72	20,7
<i>Bathyporeia sp.</i>	Crustacea	26	0,05	177,7
<i>Nereis diversicolor</i>	Annelida	25	0,64	18,4
<i>Nephtys hombergii</i>	Annelida	24	0,45	12
<i>Ruditapes philippinarium</i>	Mollusca	23	1,81	21,4

In termen van biomassa zijn de schelpdieren de belangrijkste soorten (Tabel 2.4). De kokkel *Cerastoderma edule* is meest dominant en vertegenwoordigt 35% van de aangetroffen biomassa in de monsters op de Roggenplaat, gevolgd door het nonnetje *M. balthica* (10%) en de exotische tapijtschelp *Ruditapes philippinarium* (6%). Daarnaast zijn ook de wadpier *Arenicola marina* (9%) en de schelpkokerworm *Lanice conchilega* (7%) belangrijk in termen van biomassa. Op twee locaties komen biomassa's voor van >200 g AFDW.m⁻²; deze locaties werden bemonsterd in oesterriffen en de biomassa wordt in hoofdzaak bepaald door mosselen (*Mytilus edulis*) en in mindere mate oesters (*Crassostrea gigas*). In termen van densiteit zijn de *Annelida* dominant: de belangrijkste soorten zijn de borstelworm *Aphelochaeta marina* (17%), de wapenworm *S. armiger* (14%), en Oligochaeta (14%). Ook het buldozerkreeftje *U. poseidonis* wordt gemiddeld in hoge aantallen aangetroffen (15%).

Ruimtelijke verspreiding macrozoöbenthos

De ruimtelijke verdeling van de soortenrijkdom (aantal soorten per locatie), de totale densiteit (ind.m⁻²) en totale biomassa (g AFDW.m⁻²) op de Roggenplaat toont duidelijk dat de zuidelijke, laaggelegen locaties en de op de westpunt gelegen, lagere locaties een lage soortenrijkdom, densiteit en biomassa vertonen (Figuur 2.19). Op de centrale delen en de noordelijke delen van het middengebied en het westelijk gebied van de Roggenplaat is de soortenrijkdom, totale densiteit en totale biomassa duidelijk hoger.

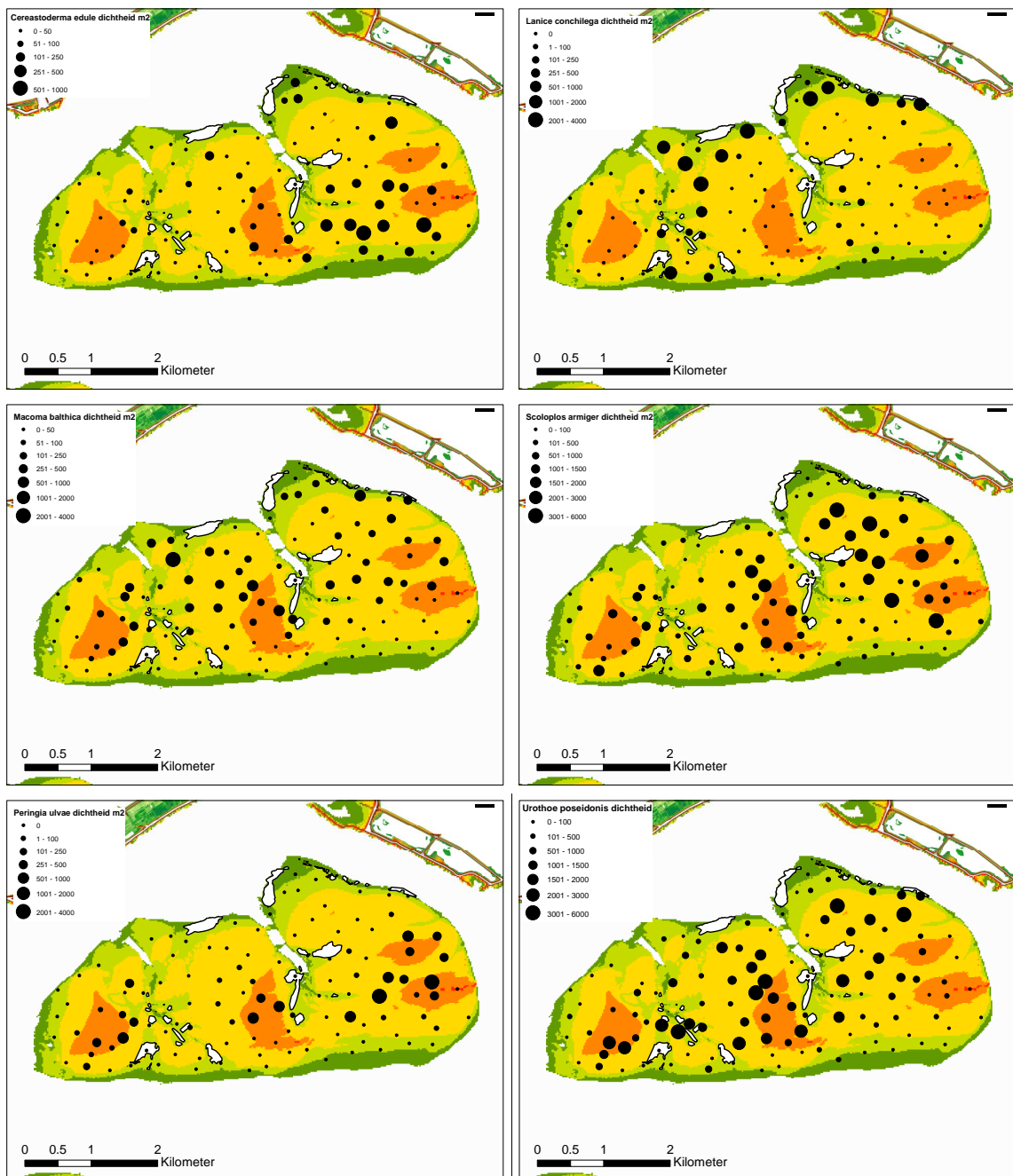


Figuur 2.19 Ruimtelijke verdeling van soortenrijkdom (aantal soorten per locatie) (links) en totale densiteit (ind.m⁻²) op de Roggenplaat in oktober 2015.

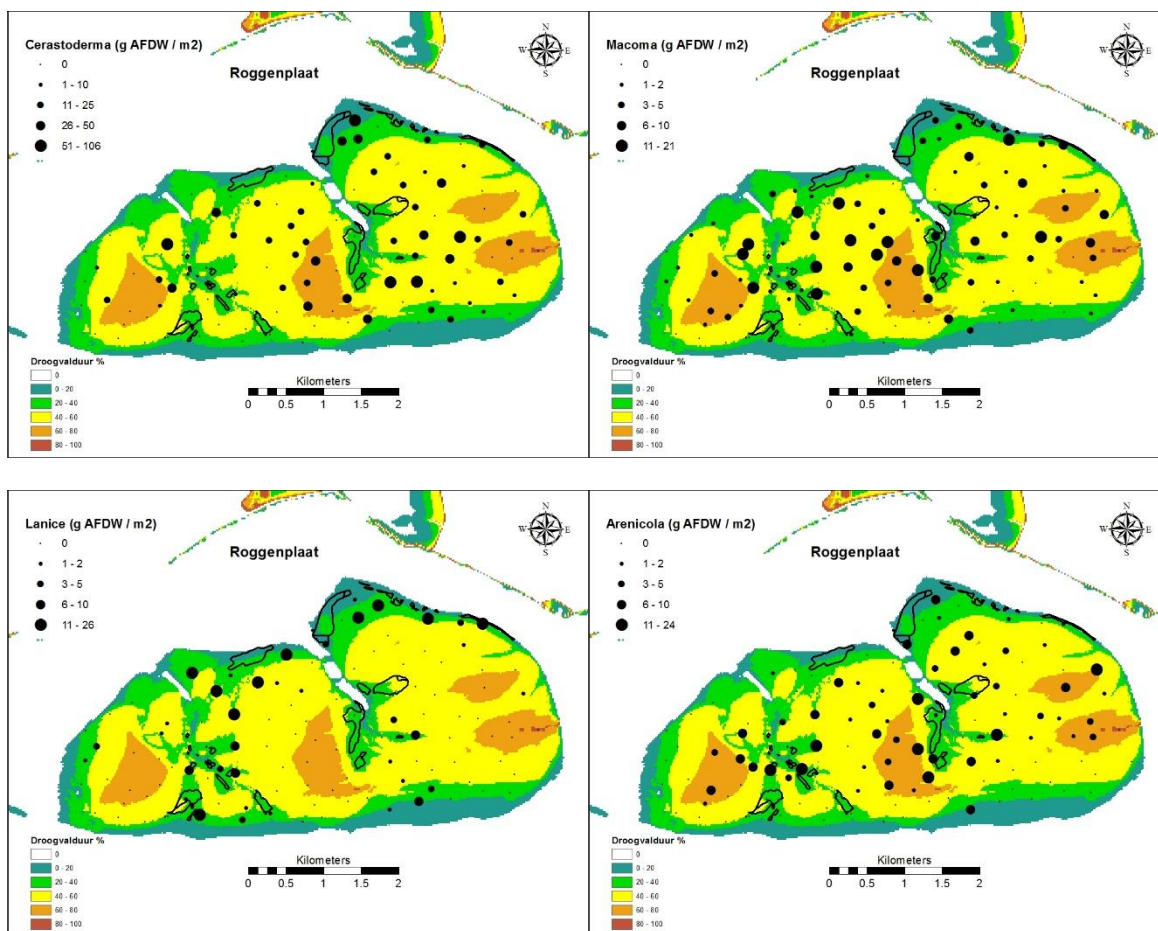
Voor een aantal soorten zien we duidelijke verschillen in de ruimtelijke verspreiding op de Roggenplaat. Figuur 2.20 toont de ruimtelijke verdeling van de densiteit (ind.m⁻²) van de kokkel *Cerastoderma edule*, de schelpkokerworm *Lanice conchilega*, het nonnetje *Macoma balthica*, de wapenworm *Scoloplos armiger*, het wadslakje *Peringia ulvae* en het buldozerkreeftje *Urothoe poseidonis*. *C. edule* komt vooral voor in het westelijke gebied van de Roggenplaat, *L. conchilega* langs de noordrand en in de buurt van oesterriffen,

terwijl *P. ulvae* vooral op de hoger gelegen gebieden voorkomt. De algemeen voorkomende soorten *S. armiger*, *M. balthica* en *U. poseidonis* komen vooral in de centrale gebieden voor (droogvalduur 40-60%).

Figuur 2.21 toont de ruimtelijke verdeling van de biomassa (g AFDW.m⁻²) van de kokkel *C. edule* en het nonnetje *M. balthica*, en de schelpkokerworm *L. conchilega* en de wadpier *Arenicola sp.* Ook hier zien we ruimtelijke verschillen, die deels het patroon van de densiteit (bijv. *L. conchilega*) volgen. Bij *C. edule* en *M. balthica* zien we plaatselijk hoge biomassa's. *Arenicola sp.* komt zowel op de wat hoger gelegen gebieden als laaggelegen gebieden (nabij oesterriffen) voor.



Figuur 2.20 Ruimtelijke verdeling van de densiteit (ind.m⁻²) van de kokkel *Cerastoderma edule* (linksboven), de schelpkokerworm *Lanice conchilega* (rechtsboven), het nonnetje *Macoma balthica* (midden links), de wapenworm *Scoloplos armiger* (midden rechts), het wadslakje *Peringia ulvae* (linksonder) en het buldozerkreeftje *Urothoe poseidonis* (rechtsonder) op de Roggenplaat in oktober 2015.



Figuur 2.21 Ruimtelijke verdeling van de biomassa (ind.m⁻²) van de kokkel *Cerastoderma edule* (linksboven), het nonnetje *Macoma balthica* (rechtsboven), de schelpkokerworm *Lanice conchilega* (linksonder), en de wadpier *Arenicola* sp. (rechtsonder) op de Roggenplaat in oktober 2015.

2.3.3 WATERVOGELS

Laagwatertellingen winter 2015 – 2016

In samenwerking met ervaren vogeltellers van Delta Project Management zijn integrale laagwatertellingen van de Roggenplaat uitgevoerd in de maanden november en december 2015, en januari en februari 2016. Tellingen zijn uitgevoerd vanaf een boot en gebeuren 1-2 uur na hoogwater, 3-4 na hoogwater, en rond de laagwaterperiode (5-6 uur na hoogwater). Per telling gaan steeds twee tellers mee. Tijdens de tellingen worden alle steltlopers en eendachtigen (met name bergeend en rotgans) tot op soort geteld en gekarteerd waar ze voorkomen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen foeragerende en niet foeragerende vogels.

In een later stadium zullen de resultaten in relatie gebracht worden met het voorkomen van het voedsel (zie paragraaf 2.3.2), de droogvalduur, enz. Dit vormt echter geen onderdeel van deze rapportage. In dit rapport worden de waargenomen aantallen gepresenteerd en de ruimtelijke verdeling van de belangrijkste soorten op de Roggenplaat.

Aantallen winter 2015 – 2016

De Roggenplaat is een belangrijk gebied voor watervogels, met name voor steltlopers. In de winter van 2015-2016 was de meest voorkomende soort de Bonte strandloper, gevolgd door Rosse Grutto,

Scholekster, Wulp, Zilverplevier, Kanoet en Drieteenstrandloper (Tabel 2.5). Overige soorten komen in veel lagere aantallen voor.

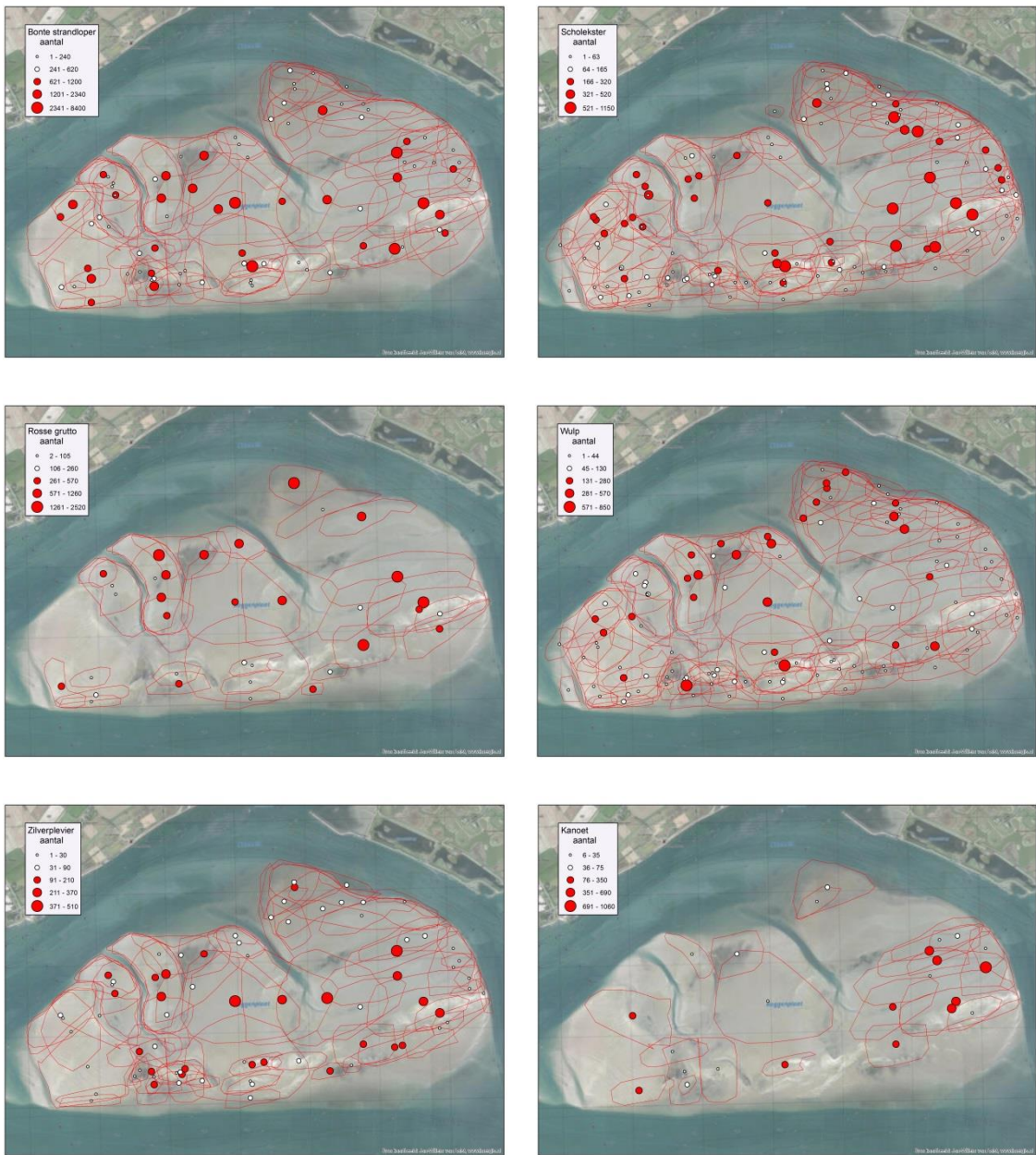
Tabel 2.5 Maximale aantallen watervogels waargenomen op de Roggenplaat in de maanden november en december 2015, en januari en februari 2016.

	nov-15	dec-15	jan-16	feb-16
Bergeend	2	50	0	4
Bonte strandloper	12341	8968	8427	4908
Drieteenstrandloper	93	190	1581	410
Eider	15	159	151	0
Groenpootruiter	1	0	0	0
Kanoet	690	615	75	1865
Rosse Grutto	1650	3544	3255	3760
Rotgans	15	43	1	8
Scholekster	2611	4444	1790	1832
Steenloper	7	14	2	7
Tureluur	82	28	0	10
Wulp	1067	2440	1313	1144
Kleine Zilverreiger	11	14	0	0
Zilverplevier	647	1492	1188	1009
Zwarte ruiter	2	0	0	0
Bontbekplevier	0	38	0	0
Lepelaar	0	3	0	0

Ruimtelijke verspreiding winter 2015 – 2016

Figuur 2.22 toont de verspreiding van zes steltlopersoorten in de winter 2015-2016 rond laagwater. Voor elke soort is de verspreiding in november, december, januari en februari in één kaart weergegeven. Dit geeft een beeld van waar de verschillende soorten het meest voorkomen op de Roggenplaat gedurende de winterperiode. De soorten tonen verschillende patronen van voorkomen. De Bonte strandloper komt verspreid voor over de volledige Roggenplaat, de Scholekster vooral in het oostelijke deelgebied en in mindere mate in het westelijke deelgebied en het middengebied. De Wulp komt meer langs de randen voor, in de gebieden waar *Lanice conchilega* voorkomt (zie boven) en nabij oesterriffen. De verspreiding van de Rosse Grutto vertoont gelijkenissen met de Wulp, maar komt minder verspreid voor. De Zilverplevier komt meer in de centrale delen van de Roggenplaat voor in vergelijking tot de andere soorten. De Kanoet komt vooral in het oostelijke deelgebied voor, in het gebied waar ook kokkels voorkomen (zie boven).

De Drieteenstrandloper vertoont een opmerkelijke verspreiding, met een voorkeur voor het westelijke deelgebied (Figuur 2.23).



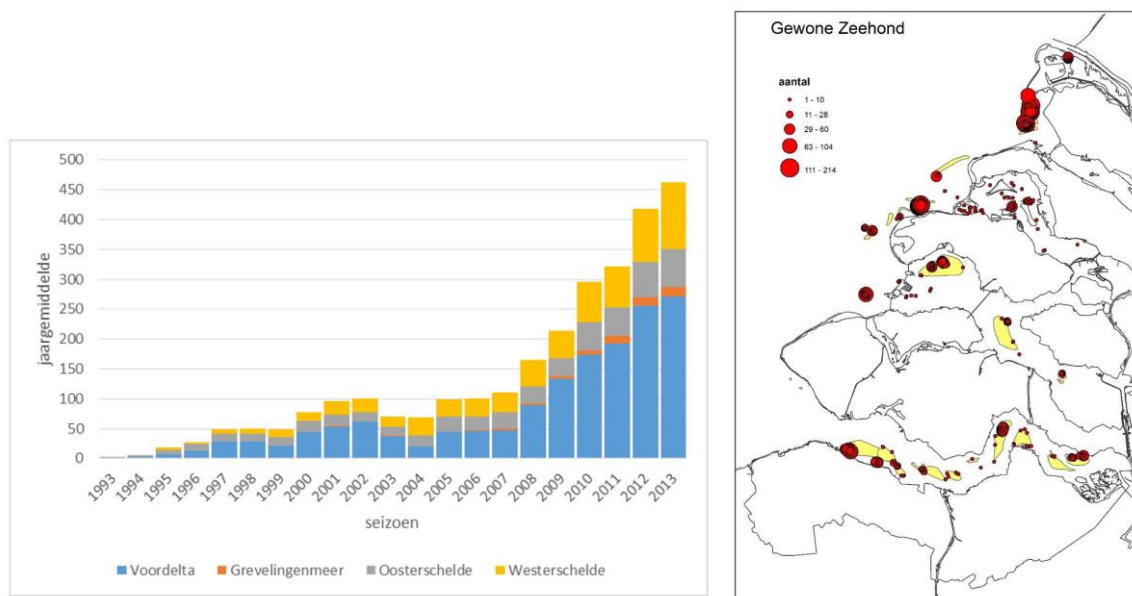
Figuur 2.22 *Verspreiding van foeragerende steltlopers in de periode november 2015 – februari 2016 op de Roggenplaat.*



Figuur 2.23 *Verspreiding van foeragerende Dreiteenstrandlopers in de periode november 2015 – februari 2016 op de Roggenplaat.*

2.3.4 ZEEHONDEN

Gewone Zeehonden komen voor in alle Zoute Deltawateren, met als belangrijkste gebieden de Voordelta, Westerschelde en Oosterschelde, en vormen samen de Deltapopulatie. De trend van de Gewone Zeehond in het Deltagebied is positief (Figuur 2.24), en de toename vond plaats in alle bekken (Arts et al., 2015). In 2013/2014 werden maximaal 617 exemplaren geteld in oktober. In 2013/2014 werden maximaal 430 exemplaren geteld in de Voordelta, 188 in de Westerschelde en 120 in de Oosterschelde (Arts et al., 2015).



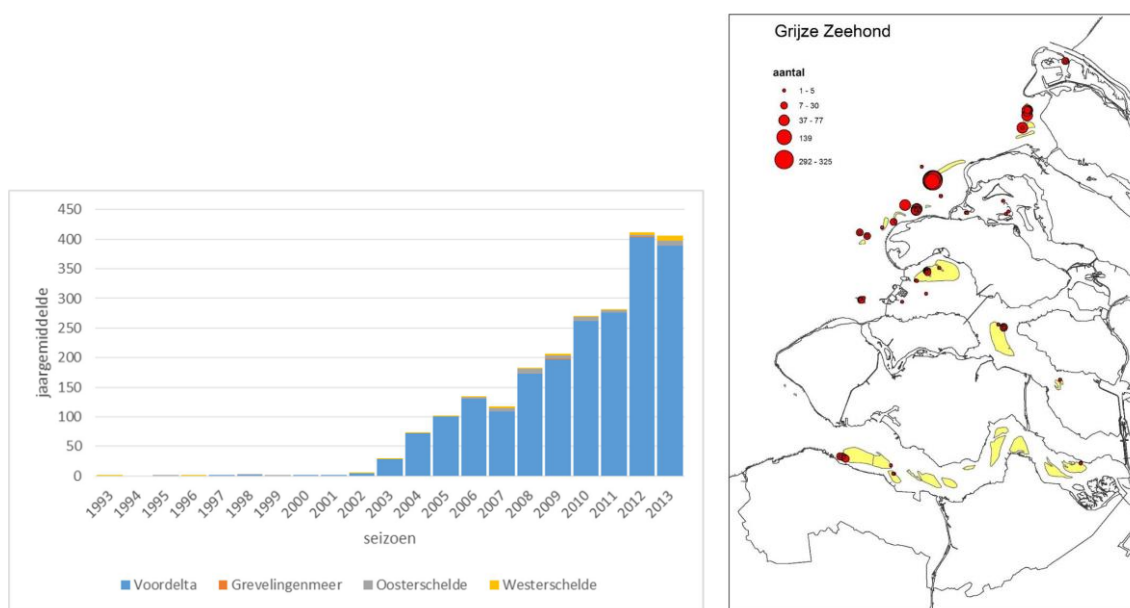
Figuur 2.24 *Links: trend van het jaargemiddelde van de Gewone Zeehond in het Deltagebied in de seizoenen 1993/1994 – 2013/2014. Rechts: ligplaatsen van Gewone Zeehond, gebaseerd op alle tellingen in seizoen 2013/2014 (in november 2013 werden de Oosterschelde en Westerschelde niet geteld). Overgenomen uit Arts et al. 2015.*

In de Oosterschelde vormt de Roggenplaat de belangrijkste ligplaats voor de Gewone Zeehond (Figuur 2.24, Tabel 2.6), met name in de Middengeul en Westgeul. De Roggenplaat is de enige belangrijke lig- en zoekplaats van Gewone Zeehond jongen in de Oosterschelde (Arts et al., 2015). De Gewone Zeehond baart jongen in de zomer. Pups worden waargenomen in de maanden april t/m augustus.

Tabel 2.6 Aantal Gewone Zeehonden geteld in de verschillende gebieden in de Oosterschelde in het seizoen 2013/2014. (n) = aantal jonge dieren, NG = niet geteld. Overgenomen uit Arts et al. 2015.

Oosterschelde	jul	aug	sep	okt	nov	dec	jan	feb	mrt	apr	mei	jun
Neeltje Jansplaat	6(2)	-	3	-	NG	-	-	-	1	1	10	-
Roggenplaat Oost	2	-	-	-	NG	-	-	-	-	-	-	-
Roggenplaat Middengeul	30(5)	55	29	39	NG	13	34	15	27	33	60	51(3)
Roggenplaat Westgeul	18	12	20	16	NG	4	9	8	2	51	5	17(1)
Roggenplaat Oude Oliegeul	-	-	-	-	NG	-	-	-	-	-	1	1
Roggenplaat Oliegeul	2	-	-	-	NG	-	-	-	-	-	-	-
Galgeplaat	18	20	-	24	NG	-	7	5	6	24	20	22
Yerseke, Noordergaatje	1	-	4	4	NG	1	-	-	4	11	7	2
Totaal	77(7)	87	56	83	?	18	50	28	40	120	103	93(4)

Ook de Grijze Zeehond komt voor in alle zoute Deltawateren en net als de Gewone Zeehond is de trend positief (Figuur 2.25). Het overgrote deel van de Grijze Zeehonden komt voor in de Voordelta, en in mindere mate in de Oosterschelde en de Westerschelde. In 2013/2014 werden maximaal 790 exemplaren geteld in de Voordelta, 29 in de Oosterschelde en 20 in de Westerschelde (Arts et al., 2015). De Grijze Zeehond wordt in de Oosterschelde waargenomen op de Roggenplaat en Galgenplaat (Tabel 2.7). Op de Roggenplaat is vooral de Westgeul een belangrijk liggebied in 2013/2014 (Arts et al., 2015). De Grijze Zeehond baart jongen in de winter. Pups worden waargenomen in de maanden november t/m april. In de Oosterschelde worden geen pups waargenomen (Arts et al., 2015).



Figuur 2.25 Links: trend van het jaargemiddelde van de Grijze Zeehond in het Deltagebied in de seizoenen 1993/1994 – 2013/2014. Rechts: ligplaatsen van Grijze Zeehond, gebaseerd op alle tellingen in seizoen 2013/2014 (in november 2013 werden de Oosterschelde en Westerschelde niet geteld). Overgenomen uit Arts et al. (2015).

Tabel 2.7 Aantal Grijze Zeehonden geteld in de verschillende gebieden in de Oosterschelde in het seizoen 2013/2014. (n) = aantal jonge dieren, NG = niet geteld. Overgenomen uit Arts et al. 2015.

Oosterschelde	jul	aug	sep	okt	nov	dec	jan	feb	mrt	apr	mei	jun
Neeltje Jansplaat	-	-	1	-	NG	-	-	-	-	-	-	-
Roggenplaat Middengeul	-	-	-	-	NG	-	-	-	-	-	1	-
Roggenplaat Westgeul	1	16	8	1	NG	-	-	-	-	-	9	-
Roggenplaat Oude Oliegeul	-	-	-	-	NG	-	-	-	-	-	1	-
Galgeplaat	5	11	-	7	NG	-	-	-	-	11	15	3
Yerseke, Noordergaatje	-	-	-	-	NG	-	-	-	-	-	3	-
Totaal	6	27	9	8	?	-	-	-	-	11	29	3

3 AFWEGINGSKADER

3.1 INLEIDING

De suppletie kan op verschillende manieren ontworpen en aangelegd worden. Dit komt in de volgende hoofdstukken aan de orde. Wat het beste is – dat wil zeggen het meest voldoet aan de doelstelling binnen de gestelde randvoorwaarden – zal afgewogen moeten worden. Een dergelijke afweging is zo veel mogelijk gebaseerd op kwantificeerbare indicatoren en waar nodig gebaseerd op kwalitatieve deskundigenoordelen. In beide gevallen dient de onderbouwing wetenschappelijk verantwoord te zijn, waarbij het expliciteren van de mate van (on)zekerheid een belangrijke rol speelt. In dit hoofdstuk wordt het afwegingskader toegelicht dat gebruikt wordt om een keuze te kunnen maken tussen de suppletieontwerpen (Hoofdstuk 7).

Het afwegingskader bestaat uit een tabel met indicatoren die voor alle suppletievarianten ingevuld kan worden. Een indicator is geschikt, wanneer:

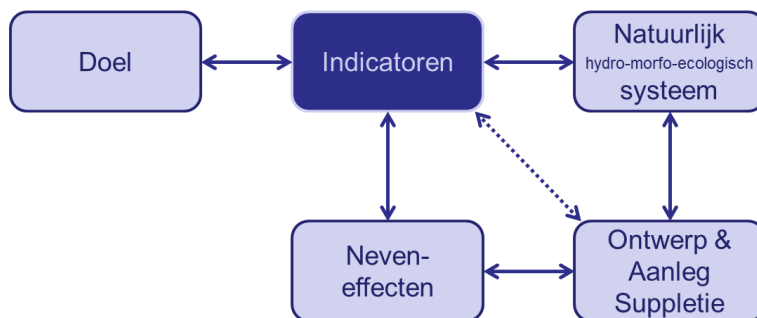
- De indicator gekoppeld is aan het doel van de suppletie, *of wanneer*
- De indicator van toepassing is om een neveneffect van de suppletie aan te geven.
 - Een neveneffect kan zowel positief (bijvoorbeeld het creëren van broedplaatsen voor kustbroedvogels) als negatief (bijvoorbeeld aanzanding bij mosselpercelen) zijn. Bij gelijke score kunnen neveneffecten de doorslag geven. Negatieve neveneffecten kunnen via de randvoorwaarden uitgesloten worden.
- De indicator onderscheid maakt tussen de varianten.
 - Bijvoorbeeld: De sedimentsamenstelling is wel van belang voor het doel, maar omdat voor alle suppletievarianten hetzelfde sediment wordt gebruikt, is het niet onderscheidend.
- De indicator met voldoende zekerheid bepaald kan worden.
 - Van iedere indicator wordt de bandbreedte of onzekerheidsmarge gegeven, bij voorkeur gekwantificeerd en anders op basis van deskundigenoordeel.

Naast de tabel is voor het afwegingskader de ‘Verrijkte effectketen’ als nieuwe visualisatiemethode ingezet, waarin zowel (de samenhang en afleiding van) de indicatoren als andere overwegingen opgenomen zijn. De visualisatie heeft de vorm van een stroomschema met variabelen en pijlen. Deze visualisatie kan verbonden worden met meetdata, modellen, onderliggende rapporten en/of specifieke toelichting van experts en bijdragen aan structurele en systematische kennisborging, kennisontsluiting (passief vindbaar zijn van kennis) en kennisdeling (actief en gericht dissemineren van kennis).

Het afwegingskader is afgeleid door vijf vragen te beantwoorden, waarbij literatuur en gesprekken met projectdeelnemers als informatiebron zijn gebruikt:

1. Wat is het doel van de suppletie?
2. Welke indicatoren geven dat doel (het beste) weer?
3. Welke natuurlijke processen beïnvloeden de indicatoren?
4. Hoe beïnvloedt de suppletie de indicatoren?
5. Welke neveneffecten heeft de suppletie?

De samenhang tussen deze vragen wordt weergegeven in Figuur 3.1 als de vier blokken die leiden tot indicatoren in het afwegingskader. De vier invalshoeken (doel, natuurlijk systeem, ontwerp en aanleg en neveneffecten) worden in de volgende paragrafen één voor één behandeld. Paragraaf 3.6 beschrijft de resulterende tabel van het afwegingskader.



Figuur 3.1 Schematische weergave van de vier invalshoeken die in het afwegingskader gekoppeld worden aan indicatoren.

3.2 DOEL

Het doel van de suppletie van de Roggenplaat is al gegeven in §1.1: “Behoud van de huidige foerageerfunctie van het Roggenplaat/Neeltje Jans-complex voor de komende 25 jaar”. Het tweede doel in §1.1 “Voorkomen van een ongewenste golfaanval op de zuidkust van Schouwen” wordt in dit rapport niet opgenomen in het afwegingskader. De verwachting is dat het ontwerp van de suppletievarianten niet onderscheidend is voor het voorkomen van ongewenste golfaanval.

Dit doel komt voort uit de Natura2000 instandhoudingsdoelstellingen, in het bijzonder de vogelrichtlijn (Rijkswaterstaat, 2015). Alvorens in te gaan op de foerageerfunctie wordt de ruimtelijke en temporele component uit het doel gespecificeerd. De urgentie voor behoud van het Roggenplaat/Neeltje Jans-complex ten opzichte van andere delen in de Oosterschelde is aangegeven in de ANT studie (De Ronde et al., 2013). Ten behoeve van het ontwerp van de suppletie wordt de doelstelling aangescherpt tot het behoud van de foerageerfunctie van de Roggenplaat en wordt Neeltje Jans niet meegenomen. Dit betreft dus een ruimtelijke inperking.

Voor de temporele definitie is wel een termijn (“de komende 25 jaar”), maar nog geen referentiejaar en/of doeljaar vastgesteld. Het referentiejaar is bepaald op 2010, omdat dat het jaar is waarop de instandhoudingsdoelstellingen zijn gebaseerd (Rijkswaterstaat, 2015). Het doeljaar komt dan vanzelfsprekend uit op 2035. Het doel van de suppletie kan dus nader gespecificeerd worden tot:

- In 2035 is de foerageerfunctie van de Roggenplaat gelijk of vergelijkbaar met de foerageerfunctie van de Roggenplaat in 2010.

Resteert de definitie van “foerageerfunctie”. Het betreft de foerageerfunctie van 14 vogelsoorten – 13 steltlopers en de bergeend – die foerageren op intergetijdengebieden:

1. Bergeend (*Tadorna tadorna*)
2. Bontbekplevier (*Charadrius hiaticula*)
3. Bonte Strandloper (*Calidris alpina*)
4. Groenpootruiter (*Tringa nebularia*)
5. Kanoet (*Calidris canutus*)
6. Kluut (*Recurvirostra avosetta*)
7. Rosse Grutto (*Limosa lapponica*)
8. Scholekster (*Haematopus ostralegus*)
9. Steenloper (*Arenaria interpres*)
10. Bontbekplevier (*Charadrius alexandrinus*)
11. Tureluur (*Tringa totanus*)
12. Wulp (*Numenius arquata*)
13. Zilverplevier (*Pluvialis squatarola*)
14. Zwarte Ruiter (*Tringa erythropus*)

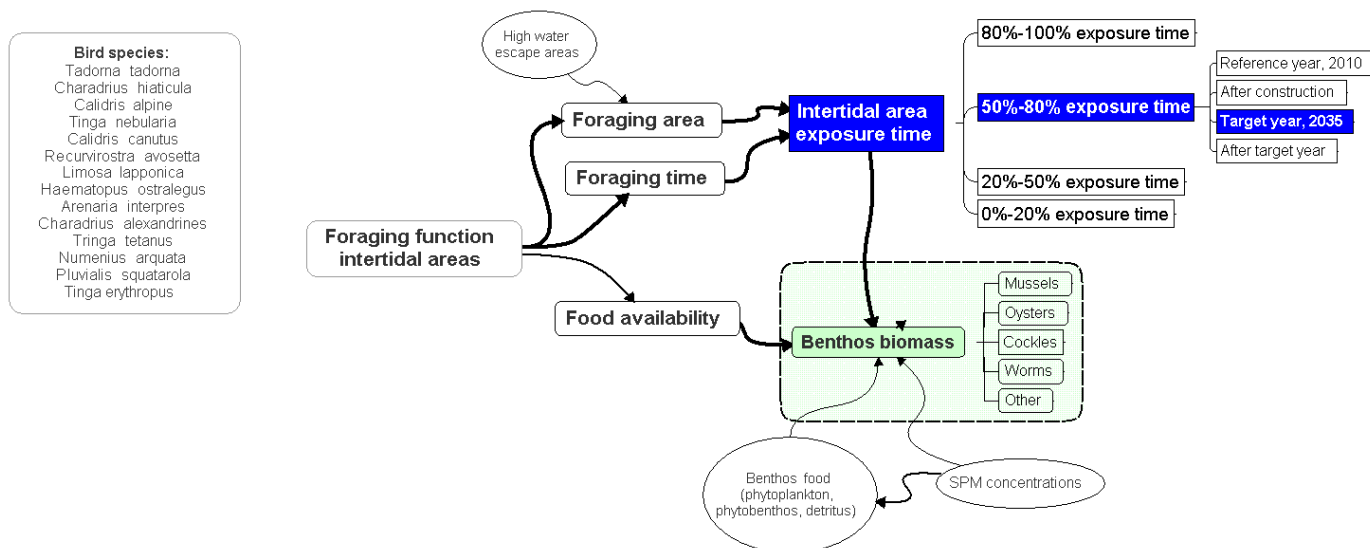
De foerageerfunctie is gedefinieerd als het aantal vogels dat *in potentie*² gebruik maakt van de Roggenplaat en valt uiteen in drie variabelen: 1) het areaal intergetijdengebied, 2) de foerageertijd, ofwel hoeveel tijd per dag de vogels op het intergetijdengebied kunnen foerageren, en 3) de voedselbeschikbaarheid, ofwel de hoeveelheid en kwaliteit van het voedsel waarop de vogels foerageren. Het areaal intergetijdengebied en de foerageertijd kunnen gecombineerd worden tot de indicator **Areaal intergetijdengebied met droogvalduur** of kortweg **Areaal droogvalduur**.

Uit de ANT studie is bekend dat areaal met droogvalduur tussen 40% en 80% van de tijd het belangrijkste is. Voor het afwegingskader is gekozen voor een indeling in klassen 0-20%, 20-50%, 50-80%, en 80-100%. **Het areaal met droogvalduur 50-80% wordt als belangrijkste doelindicator gebruikt.**

Overigens is bekend dat de verschillende vogelsoorten verschillende ‘wensen’ hebben voor de foerageerfunctie. Met deze verschillen wordt in deze fase van het ontwerp van de suppletievarianten geen rekening gehouden.

De voedselkwaliteit wordt niet als doelindicator gebruikt. De belangrijkste reden is dat voedselkwaliteit in belangrijke mate afhangt van de droogvalduur. Andere factoren zijn hydrodynamiek, sedimentsamenstelling en de afwatering of het watergehalte. Beide zijn niet onderscheidend voor de suppletievarianten. Van de factor afwatering is bovendien te weinig bekend om in deze fase mee te kunnen nemen (zie aanbevelingen in §8.2).

Figuur 3.2 visualiseert de doelindicator in samenhang met de relevante afwegingen.



Figuur 3.2 Schematische weergave van de doelindicator “Areaal met 50-80% droogvalduur in 2035”. De blauwe variabelen worden als indicatoren meegenomen in het afwegingskader. De dikte van de pijlen geeft de mate van relevantie van de betreffende relatie aan voor de doelindicator(en). De kleur van de pijlen geeft aan of de relatie bekend (groen), enigszins bekend (zwart) of onbekend (rood) is ten behoeve van besluitvorming.

² Het aantal vogels dat in een gebied voorkomt is naast de lokale foerageerfunctie van vele andere factoren afhankelijk zoals broedsucces, hoogwatervluchtplaatsen, alternatieve foerageerplekken, etc. Omdat deze factoren niet in beschouwing genomen worden, richt de suppletie zich op het behoud van de foerageerfunctie, niet op het behoud van het aantal vogels.

3.3 NATUURLIJK SYSTEEM

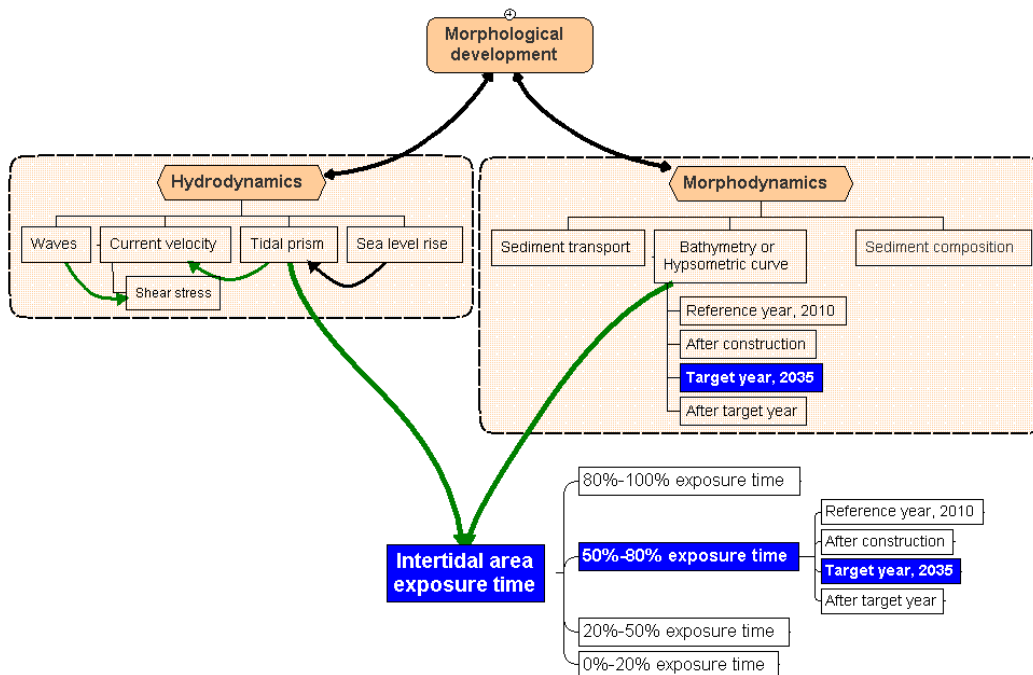
Uitgaande van de doelindicator Areeal droogvalduur zijn de waterbeweging (waterstand en stroming), golven en morfologie de meest relevante processen in het natuurlijk ecosysteem. De hydrodynamica, golven en morfologie van de Roggenplaat zijn beschreven in §2.2. Hoe deze in algemene zin elkaar beïnvloeden, wordt als bekend verondersteld en wordt hier niet verder toegelicht.

Het Areeal droogvalduur wordt bepaald door de bodemligging te combineren met de cumulatieve verdeling van de waterstand (zie bijvoorbeeld Figuur 2.14). Het Areeal droogvalduur in het referentiejaar 2010 wordt uit metingen afgeleid. Vlak na aanleg wordt het Areeal droogvalduur bepaald door het ontwerp te combineren met de meest recente bodemligging (nu is deze afkomstig uit 2013). Beide worden als zeker of (voldoende) nauwkeurig beschouwd. Het Areeal droogvalduur in het doeljaar 2035 wordt eerst op basis van een eenvoudige methode bepaald (zie Hoofdstuk 5) waarna dit met numerieke modelberekeningen nader onderzocht wordt (Hoofdstuk 7).

Het getij is bekend op basis van metingen. Aangenomen wordt dat het getij niet veranderd tussen het referentiejaar en het doeljaar.

Wel moet de zeespiegelstijging meegenomen worden, waarvoor van de KNMI'14-scenario's gebruik wordt gemaakt (<http://www.klimaatsscenario's.nl/kerncijfers/>). Over de referentieperiode 1980-2010 is een zeespiegelstijging van 2,0 mm/jaar bepaald. Voor de gemiddelde verandering voor het klimaat rond 2030 (2016-2045) wordt een zeespiegelstijging van +10 tot +25 cm verwacht. De extra zeespiegelstijging bovenop de referentie (2,0 mm/jaar) is +1 tot +6 mm/jaar. Het is niet bekend of deze waarden ook van toepassing zijn op de Oosterschelde.

Figuur 3.3 visualiseert hoe de natuurlijke hydrodynamische en morfologische processen verbonden zijn met de doelindicator in het afwegingskader.



Figuur 3.3 Schematische weergave van de relatie tussen de doelindicator Areeal droogvalduur en de morfologische ontwikkeling in het natuurlijk systeem. De blauwe variabelen worden als indicatoren meegenomen in het afwegingskader. De dikte van de pijlen geeft de mate van relevantie van de betreffende relatie aan voor de doelindicator(en). De kleur van de pijlen geeft aan of de relatie bekend (groen), enigszins bekend (zwart) of onbekend (rood) is ten behoeve van besluitvorming.

3.4 ONTWERP EN AANLEG VAN SUPPLETIEVARIANTEN

Voor de suppletievarianten wordt onderscheid gemaakt tussen het ontwerp en de wijze van aanleg. De afwegingen voor beide komen in Hoofdstuk 4 en 5 in meer detail langs. In deze paragraaf beperken we ons tot een korte weergave.

Het ontwerp verandert rechtstreeks de bodemligging op het moment van aanleg (gepland in winter 2017/2018). Door het plaatsen van zand op een bepaalde locatie met een bepaalde laagdikte wordt een nieuwe bodemligging gerealiseerd. Daarna zorgen natuurlijke processen voor de morfologische ontwikkeling tot 2035 (en verder). De gewenste bodemligging in het doeljaar 2035 is het uitgangspunt voor het ontwerp. Keuzes zijn te maken in de locatie en de vorm.

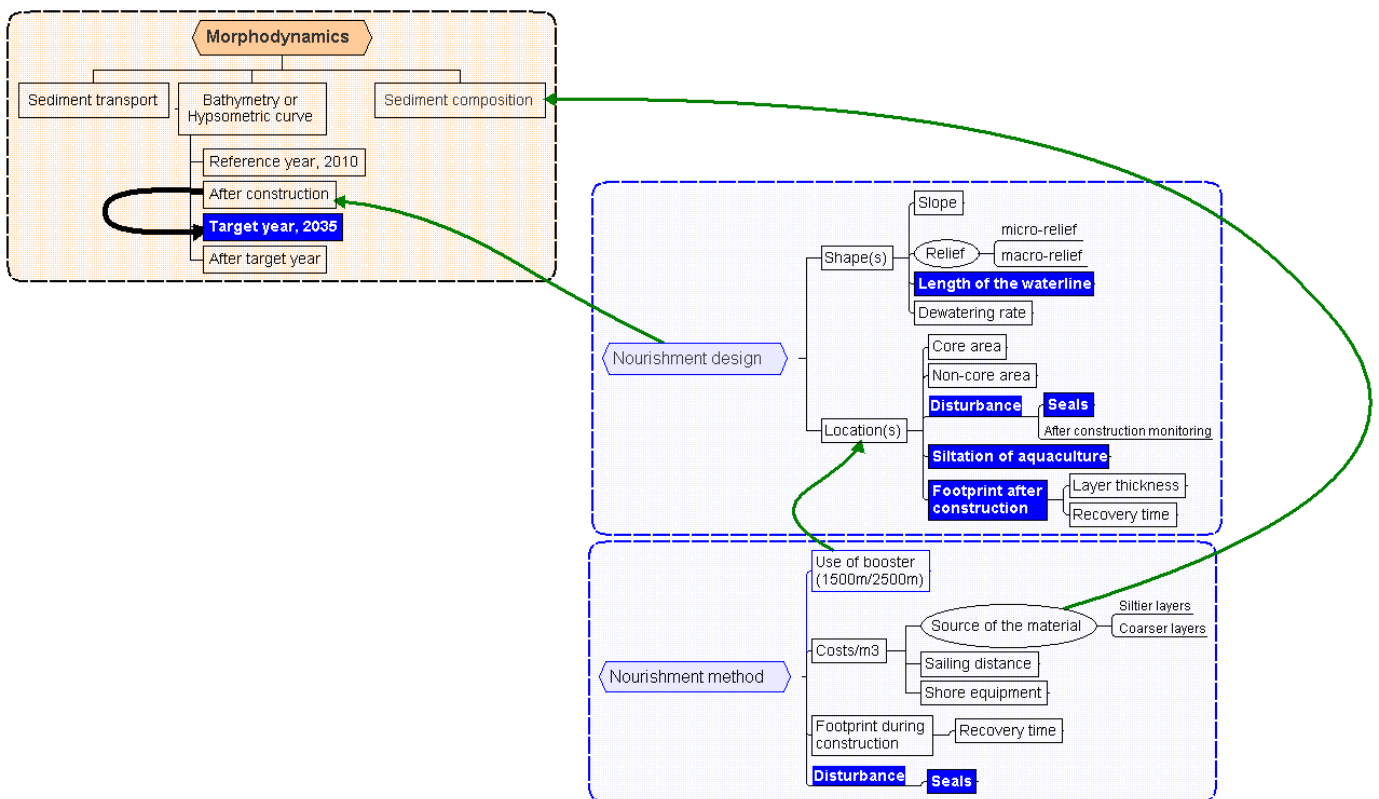
De locatie hangt af van randvoorwaarden, waaronder de verstoring van zeehonden en de aanzanding van mosselpercelen, en van mogelijkheden en beperkingen van de wijze van aanleg, waaronder de bereikbare aanlegpunten van de Roggenplaat en de afstand van aanlegpunten tot de suppletielocatie met of zonder het gebruik van boosters. Deze randvoorwaarden worden verwerkt tot geschiktheidskaarten in Hoofdstuk 4.

Naast het Areaal droogvalduur levert het ontwerp twee indicatoren:

- De Voetafdruk (Footprint, in ha) van de suppletie, ofwel het areaal waar het aanwezige bodemleven bij aanleg volledig verdwijnt door bedekking met een laag sediment.
 - Dit directe, negatieve effect van de suppletie is tijdelijk, totdat rekolonisatie is opgetreden. Hoe rekolonisatie eventueel versneld kan worden, wordt beschreven in Bijlage D.
- De Lengte van de waterlijn (in km) van de suppletie³.
 - Sommige vogelsoorten foerageren door de waterlijn te volgen bij afgaand en opkomend tij. Hoewel er geen kwantitatieve relatie bekend is tussen het aantal vogels en de lengte van de waterlijn, wordt op basis van deskundigenoordeel aangenomen dat een langere waterlijn beter is. Vanwege de onzekerheid van de relatie, wordt geen groot gewicht aan deze indicator toegekend.

Figuur 3.4 visualiseert samenvattend hoe het ontwerp en de wijze van aanleg van de suppletie verbonden zijn via de natuurlijke processen op de doelindicator in het afwegingskader.

³ De lengte van de waterlijn is niet eenduidig gedefinieerd. Deze hangt af van de ruimtelijke resolutie van de bodemdata en het (gekozen) waterstandsniveau.



Figuur 3.4 Schematische weergave van de relatie tussen het ontwerp en de wijze van aanleg van de suppletie en de morfologie. De blauwe variabelen worden als indicatoren meegenomen in het afwegingskader. De dikte van de pijlen geeft de mate van relevantie van de betreffende relatie aan voor de doelindicator(en). De kleur van de pijlen geeft aan of de relatie bekend (groen), enigszins bekend (zwart) of onbekend (rood) is ten behoeve van besluitvorming.

3.5 NEVENEFFECTEN

Zoals aangegeven in §3.1 kunnen neveneffecten zowel positief als negatief zijn. Met voorziene negatieve neveneffecten wordt al in het ontwerp en in de wijze van aanleg rekening gehouden. Zo worden locaties waar verstoring van zeehonden en aanzanding van aquacultuur zou kunnen optreden, vermeden waardoor de negatieve neveneffecten voorkomen worden. Dit wordt in de geschiktheidskaarten in Hoofdstuk 4 onderbouwd en uitgewerkt.

Als positieve neveneffecten zijn broedplaatsen voor kustbroedvogels en hoogwatervluchtplaatsen genoemd. Afsproken is dat in ieder geval in deze fase geen rekening wordt gehouden met deze wensen. Er wordt geen indicator in het afwegingskader opgenomen.

3.6 RESULTEREND AFWEGINGSKADER

Het resulterende afwegingskader is weergegeven in Tabel 3.1. Het afwegingskader bestaat uit drie onderdelen:

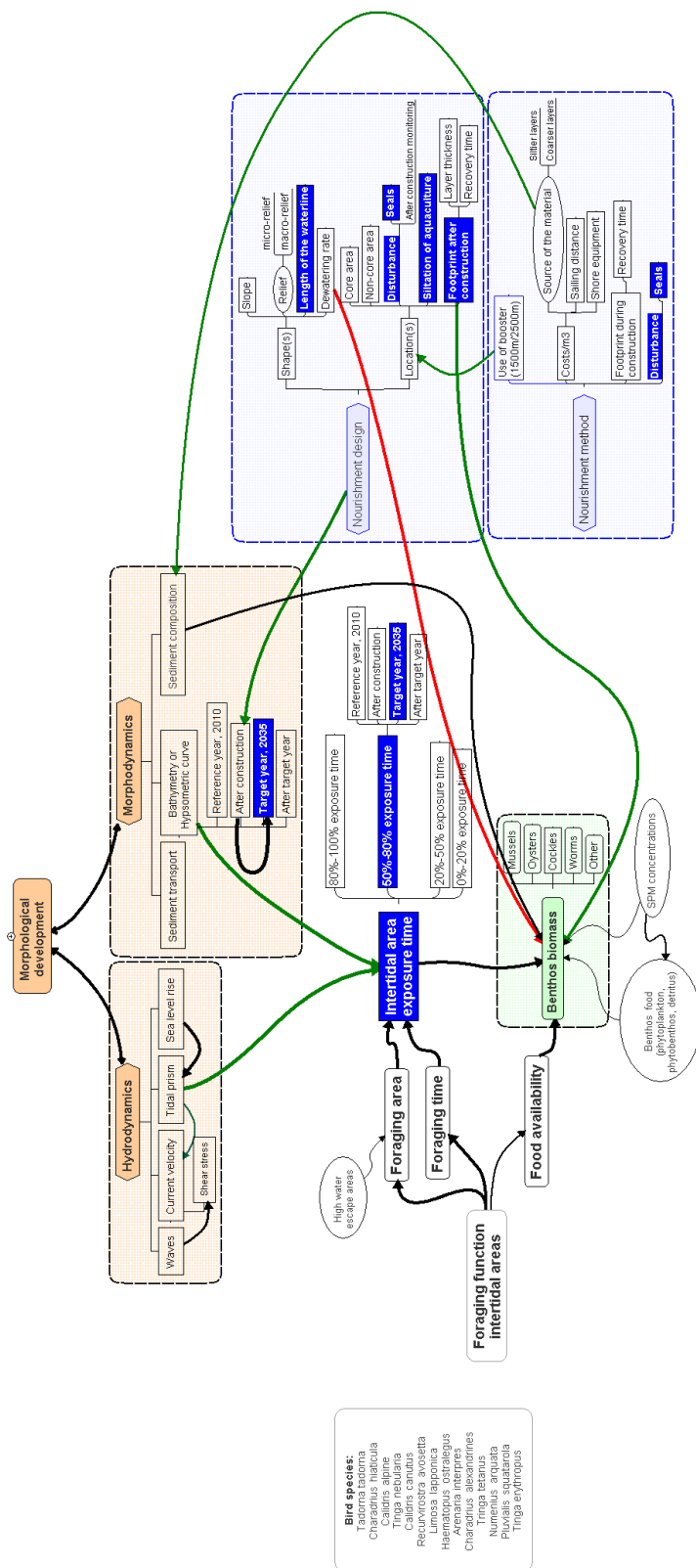
1. Indicatoren gerelateerd aan het doel "In 2035 is de foerageerfunctie van de Roggenplaat gelijk of vergelijkbaar met de foerageerfunctie van de Roggenplaat in 2010"
2. Indicatoren gerelateerd aan (positieve en negatieve) neveneffecten
3. Deskundigenoordeel en -overwegingen die niet in kwantitatieve indicatoren zijn opgenomen, maar wel van belang zijn voor de selectie. Deze komen in Hoofdstuk 7 aan de orde en worden kernachtig toegevoegd aan het afwegingskader.

Tabel 3.1 Afwegingskader suppletievarianten Roggenplaat.

Type 1 indicatoren: Onderscheidend per variant				
Areaal droogvalduur (ha)	0-20%	20-50%	50-80%	80-100%
Referentiejaar (2010) (meting)				
Vlak voor aanleg (meting)				
Na aanleg (ontwerp)				
Doeljaar (2035) (voorspelling)				
Lengte van de waterlijn (km)				
Type 2 indicatoren: Neveneffecten				
Footprint na aanleg	Kwantitatief (ha)			
	Kwalitatief	Afweging met huidige biomassa en/of rekolonisatietijd		
Effect aquacultuur	> 400 m afstand			
Effect verstoring zeehonden	> 600 m afstand			
Deskundigenoordeel en -overwegingen				
Oordeel t.a.v. morfologie				
Oordeel t.a.v. ecologie				
Oordeel t.a.v. wijze van aanleg				

In het afwegingskader (Tabel 3.1) worden naast het Areaal droogvalduur 50-80% ook de andere arealen droogvalduur opgenomen, omdat daarmee inzicht gegeven wordt in de verschuiving van arealen na aanleg in het doeljaar. Immers door realisatie van Areaal droogvalduur 50-80% verdwijnt (deels) een andere droogvalduurklasse. In het ecologisch deskundigenoordeel kan het effect van deze verschuiving meegenomen worden.

In Figuur 3.5 staat het afwegingskader gevisualiseerd. De indicatoren zijn zichtbaar in blauwe vierkanten. Met pijlen worden belangrijke relaties aangemerkt. De dikte van de pijl geeft de mate van belang aan van de relatie voor de doelindicator. Een dikke pijl geeft een dominante relatie aan; een dunne pijl geeft een relatie aan die voor de doelindicator niet doorslaggevend is. De kleurcodering rood/zwart/groen geeft aan of de relatie respectievelijk onbekend/enigszins bekend/voldoende bekend is. De combinatie van dikte en kleurcodering geeft aan of de totale afweging gebaseerd op (voldoende) beschikbare kennis. Dikke rode pijlen zijn een indicatie van belangrijke kennisleemtes.



Figuur 3.5 Visualisatie van het afwegingskader. De blauwe variabelen worden als indicatoren meegenomen in het afwegingskader. De dikte van de pijlen geeft de mate van relevantie van de betreffende relatie aan voor de doelindicator(en). De kleur van de pijlen geeft aan of de relatie bekend (groen), enigszins bekend (zwart) of onbekend (rood) is ten behoeve van besluitvorming.

4 GESCHIKTHEIDSKAARTEN

4.1 INLEIDING

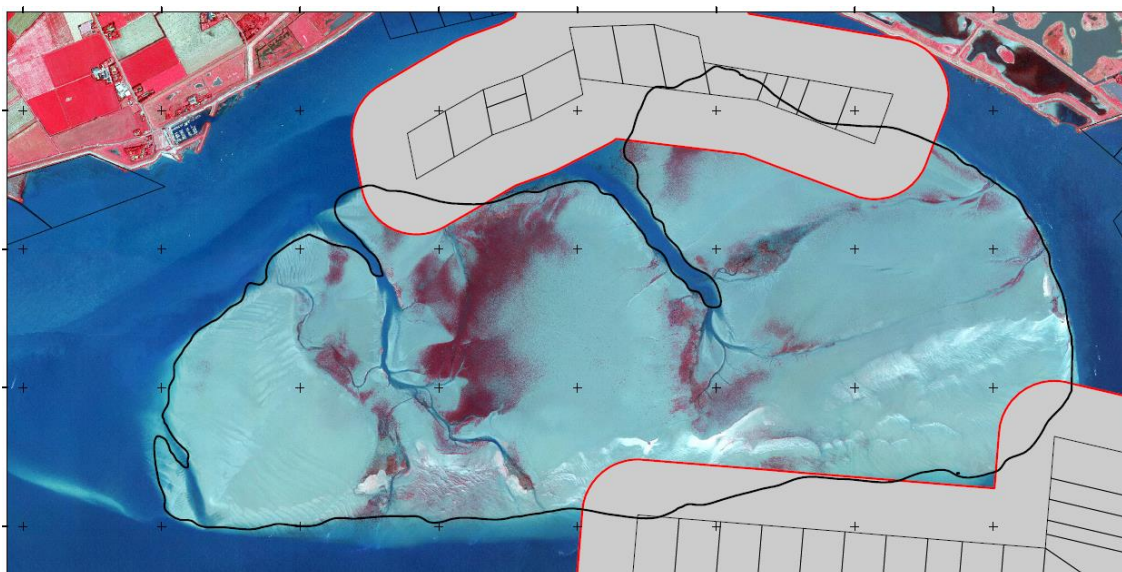
Niet het volledige oppervlak van de Roggenplaat is geschikt om te suppleren. Daar zijn verschillende redenen voor, zowel economisch, ecologisch, morfologisch als technisch van aard. Er zijn gebieden die afvallen om te voorkomen dat het suppletiezand nabijgelegen mosselpercelen verstoort, met economische schade aan de schelpdiersector tot gevolg. Ecologische verstoring kan voorkomen worden door rekening te houden met de rustplaatsen van zeehonden en de ligging van oesterbanken. Daarnaast zijn er gebieden aan te wijzen waar het de verwachting is dat het zand door golven en getij snel zal verdwijnen, zodat de levensduur van de zandsuppletie verkort wordt. Als laatste zijn er uitvoeringstechnische aspecten die beperkend kunnen zijn, of leiden tot een kostenverhoging waardoor minder zand beschikbaar is voor de suppletie. De draagkracht van de bodem is niet als criterium meegenomen. Dit op basis van geotechnisch onderzoek waaruit is gebleken dat de ruimtelijke variatie in de draagkracht beperkt is op de suppletielocaties. De berekende zetting van een vijftiental punten ligt steeds binnen de 2-5 cm bij een last van 1 m zand (Geotron, 2016).

Van de hierboven vermelde aspecten zijn criteria opgesteld die in kaartvorm aangeven of er wél of niét gesuppleerd kan worden op een bepaald deel van de Roggenplaat. Een combinatie van al deze kaarten leidt tot een geschiktheidskaart die het gebied aangeeft waar suppleren mogelijk is, met in achtneming van het gebruik (economisch en ecologisch), technische haalbaarheid en optimale levensduur van de suppletie. Het opstellen van deze kaart beperkt de ontwerpvrijheid van de suppleties, maar voorkomt de realisatie van onhaalbare ontwerpen. Hieronder worden de verschillende criteria besproken.

4.2 ECONOMISCH BELANG

4.2.1 MOSSELPERCELEN (CRITERIUM 1)

Rond de Roggenplaat zijn verschillende mosselpercelen in gebruik door de schelpdiersector (Figuur 4.1). Om de eventuele invloed van de suppletie (extra sedimentlast op de percelen) te voorkomen of te beperken is een bufferzone van 400 m vastgesteld rond de percelen.



Figuur 4.1 Mosselpercelen (grijze vakken) en een zone van 400 meter rond de percelen (rode lijnen); binnen deze grens wordt niet gesuppleerd. De laagwaterlijn is weergegeven in zwart.

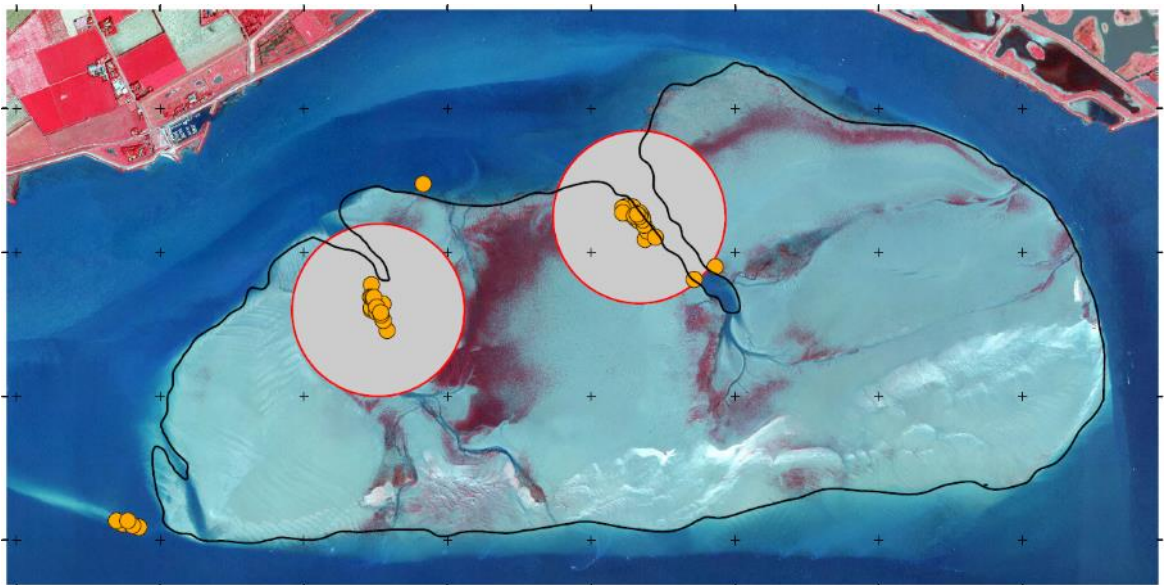
Deze afstand is bepaald aan de hand van een schatting van het netto zandtransport (order 1-10 m/jaar; zie Van der Werf et al., 2016 en paragraaf 7.1.3) en de wens dat in de periode 20 jaar na de aanleg (2035) enkel een beperkte hoeveelheid zand de percelen kan bereiken. Deze buffer van 200 m (10 m/jaar * 20 jaar) is verdubbeld om extra zekerheid in te bouwen. Deze bufferzone van 400 m geldt ook tijdens de aanleg, dus baggerschepen blijven op minimaal 400 m afstand van de percelen.

4.3 ECOLOGISCH BELANG

4.3.1 ZEEHONDEN (CRITERIUM 2)

De Roggenplaat vervult een belangrijke functie voor zeehonden (gewone zeehond en grijze zeehond). Op de randen van de plaat, langs de twee drainagegeulen komen vaak zeehonden rusten en worden jongen geworpen. In het onderstaande figuur zijn de locaties aangegeven waar de zeehonden zijn waargenomen (Arts et al., 2015). Vanuit de NB-wet (1998) geldt de regel dat de zeehonden tot 1200 m benaderd mogen worden en in de periode 1 juni t/m 31 augustus mag de Roggenplaat in zijn geheel niet betreden worden. De voorschriften uit de NB-wet maken het effectief suppleren van de Roggenplaat moeilijk.

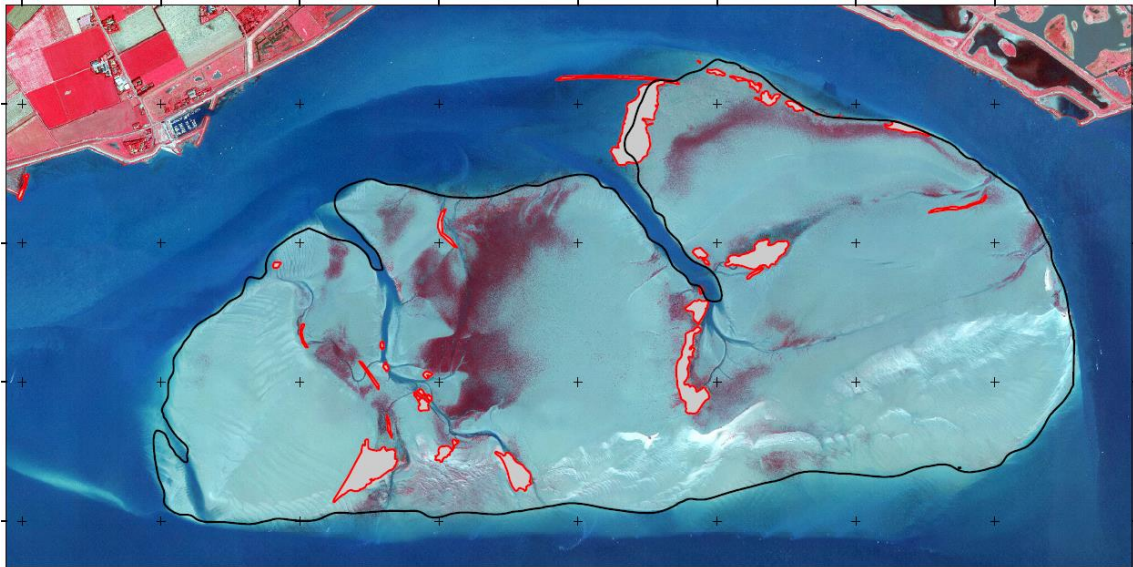
In de periode april t/m mei 2016 is door Rijkswaterstaat en de HZ een studie uitgevoerd naar het verstoringsgedrag van zeehonden op de Roggenplaat (Dekker, 2016). Hieruit is naar voren gekomen dat de zeehonden op de twee centrale rustplaatsen op de Roggenplaat (Figuur 4.2) op een afstand van 670-770 m de kop opsteken, wat wordt gezien als de eerste vorm van verstoring. De zeehonden gaan zich verplaatsen bij afstanden van 370-430 m. De verstoring bestond in deze studie uit een groep (2-4) personen. Op basis van deze studie en een deskundigenoordeel gebaseerd op veldwaarnemingen (Edwin Patee, RWS-CIV/HZ) is een afstand van 600 m gehanteerd rond het zwaartepunt van de populatie op de Roggenplaat (Figuur 4.2); deze gebieden moeten tijdens de uitvoering worden gemeden.



Figuur 4.2 Zone van 600 m rond het zwaartepunt van de zeehondenpopulatie aangegeven door oranje punten (Arts et al., 2015). Binnen de cirkel wordt niet gesuppleerd. De laagwaterlijn is weergegeven in zwart.

4.3.2 NATUURLIJKE OESTERRIFFEN (CRITERIUM 3)

Op de Roggenplaat is een aantal natuurlijke Japanse oesterriffen aanwezig, langs de geulen en in het noorden langs de plaatrand (Figuur 4.3). Deze riffen zijn vitaal en kenmerken zich door een grote soortenrijkdom (zie paragraaf 2.3.2). Gezien deze ecologische waarde en het vermogen van oesterriffen om het onderliggende sediment te beschermen tegen erosie (zie ook Van der Werf et al., 2016), is het onwenselijk om bovenop de bestaande riffen te suppleren. De gebieden met natuurlijk riffen zijn om die reden uitgesloten.



Figuur 4.3 Gebieden met natuurlijke oesterriffen, op de riffen wordt niet gesuppleerd. De laagwaterlijn is weergegeven in zwart.

4.3.3 ANDERE ECOLOGISCHE AFWEGINGEN

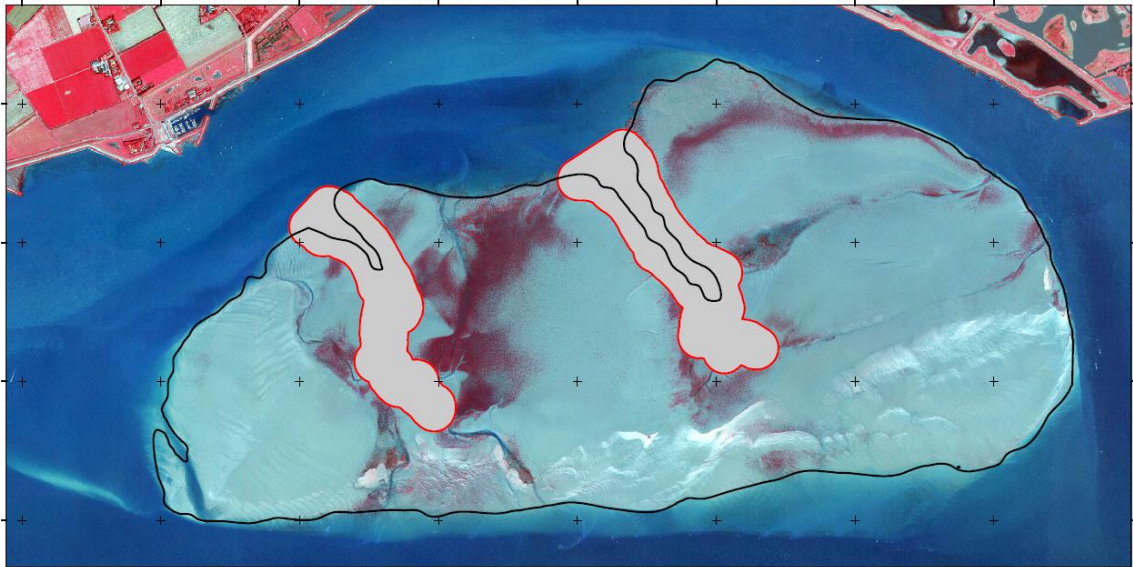
Op de Roggenplaat komt veel bodemleven voor, sommige gebieden zijn rijker dan andere (zie paragraaf 2.3.2). Het bodemleven is niet opgenomen als criterium in de geschiktheidskaart omdat grote delen van de Roggenplaat bestempeld kunnen worden als 'rijk bodemleven' en dit beperkt de ontwerpvrijheid te zeer.

Vogels maken veel gebruik van de Roggenplaat (zie paragraaf 2.3.3). De verspreiding is zo groot dat dit niet mee wordt genomen in de geschiktheidskaart. De aanwezigheid van vogels kan wel worden meegenomen tijdens de uitvoering opdat de foerageermogelijkheden behouden blijven. Als gesuppleerd wordt in gebied 'a' kan het zinvol zijn om gebied 'b' beschikbaar te houden voor foeragerende vogels.

4.4 MORFODYNAMIEK

4.4.1 AFWATERINGSGEULEN (CRITERIUM 4)

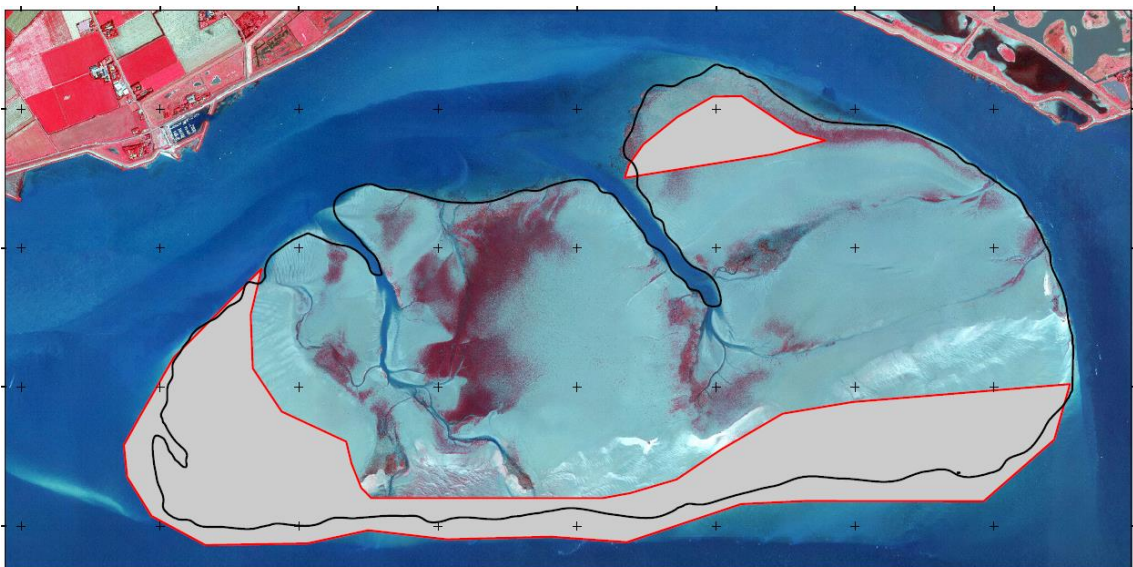
De Roggenplaat kent twee grote afwateringsgeulen. Deze geulen zorgen voor de aan- en afvoer van het water tijdens opkomend- en afgaand water. Het lijkt niet verstandig om suppletiezand dicht bij deze geulen te leggen, omdat er dan een risico ontstaat voor een ongewenste morfologische ontwikkeling, een versnelde erosie van suppletiezand in het bijzonder. Om die reden is om de twee hoofdgeulen een zone gereserveerd van 150 m uit de laagwaterlijn, waar niet gesuppleerd kan worden (Figuur 4.4). Er kan wel gesuppleerd worden bij kleinere geultjes, omdat dit naar verwachting alleen leidt tot een lokale aanpassing in het drainagepatroon.



Figuur 4.4 Afwateringsgeulen met een zone van 150 m (in rood) vanaf de laagwaterlijn (in zwart), gereserveerd voor de drainage van de Roggenplaat en ongeschikt voor het suppleren van zand.

4.4.2 EROSIEVE GEBIEDEN (CRITERIUM 5)

Om te voldoen aan het behoud van de 50% droogvalduur klasse over een periode van 25 jaar, is het belangrijk dat het gesuppleerde zand zolang mogelijk op de Roggenplaat blijft liggen. Suppleren in de zones met de hoogste erosiewaarden ligt om die reden niet voor de hand. Deze zone ligt vooral aan de zuidrand van de Roggenplaat (De Ronde et al., 2013). Deze gebieden met een erosiewaarde 14-24 mm/jaar in de periode 1990-2010 (De Ronde et al., 2013) worden uitgesloten als suppletielocatie (Figuur 4.5).

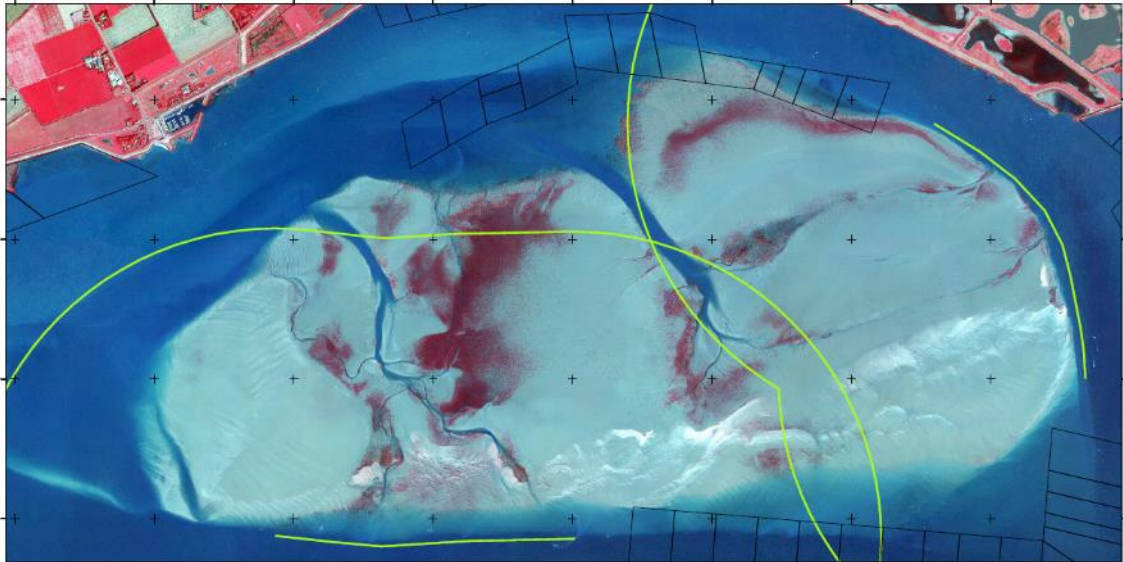


Figuur 4.5 Sterk erosieve gebieden langs de rand van de Roggenplaat worden uitgesloten als suppletielocatie. De laagwaterlijn is weergegeven in zwart.

4.5 UITVOERING

De zones waar een baggerschip kan koppelen aan een drijvende leiding zijn weergegeven in Figuur 4.6. Er zijn twee zones beschikbaar, één aan het oosten van de Roggenplaat en één aan de zuidkant. De

noordkant van de Roggenplaat is niet beschikbaar voor baggerschepen, vanwege de mosselpercelen. De koppel-locaties houden rekening met de 400 m bufferzone rond de aanwezige mosselpercelen (Figuur 4.1).



Figuur 4.6 Mogelijke aanlegzones baggerschepen aan de zuid- en oostkant van de Roggenplaat en de maximale persafstanden (2000 m zonder opjaagstation). De ligging van de mosselpercelen is aangegeven met de zwarte lijnen.

Vanuit de koppel-locaties zal het suppletiezand met persleidingen het te suppleren gebied bereiken. Om het zand door de leidingen te persen is veel druk en water nodig. De afstand waarover het zand door de leidingen kan worden geperst, wordt de persafstand genoemd. De persafstand is afhankelijk van het te gebruiken baggermaterieel.

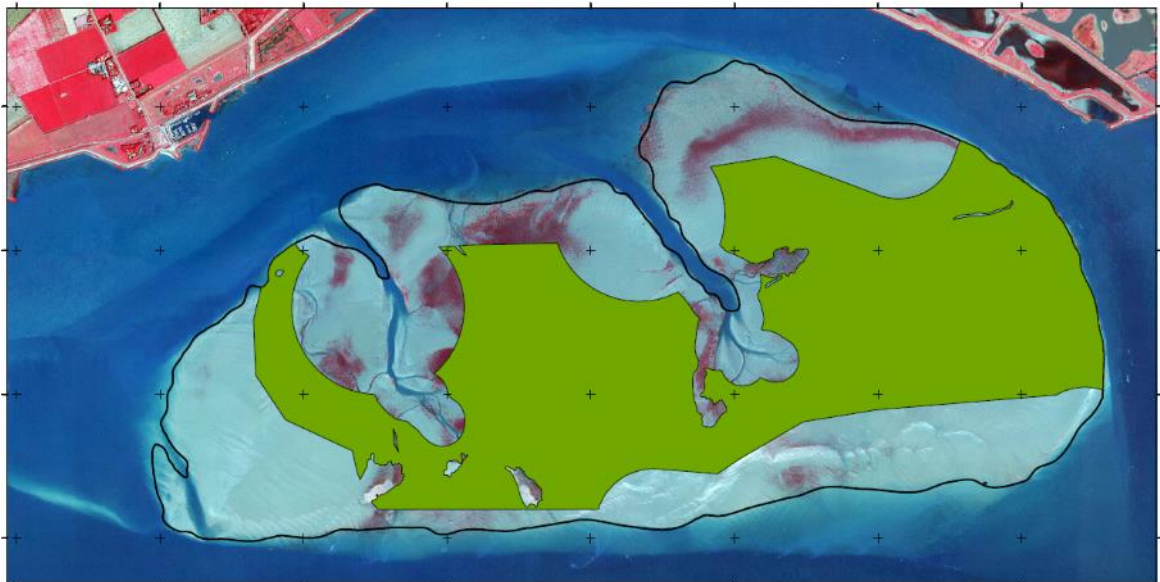
Uit een eerste inschatting is gebleken dat voor een baggerschip dat gebruikt gaat worden voor het suppleren van de Roggenplaat een persafstand van ca. 2200 m haalbaar is (Van der Werf et al., 2016). Met een inzet van een opjaagstation (*booster*) kan een grotere afstand bereikt worden. De extra kosten van een pompstation bedragen ca. 25%, die deels gecompenseerd worden door een hogere productie. Zonder opjaagstation kan bijna de gehele Roggenplaat bereikt worden en daarom houden we de 2200 m persafstand aan vanaf de zones waar gekoppeld kan worden (Figuur 4.6)..

4.6 SYNTHESE

Tabel 4.1 geeft een overzicht van de bovenstaande criteria. Wanneer alle criteria over elkaar heen worden gelegd ontstaat de geschiktheidskaart (Figuur 4.7).

Tabel 4.1 Criteria ten aanzien van suppletie locaties op de Roggenplaat.

Criterium	Uitsluitgebied
1. Mosselpercelen	Huidige ligging mosselpercelen + 400 m
2. Zeehonden	Zwaartepunt populatie + 600 m
3. Natuurlijke oesterriffen	Huidige ligging natuurlijke oesterriffen
4. Afwateringsgeulen	Laagwaterlijn twee dominant afwateringsgeulen + 150 m
5. Erosieve gebieden	Gebieden met een erosie sterker dan 1 cm/jaar
6. Suppletiebereik	>2200 m aanlegpunt (zonder opjaagstation)



Figuur 4.7 Geschiktheidskaart Roggenplaat; gebieden waar suppleren mogelijk is.

5 SUPPLETIEONTWERPEN

5.1 VOORKEURSVARIANT

In Van der Werf et al. (2016) zijn drie suppletievarianten uitgewerkt:

1. Zandrug. Het zand wordt in twee zones neergelegd zodat het 50-80% DVD areaal direct toeneemt. De aanleghoogte is NAP+0,55 m, het suppletieoppervlakte is 216 ha en de suppletieomtrek is 11,5 km.
2. Zandreliëf. Ook bij deze variant wordt het zand direct op de goede plek gelegd, maar dan op 10 verschillende locaties: aanleghoogte is NAP+0,48 m, oppervlakte 237 ha en omtrek 18,3 km.
3. Zandbron. Het betreft twee hoge suppleties: aanleghoogte is NAP+1,70 m, oppervlakte 90 ha en omtrek 4,1 km.

De zandreliëfvariant is door Van der Werf et al. (2016) als voorkeursvariant gekozen vanwege de volgende overwegingen:

- De zandbronvariant voldoet waarschijnlijk niet aan het 50-80% DVD criterium, omdat het zand te hoog wordt aangelegd en te weinig verspreidt waardoor er te weinig areaalwinst is. Deze variant is daarom afgefallen.
- De zandrug- en zandreliëf suppletievariant verschillen licht op de onderdelen morfologie, ecologie en uitvoering. De zandreliëfvariant heeft een lichte voorkeur vanwege de langere suppletieomtrek die naar verwachting bevorderlijk is voor het ecologische herstel en de natuurlijke morfodynamiek.

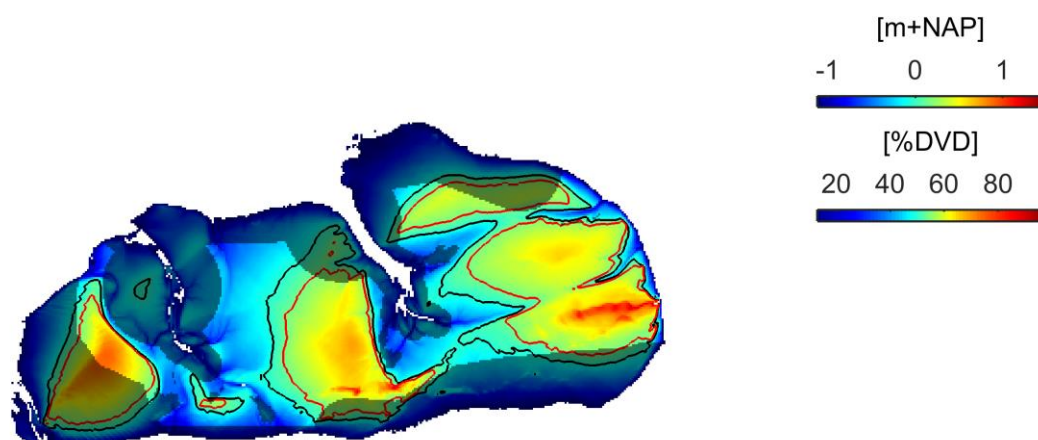
5.2 SUPPLETIEONTWERPEN

De voorkeursvariant is besproken tijdens een expertworkshop op 5 juli 2016. Hierna zijn er suppletieontwerpen uitgewerkt.

De ontwerpen gaan uit van een in-situ volume van 1,3 miljoen m³. De suppleties hebben een ruimtelijk-uniform aanleghoogte en een vaste helling van de suppletie-rand van 1:50. Voor de uitwerking zullen er voor de hoogte en hellingen bandbreedtes worden gegeven, zie paragraaf 7.3.

Het belangrijkste doel van de Roggenplaatsuppletie is om in 2035 evenveel areaal met 50-80% DVD te hebben als in het referentiejaar 2010. Dit areaal neemt af door zeespiegelstijging (ZSS) en erosie. Het effect van een veranderend getij nemen we niet mee in deze beschouwing. In onderstaande analyse gaan we uit van het ZSS scenario van 4 mm/jaar. Dit is gebaseerd op KNMI scenario's die uitgaan van een extra ZSS tussen de 1 en 6 mm/jaar ten opzichte van een referentie ZSS van 2 mm/jaar (KNMI, 2015). De verticale erosie op het midden van de Roggenplaat in de periode 1990-2010 was 5 mm/jaar (De Ronde et al., 2013). Beide getallen zijn waarschijnlijk aan de hoge kant. De huidige ZSS is lager en de morfologische ontwikkeling lijkt de laatste jaren langzamer te verlopen (Figuur 2.13). Daarnaast zal de suppletie de erosie beïnvloeden; het is vooraf moeilijk in te schatten hoe dit effect zal zijn. De startbodem van de uitwerking van de suppletie is 2013; de meest recente bodemopname. De verwachte gemiddelde relatieve plaatdaling tussen 2013 en 2035 is dan $22 \text{ jaar} \times (0,5 \text{ cm/jaar} + 0,4 \text{ cm/jaar}) = \sim 20 \text{ cm}$.

Figuur 5.1 toont de Roggenplaat met geschiktheidskaart. Hierin staat ook de bodemligging weergegeven met een DVD van 50% (zwart), en dit niveau + 0,2 m (rood). Het gebied hiertussen is het 50% DVD areaal (~225 ha) dat mogelijke verloren is in 2035, als niet gesuppleerd wordt. Uitgaande van een verticale erosie van 0,2 m heeft suppleren op gebieden hoger dan dit niveau geen meerwaarde voor het 50-80% DVD areaal in de periode tot 2035. Alle suppletieontwerpen gaan daarom uit van locaties waarbij de bodem momenteel lager ligt dan de DVD 50% + 0,2 m (NAP +0,16 m).



Figuur 5.1 2013 bodemligging Roggenplaat met DVD 50% (zwarte) en DVD 50% + 0,2 m (rood) contourlijn, en met geschiktheidskaart.

De vier suppletieontwerpen zijn (zie ook Tabel 5.1 en Figuur 5.2 tot en met Figuur 5.5):

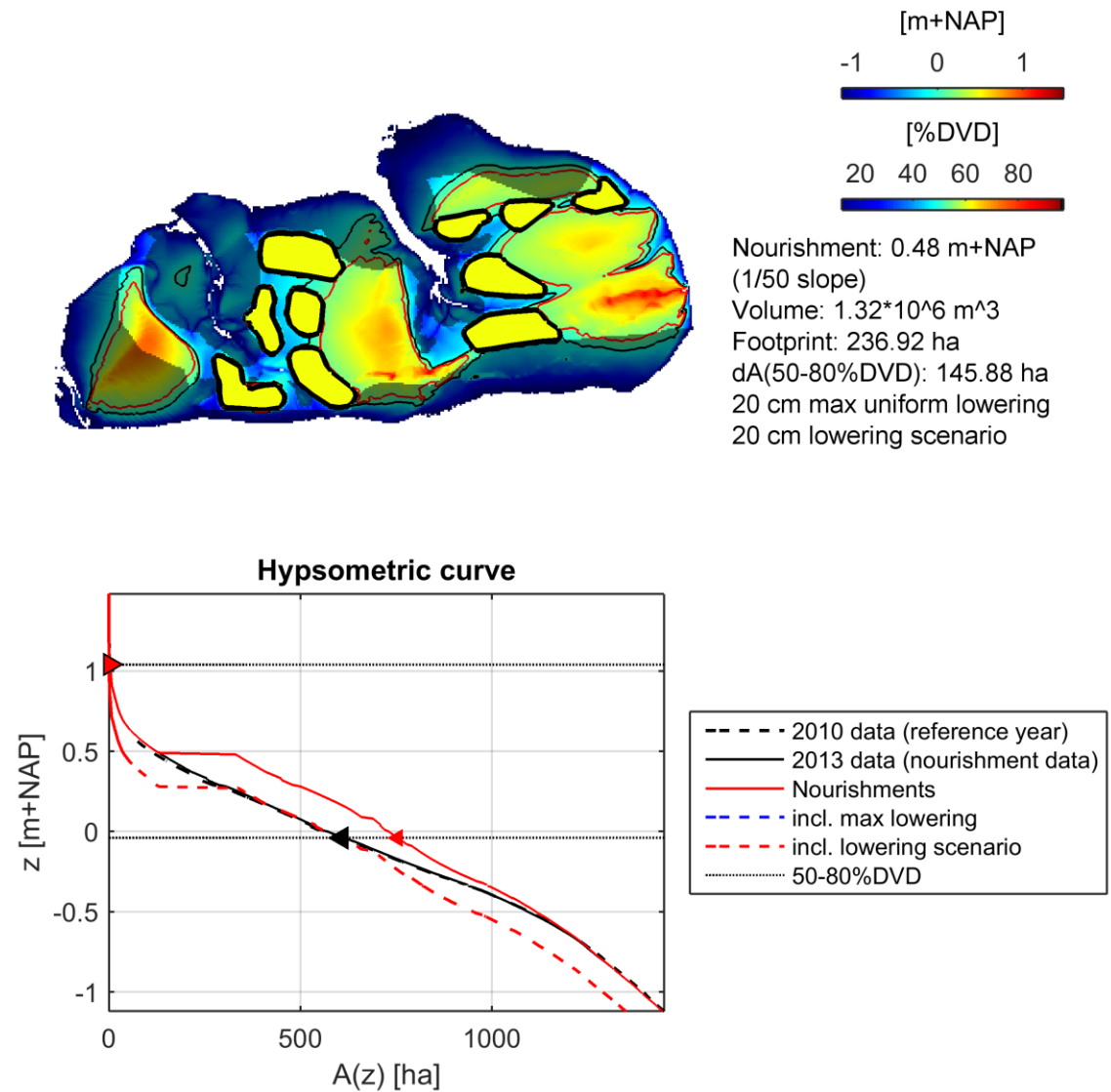
1. De voorkeursvariant (Ontwerp A).
2. Ontwerp B. Ten opzichte van de voorkeursvariant is het aantal suppleties verminderd van 10 naar 6, wat waarschijnlijk lagere aanlegkosten betekent. De vorm van de westelijke suppleties beoogt een langere weg voor het sediment richting de afwateringsgeul te creëren, om erosie te vertragen. De holle vorm van suppletie direct ten westen van het hoge gedeelte is bedoeld om het water langer vast te houden, wat ecologisch en morfologisch gunstig zou kunnen zijn. De meest noordoostelijke gelegen suppletie is meer naar het westen geplaatst om eventuele negatieve beïnvloeding van de mosselpercelen te voorkomen.
3. Ontwerp C. Deze heeft dezelfde geometrie als Ontwerp B. De noordelijke 3 suppleties liggen lager dan in Ontwerp B, en de zuidelijke 3 hoger. Deze diversiteit in hoogte zal met name ecologisch meerwaarde kunnen bieden.
4. Ontwerp D: als Ontwerp C, maar dan is het verschil in hoogte tussen de noordelijke en zuidelijke suppleties nog groter.

Tabel 5.1 Kenmerken suppletieontwerpen.

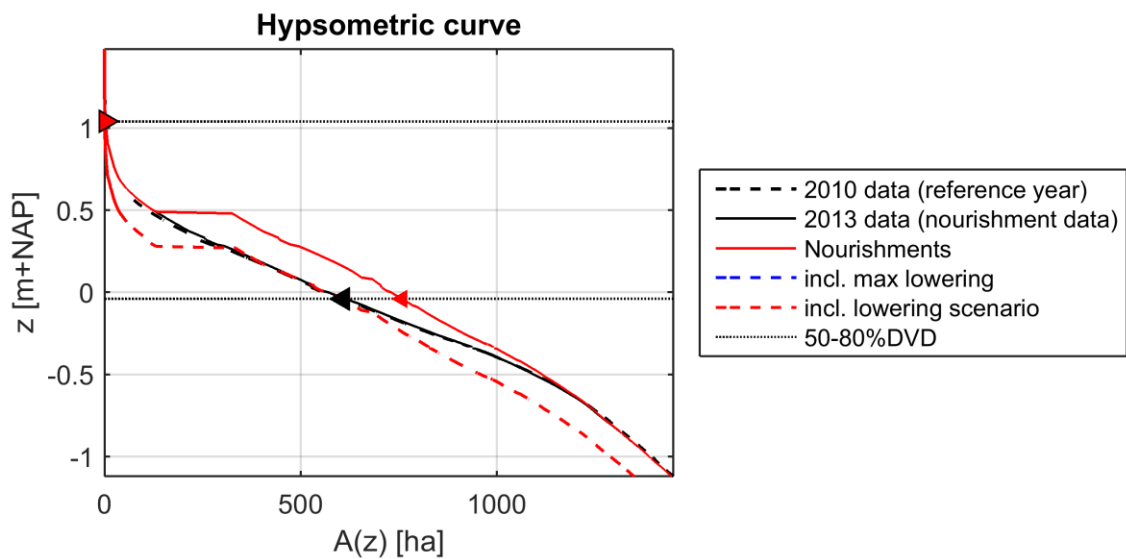
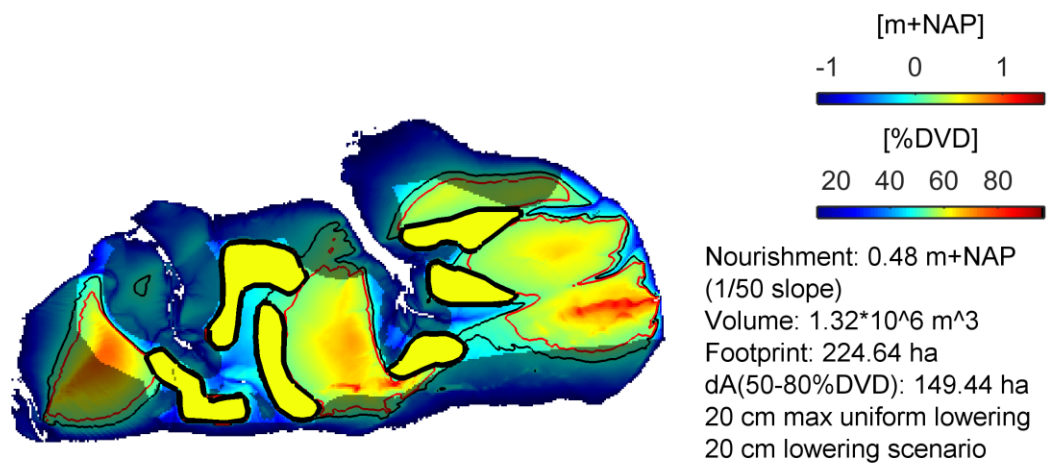
Ontwerp	V_{suppl} (miljoen m^3)	$z_{b,suppl}$ (m NAP)	A_{suppl} (ha)	#suppleties	Omtrek (km)
A (voorkeursvariant)	1,3	+0,48	237	10	18,3
B	1,3	+0,48	225	6	16,5
C	1,3	+0,30 +0,67	231	6	16,5
D	1,3	+0,20 +0,77	232	6	16,5

Figuur 5.2 tot en met Figuur 5.5 tonen de suppletieontwerpen. *Footprint* is het gesuppleerde oppervlakte en $dA(50-80\%DVD)$ de initiële winst 50-80% DVD areaal ten opzichte van het doeljaar 2010. Deze is minder dan de footprint, omdat een deel van het suppletiezand wordt gelegd op een gebied dat al hoger dan het 50% DVD niveau ligt. *Max uniform lowering* is een parameter die aangeeft na hoeveel uniforme, relatieve plaatverlaging er niet meer wordt voldaan aan het criterium dat het areaal 50-80% DVD groter of gelijk is aan de situatie in 2010. *Lowering scenario* is de verwachte verticale erosie tussen 2013 en 2035. Het onderste deel van deze figuur toont de hypsometrische curves voor 2010 (referentiejaar), 2013 (meest recente bodem, zeer vergelijkbaar met 2010) en voor de 2013 bodem + suppletieontwerp initieel (*Nourishments*) en inclusief verlagingsscenario's.

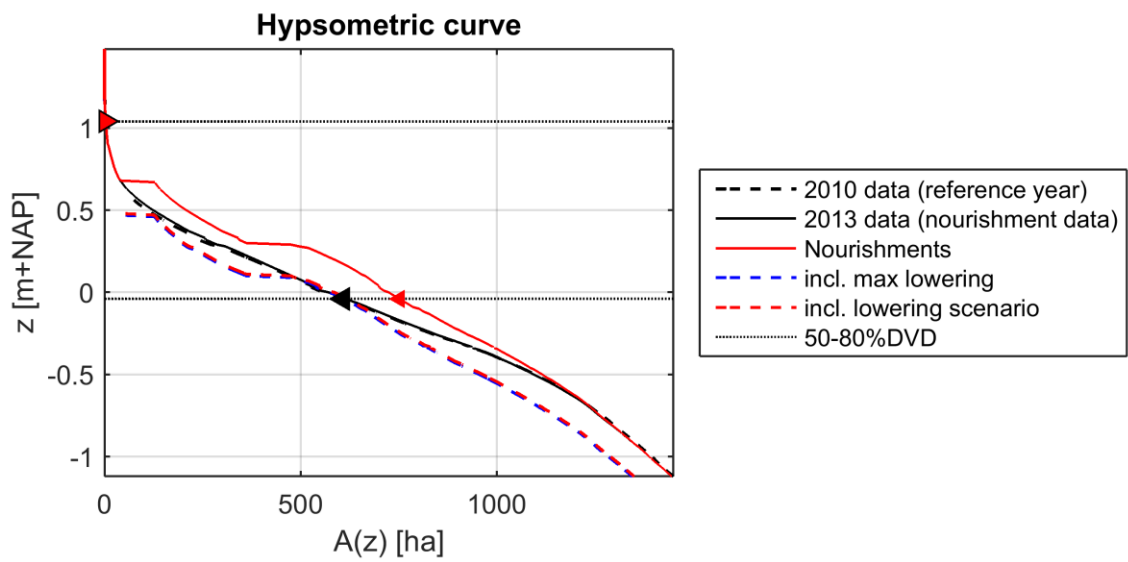
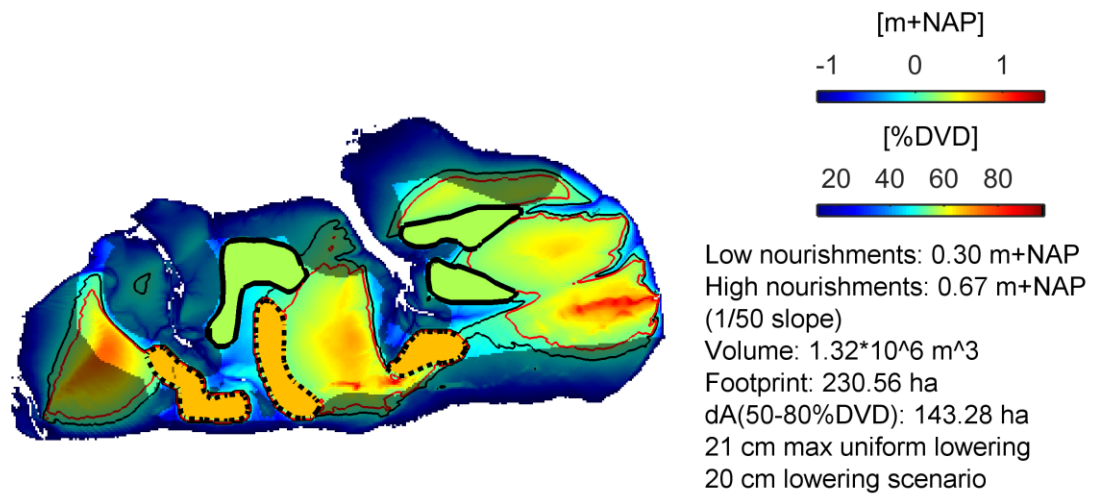
Alle ontwerpen voldoen dus naar verwachting aan het belangrijkste criterium, nl. dat het 50-80% DVD areaal in 2035 gelijk of groter is dan in 2010. Verder hebben de 4 ontwerpen een vergelijkbaar oppervlak en vergelijkbare omtrek. Figuur 5.6 toont de diktes van de suppleties.



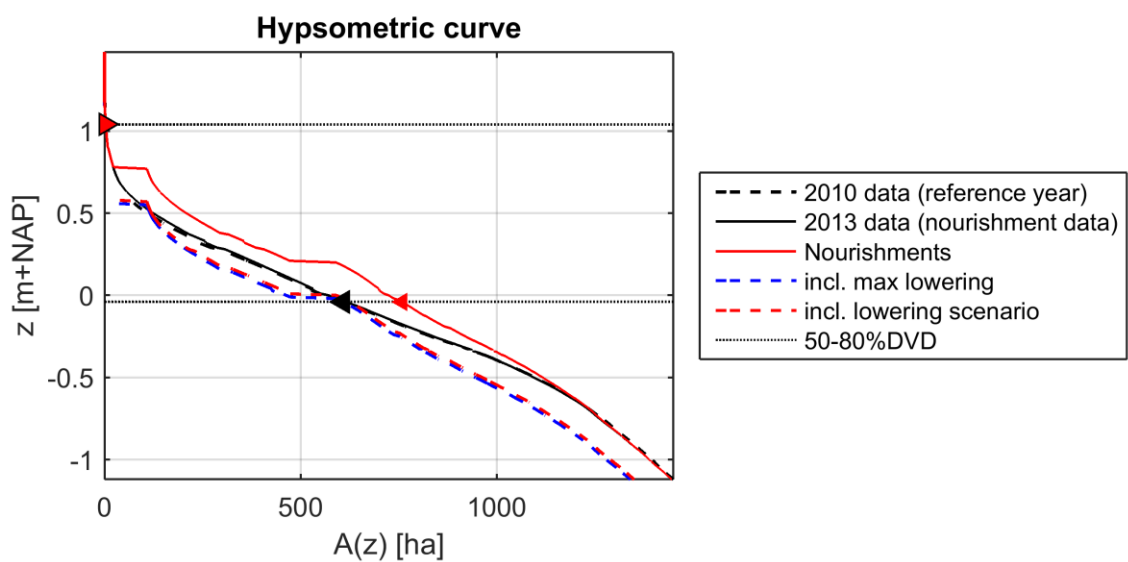
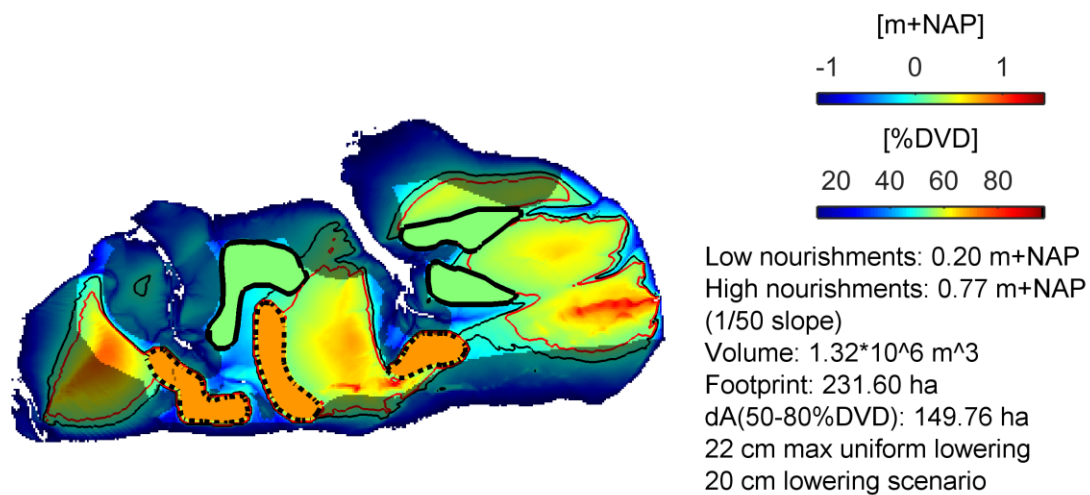
Figuur 5.2 Suppletieontwerp A (voorkeursvariant). N.b. de blauw-gestippelde lijn ligt achter de rood-gestippelde lijn.



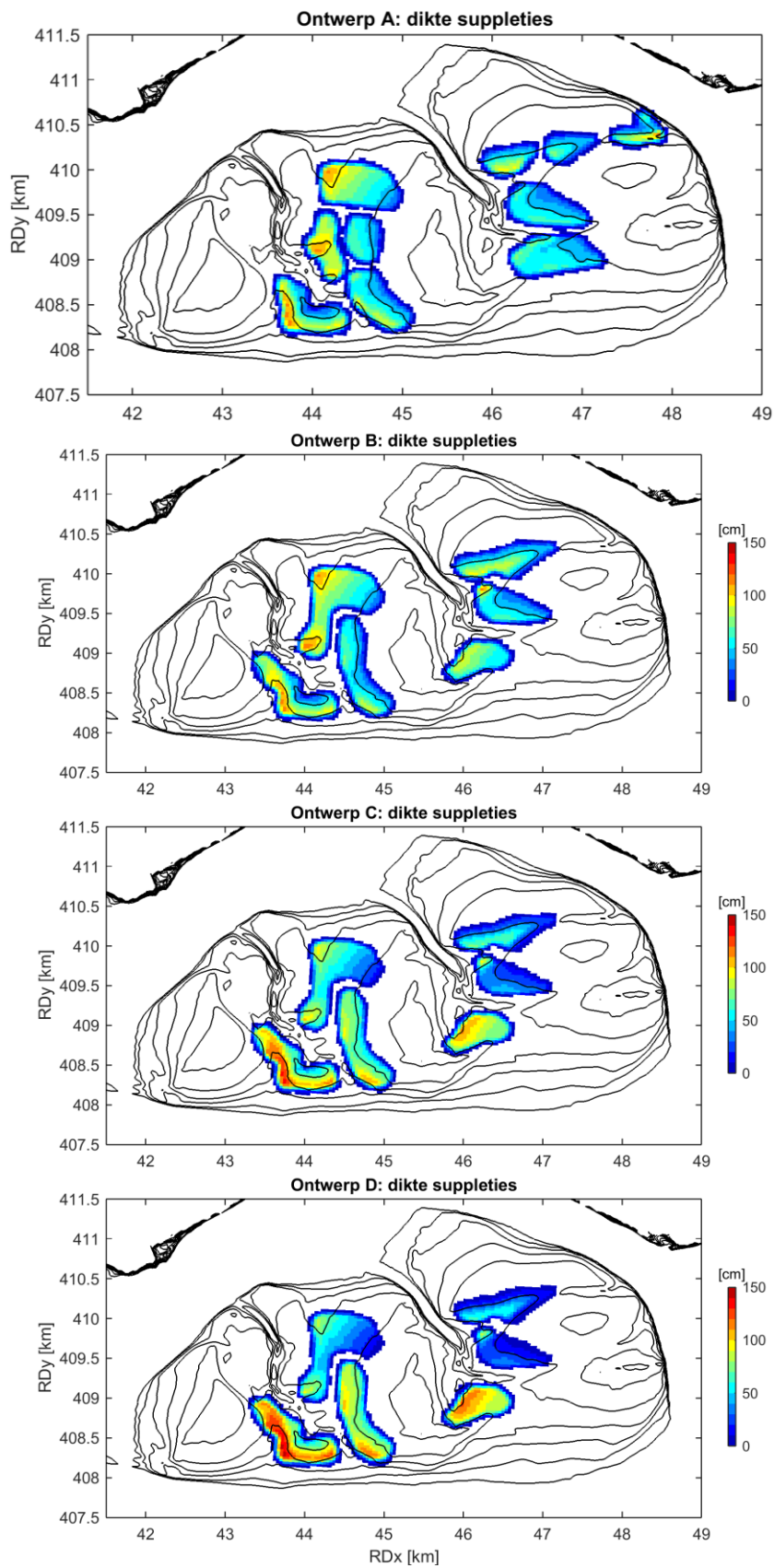
Figuur 5.3 *Suppletieontwerp B. N.b. de blauw-gestippelde lijn ligt achter de rood-gestippelde lijn.*



Figuur 5.4 *Suppletieontwerp C.*



Figuur 5.5 Suppletieontwerp D.



Figuur 5.6 *Suppletiediktes voor ontwerpen A t/m D.*

6 DELFT3D MODEL ROGGENPLAAT

6.1 INLEIDING

De verschillende suppletievarianten hebben allemaal een andere invloed op de waterbeweging, het zandtransport en de morfologische ontwikkeling van de Roggenplaat. Om tot een advies te komen over het (morfologisch en ecologisch) meest gunstige suppletieontwerp is het van belang het effect van elk ontwerp te kennen. Om dit effect in kaart te brengen zijn de referentiesituatie en de suppletieontwerpen doorgerekend met een proces-gebaseerd rekenmodel (Delft3D). Het model simuleert de golven, stroming (gedreven door het getij, de wind en golven) en het zandtransport op de Roggenplaat en de omringende getijgeulen. Bodemveranderingen die het gevolg zijn van de verplaatsing van zand zijn in een aparte set aan simulaties uitgerekend.

6.2 MODELOPZET

6.2.1 MODELKEUZES

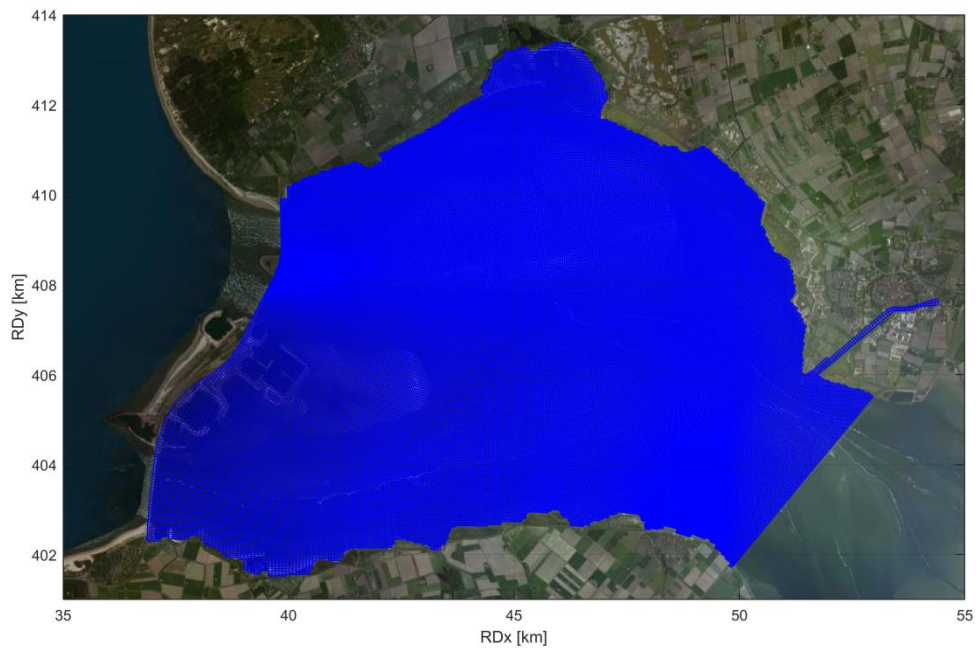
Het Delft3D model dat is opgezet om de stroming op de Roggenplaat te simuleren is een dieptegemiddeld (2DH) model. Variatie van de stroming over de verticaal (bijvoorbeeld helicoidale stroming) wordt hierdoor enkel geparameteriseerd meegenomen. Er zijn twee versies van het model opgezet: een grofmazig en een fijnmazig model. Het grofmazige model heeft een resolutie van ongeveer 30 m bij 30 m op de Roggenplaat, het fijnmazige model een resolutie van 10 m bij 10 m. Het fijnmazige model reproduceert de gemeten stroming op de Roggenplaat nauwelijks beter dan het grofmazige model (zie Appendix A). Omdat er beperkt verschil zit in de reproductie van stroming op de plaat, en het grofmazige model ongeveer 30 keer sneller simulaties uit kan voeren, is er voor gekozen de studie naar de ontwerpvarianten met het grofmazige model uit te voeren. Met deze resolutie wordt de stroming in kleine geulen en prieltjes niet (goed) gesimuleerd; zelfs de 10 m x 10 m resolutie is hier waarschijnlijk te grof voor. De aanname is dat de morfologische ontwikkeling van de Roggenplaat en van de suppleties bepaald wordt door de meer grootschalige waterbeweging die gesimuleerd kan worden op het 30 m x 30 m rekenrooster.

Golven beïnvloeden de stroming en het zandtransport op de Roggenplaat door middel van golf-stroom-interactie en doordat golven sediment opwoelen. Voor een accurate voorspelling van bodemschuifspanning, zandtransport en morfologische ontwikkeling is het daarom van belang om het effect van golven in de modellering te implementeren. Een apart Delft3D-WAVE (SWAN) model is hiervoor opgezet. Het model bestaat uit twee rekendomeinen: een algeheel domein en een kleiner gedetailleerd domein. Het model simuleert de dynamica van golven die van zee richting kust propageren en de groei van lokaal gegeneerde golven in de gehele Oosterschelde. De golfdoordringing door de kering is overigens beperkt. Het effect van de golven op de stroming en transport op de plaat is geïmplementeerd door het golfmodel te koppelen met het stromingsmodel. Deze zogenaamde 'online' koppeling vindt plaats met een interval van 30 minuten.

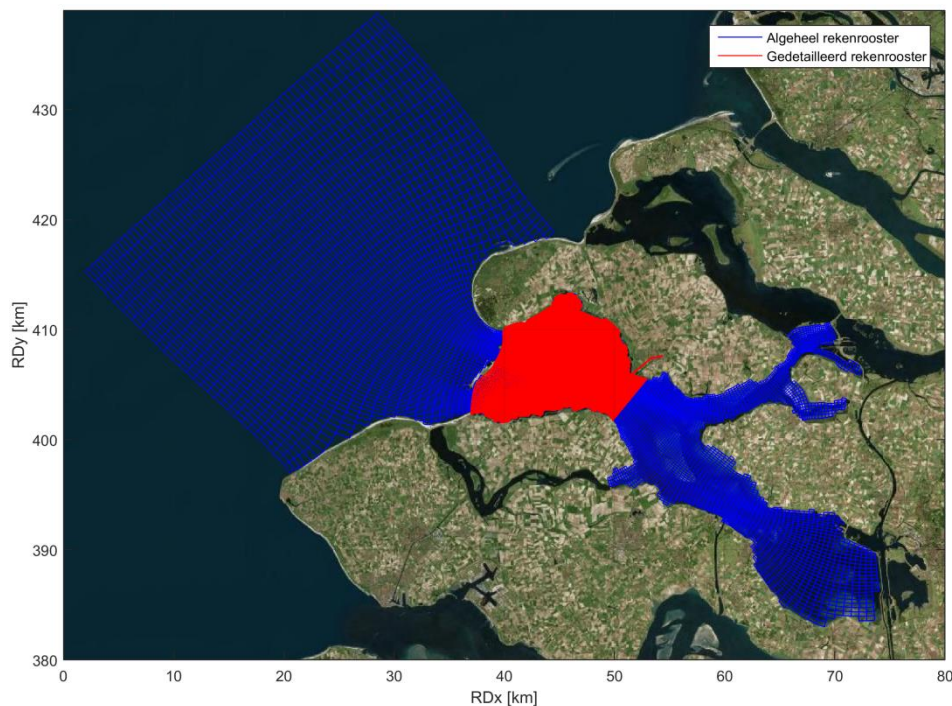
6.2.2 REKENROOSTER

De berekeningen van het stromingsmodel worden uitgevoerd op een zogenaamd kromlijinig rekenrooster. Het rekenrooster beslaat een modeldomein dat aan de westelijke kant begrensd wordt ter hoogte van de Oosterscheldekering en aan de oostelijke zijde ter hoogte van de Zeelandbrug (Figuur 6.1). Het domein van het model is relatief klein zodat er met een zeer hoge resolutie op de Roggenplaat gerekend kan worden zonder dat dit onwerkbaar rekentijden oplevert. De resolutie van het model is ongeveer 30 m x 30 m ter hoogte van de Roggenplaat voor het grofmazige model; naar het Zuiden toe wordt deze resolutie steeds grover tot dat deze ongeveer 100 m x 50 m bedraagt in de getijdegeul Roompot. Het fijnmazige model bevat een resolutie die over het gehele modeldomein een factor drie fijner is dan het grofmazige model. De resolutie is voor dit model daardoor ongeveer 10 m x 10 m op de plaat.

De rekenroosters van de twee golfmodellen zijn weergegeven in Figuur 6.2. Het rekenrooster van het algehele golfmodel is door Pezij (2015) afgeleid van het Scalooost Waqua model. De invloed van de kering op de golven op de Roggenplaat is beperkt, omdat deze weinig golfenergie doorlaat. Hier wordt in het model rekening mee gehouden: de getijgeulen Hammen, Schaar en Roompot zijn opgedeeld in drie delen waarvan twee delen geen enkele golfenergie doorlaten en één deel maar 40%. Het gedetailleerde golfmodel is genest binnen het algehele model. Het modeldomein van het gedetailleerde golfmodel is exact gelijk aan dat van het stromingsmodel, de resolutie is echter twee keer grover. Dit betekent dat de resolutie van het golfmodel op de plaat ongeveer 60 m x 60 m is.



Figuur 6.1 *Modeldomein van het rekenrooster van het grofmazige Delft3D stromingsmodel*



Figuur 6.2 *Modeldomeinen van de rekenroosters van het Delft3D golfmodel*

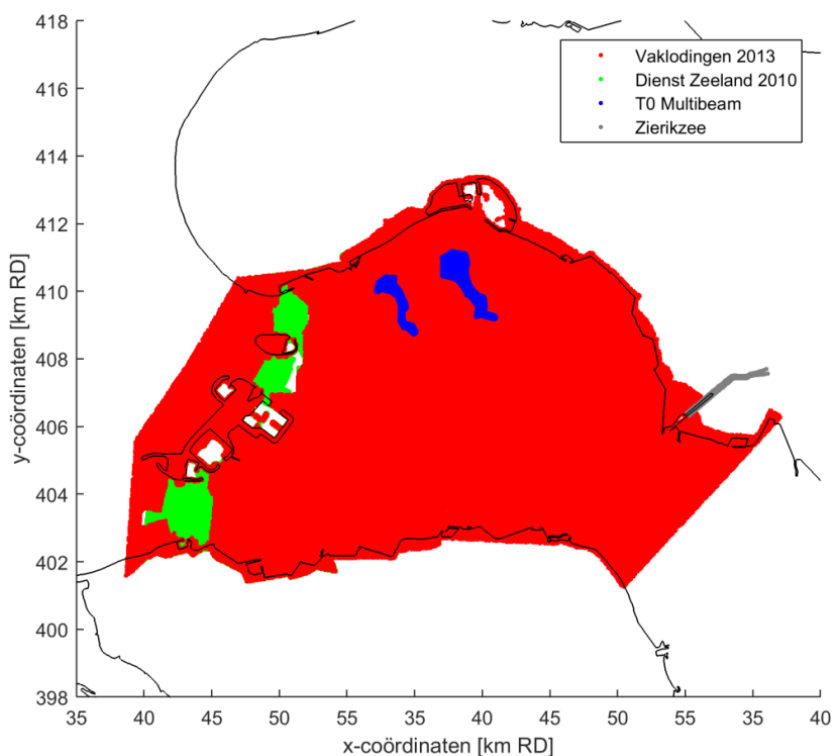
6.2.3 RANDVOORWAARDEN

De randvoorwaarden van het stromingsmodel zijn afkomstig van de Waqua modellentrein DSCM → ZuNO → Waqua-os_j07_5_v1 voor het jaar 2015. Het Waqua-os_j07_5_v1-model beslaat de gehele Oosterschelde en de Noordzee vanaf Westkapelle tot de Nieuwe Waterweg. De opzet, kalibratie en validatie van dit model staat beschreven in Van der Kaaij (2015). De randvoorwaarden voor het Delft3D Roggenplaatmodel worden afgeleid uit de berekeningen van het Waqua Oosterschelde model. Aan de westelijke kant wordt het model aangestuurd op de locaties van de schuiven van de keringen door middel van debieten. Aan de oostelijke rand wordt er een Riemann-sigitaal opgelegd. Een Riemann signaal is gecombineerd waterstands- en stroomsnelheidssigitaal. Door het gebruik van Riemann-invarianten heeft het model enige vrijheid in waterstanden op deze rand, en is de rand minder reflectief voor uitgaande lange golven.

Het algehele golfmodel wordt aangestuurd met randvoorwaarden voor het jaar 2015 die afkomstig zijn van het meetstation Schouwenbank. Het gedetailleerde model is genest in het algehele model en wordt op de randen aangestuurd door het algehele model. Lokaal gegeneerde golven als gevolg van wind worden ook uitgerekend. De wind wordt uniform over het gehele modeldomein opgelegd en is afkomst van meetstation Zeelandbrug Wind (zie Figuur 2.2 voor de locatie).

6.2.4 BATHYMETRIE

De bodem die gebruikt wordt voor de dieptegemiddelde berekeningen is gecreëerd door middel van een interpolatie van meerdere bathymetrische datasets naar het rekenrooster. Een mozaïek van de datasets die zijn gebruikt is weergegeven in Figuur 6.3. De Vaklodingen en Dienst Zeeland datasets zijn multibeamlodingen die met regelmatig interval door Rijkswaterstaat ingemeten worden. De T0 multibeam dataset betreft een gedetailleerde multibeam opname van de afwateringsgeulen op de Roggenplaat. Deze opnamen zijn in het kader van de T0 monitoring op 15 mei 2015 ingemeten. De Zierikzee dataset bevat data die afkomstig is van het Waqua Oosterschelde model. Voor de locaties die wit zijn in Figuur 6.3 was er geen bathymetrische data beschikbaar, deze gaten in de dataset zijn opgevuld door middel van driehoeksinterpolatie van de omliggende datapunten.



Figuur 6.3 Mozaïek van datasets die zijn gebruikt voor de bodeminterpolatie.

6.2.5 OVERIGE INSTELLINGEN

Er zijn drie verschillende perioden gesimuleerd met het Delft3D model: één periode voor de validatie van het model, één periode van één maand met milde wind condities om de varianten te testen, en ten slotte één periode van 3 dagen met een storm met een voorkomingskans van ongeveer 1 op de 10 jaar. De keuze van de start en het eind van de verschillende simulatieperiodes staat uitgelegd in Hoofdstuk 7 bij de desbetreffende resultaten van die simulaties.

Zandtransport wordt uitgerekend door middel van de Van Rijn (2007a,b) transportformulering. Over het gehele modeldomein wordt een uniforme korrelgrootte verdeling toegepast met een mediane korrelgrootte van 210 μm . De standaardwaarden zijn toegepast voor de transportberekeningen. Deze en overige instellingen die zijn gebruikt voor de berekeningen staan weergegeven in Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Belangrijkste Delft3D modelinstellingen.

Parameter	Waarde	Eenheid
Tijdstap	6	s
Ruwheid (Manning)	0,022	$\text{s/m}^{1/3}$
Criterium <i>drying</i> en <i>flooding</i>	0,1	m
Koppelingsinterval FLOW-WAVE	30	min
Korrelgrootte (D_{50})	210	μm
Droge bulk dichtheid	1600	kg/m^3
Specifieke dichtheid	2650	kg/m^3
Minimale diepte voor zandtransportberekeningen	0,1	m
Vermenigvuldigingsfactoren zandtransport (Sus, Bed, SusW, BedW)	1	-
Gradiëntfactor voor bodemtransport in stroomrichting (α_{Bs})	1	-
Gradiëntfactor voor bodemtransport loodrecht op stroomrichting (α_{Bn})	1,5	-
Simulatieperiode voorafgaand aan morfologische berekeningen	12	uur
Morfologische schaalfactor	1	-

6.3 MODELVALIDATIE

Het Delft3D model is gevalideerd om na te gaan of de hydrodynamische processen binnen het modeldomein (en specifiek op de Roggenplaat) accuraat na worden gebootst. Het model is ten eerste gevalideerd aan de hand van waterstanden. Binnen het modeldomein is er enkel één waterstandsmeeetstation. Daarom is deze validatie uitgevoerd aan de hand van de gemodelleerde waterstanden door het Waqua Oosterschelde model, dit staat beschreven in paragraaf 6.3.1.

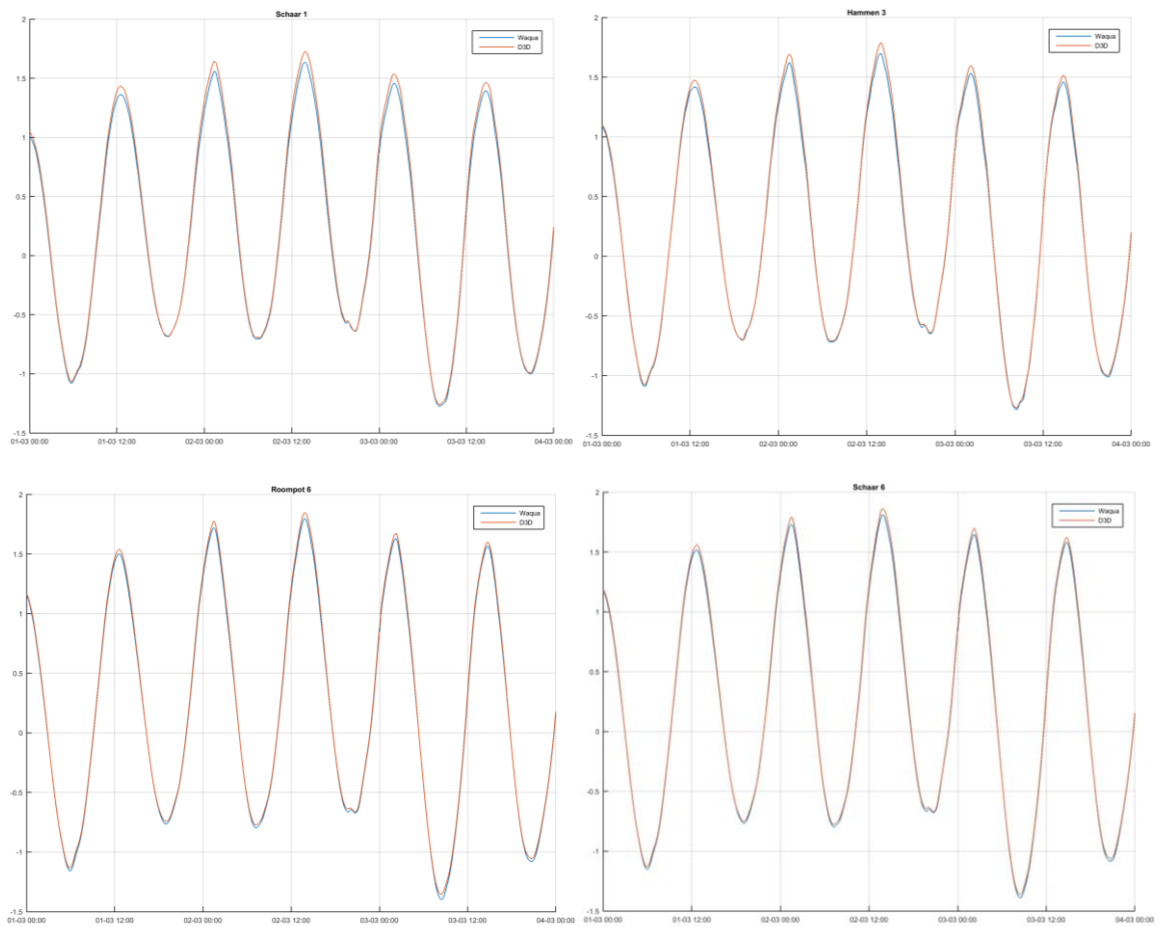
De reproductie van stroming op de plaat is gekalibreerd aan de hand van de stromingsdata die in het kader van de T0 monitoring is verzameld in de periode 24 februari tot en met 25 maart 2015. De validatie is uitgevoerd voor zowel de stroomsnelheden als de stroomrichting. De validatie en de nauwkeurigheid van het model ten opzichte van de T0 stromingsdata staat beschreven in paragraaf 6.3.2.

De reproductie van golven door het gedetailleerde golfmodel is getoetst aan de hand van de golfdata die gemeten is door de Waverider die in de getijdgeul Hammen is geplaatst, eveneens als onderdeel van de T0 monitoring (zie Figuur 2.2 voor de locatie). Daarnaast is de reproductie van golven op de plaat getoetst aan de hand van de golfdata die op de dezelfde locaties als de stromingsdata gemeten zijn (zie Figuur 2.3). De vergelijking van gemodelleerde en gemeten golfdata is beschreven in paragraaf 6.3.3.

6.3.1 WATERSTANDEN

De reproductie van waterstandssignalen van het Delft3D model en het Waqua Oosterschelde model zijn vergeleken voor verschillende locaties die willekeurig binnen het modeldomein gekozen zijn. De locaties bevinden zich niet in het intergetijdengebied. Een vergelijking van vier van deze locaties staat weergegeven voor de periode 1 tot 4 maart 2015 in Figuur 6.4. De figuur laat zien dat er een goede

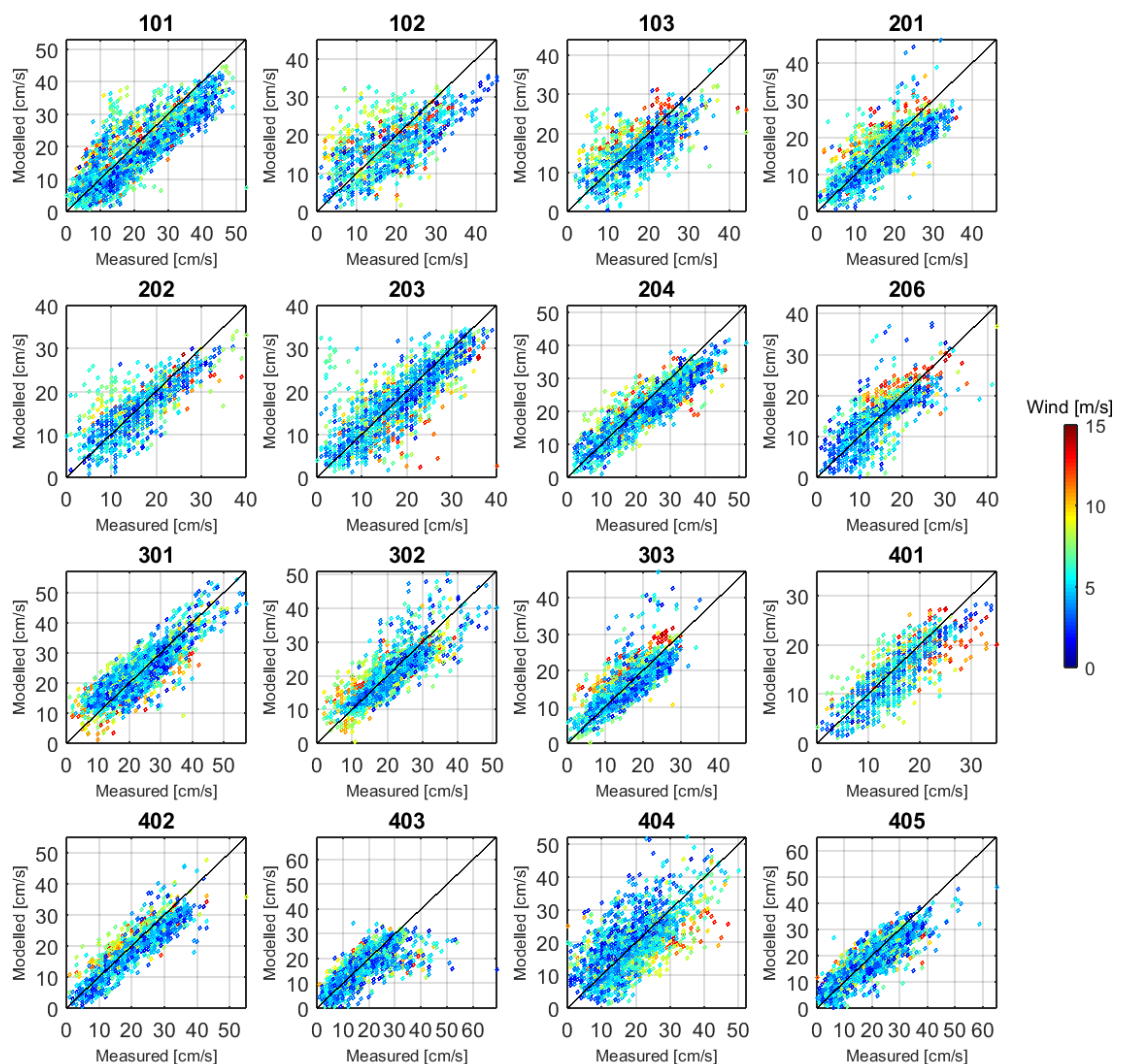
overeenkomst is dus de waterstandssignalen die door het Delft3D model gemodelleerd worden ten opzichte van het Waqua model. Het is op te merken dat er wel een kleine onderschatting van het hoogwater van maximaal 5-10 cm optreedt. De oorzaak van deze onderschatting heeft waarschijnlijk te maken met kleine variaties tussen het Delft3D en het Waqua model. Deze variaties omvatten onder andere het numerieke schema en de toegepaste bodemschematisatie.



Figuur 6.4 *Reproductie van waterstanden in vier verschillende stations gelegen in de geulen.*

6.3.2 STROMING

De nauwkeurigheid van de gemodelleerde stroomsnelheden is weergegeven in Figuur 6.5 als scatterplots, opgedeeld per meetstation (zie voor de locatie van de meetstations Figuur 2.3). De grootte van de windsnelheid op het moment van ieder meetpunt is weergegeven door middel van de kleurenbalk. De figuur toont dat de stroomsnelheden vrij goed worden nagebootst. Enkel tijdens sterkere windcondities vindt er een overschatting (b.v. meetstation 103 en 303) of onderschatting (b.v. meetstation 401 en 404) van de stroomsnelheden plaats.

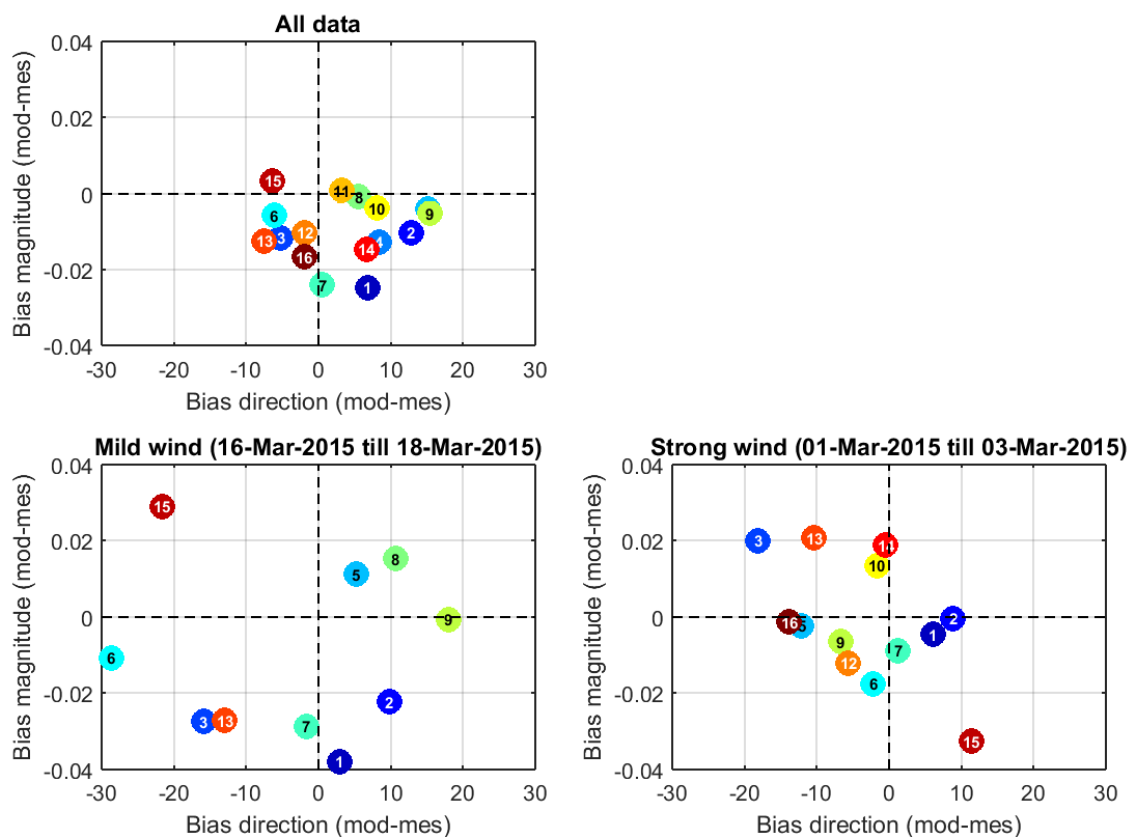


Figuur 6.5 Scatterplot van de gemodelleerde tegen de gemeten stroomsnelheden op de Roggenplaat.

De correlatiecoëfficiënt, R^2 , en de bias van zowel de grootte als de richting van de berekende stroomsnelheden worden getoond in Tabel 6.2. R^2 geeft aan hoe sterk twee variabelen lineair gecorreleerd zijn; deze correlatie is maximaal bij $R^2 = 1$ en minimaal bij $R^2 = 0$. De bias wordt berekend door het gemiddelde van het gemeten signaal van het gemiddelde van het gemodelleerde signaal af te trekken. Een positieve (negatieve) bias betekent dus dat het gemiddelde van het gemodelleerde signaal groter (kleiner) is dan het gemeten signaal. De bias van de gemodelleerde stroomsnelheden en stroomrichtingen zijn tegen elkaar uitgezet in Figuur 6.6, voor zowel de gehele tijdseries als voor milde en sterke windcondities. De figuur toont dat de bias van de stroomsnelheid op alle stations niet groter is dan 0.02 m/s en de bias van de richting niet meer bedraagt dan 15° .

Tabel 6.2 Correlation coefficient R^2 en bias van de grootte en richting van de berekende stroomsnelheden.

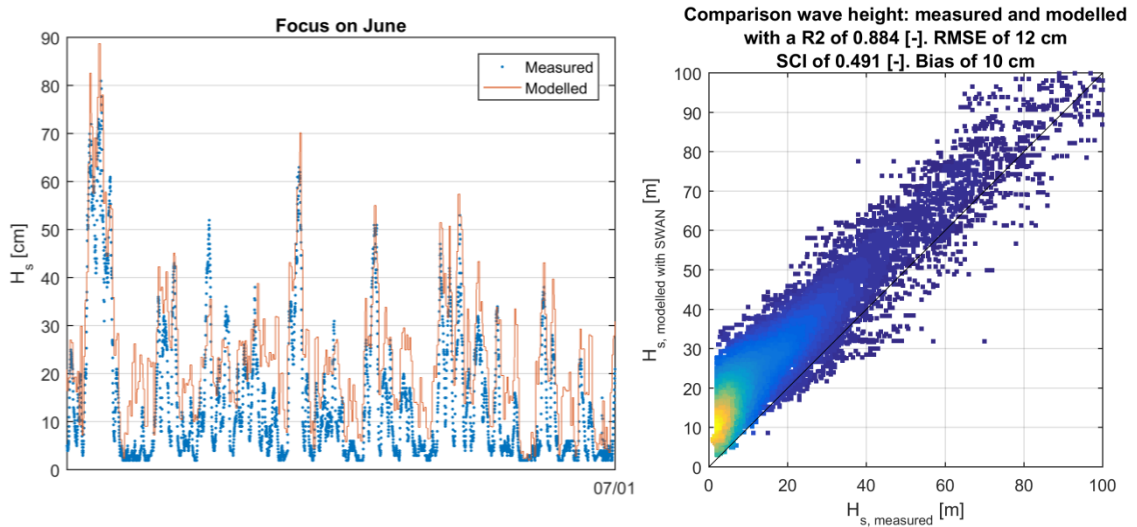
Meetstation	R^2 stroomsnelheid (-)	Bias stroomsnelheid (m/s)	Bias stroomrichting (°)
MP0101	0.67	-0.02	6.76
MP0102	0.32	-0.01	12.83
MP0103	0.40	-0.01	-5.22
MP0201	0.60	-0.01	8.39
MP0202	0.59	0.00	15.20
MP0203	0.62	-0.01	-6.16
MP0204	0.73	-0.02	0.52
MP0206	0.57	0.00	5.53
MP0301	0.70	-0.01	15.38
MP0302	0.64	0.00	8.08
MP0303	0.67	0.00	3.16
MP0401	0.61	-0.01	-1.92
MP0402	0.79	-0.01	-7.53
MP0403	0.55	-0.01	6.65
MP0404	0.29	0.00	-6.33
MP0405	0.72	-0.02	-1.97



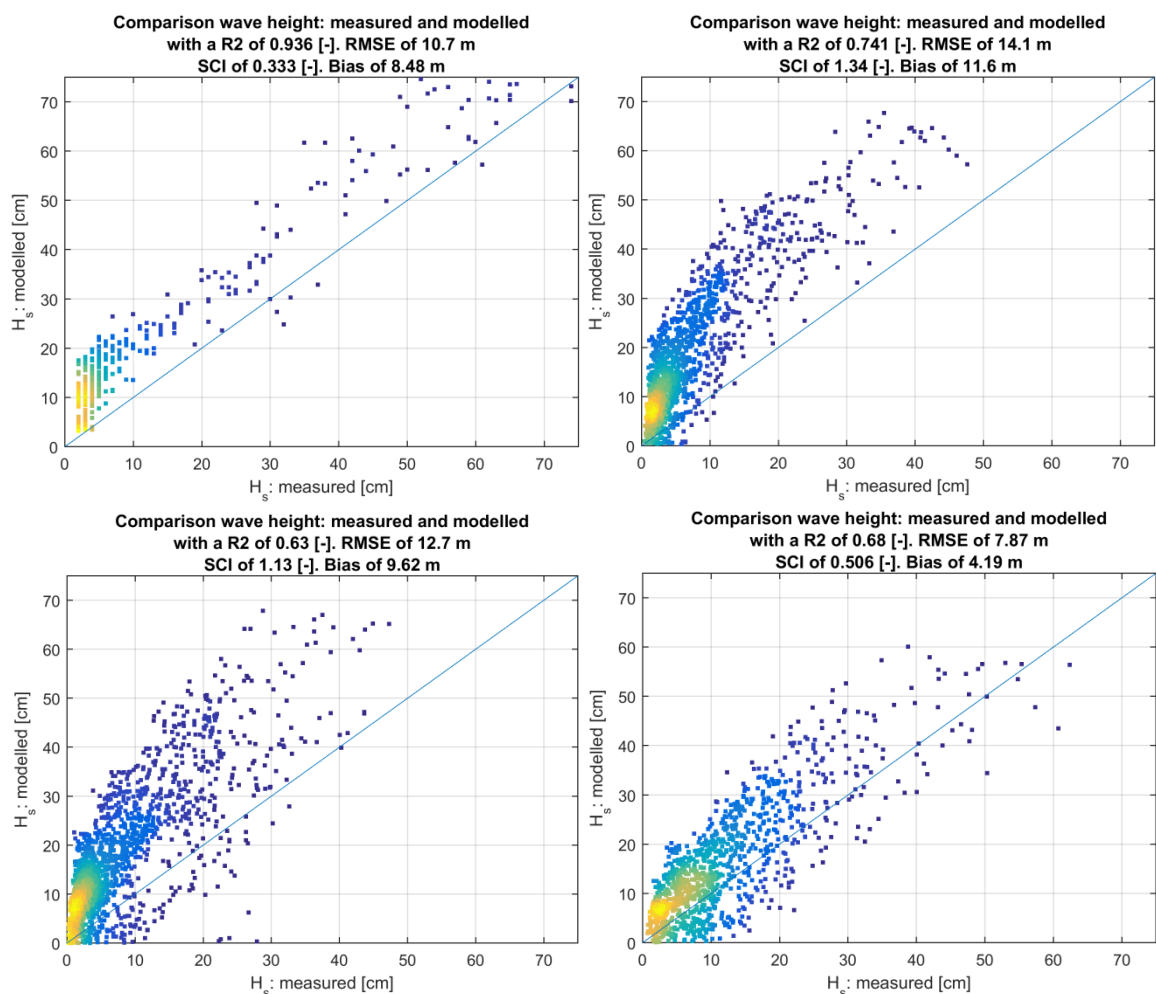
Figuur 6.6 Bias van de berekende grootte en richting van de stroomsnelheden op de Roggenplaat.

6.3.3 GOLVEN

De nauwkeurigheid van het golfmodel is vergeleken met de golfdata die vanaf april 2015 tot en met januari 2016 met de Waverider gemeten is en de golfdata die op de plaat verzameld is tijdens de T0-meting in maart-april 2015. Een tijdserie van de maand juni en een scatterplot van het gehele jaar 2015 van gemodelleerde en gemeten golfdata bij de Waverider staat weergegeven in Figuur 6.7. De golfhoogtes worden over het algemeen vrij nauwkeurig nagebootst. Zowel in de tijdserie als de scatterplot is wel te zien dat er een overschatting plaatsvindt in perioden van lage golfhoogtes. Dezelfde trend in overschatting is ook waarneembaar als de gemodelleerde golfdata vergeleken wordt met de gemeten golfdata op de Roggenplaat (Figuur 6.8).



Figuur 6.7 Gemodelleerde golfdata vergeleken met de gemeten golfdata bij de Waverider als tijdserie voor de periode juni 2015 (links) en als scatterplot voor het gehele jaar 2015 (rechts).



Figuur 6.8 Scatterplots van de gemodelleerde golfdata en de gemeten golfdata bij vier waveloggers op de Roggenplaat in de periode maart-april 2015.

6.4 CONCLUSIE

Het Delft3D model dat opgezet is om de verschillende suppletieontwerpen voor de Roggenplaat door te rekenen, reproduceert waterstanden, golven en stroming op en rond de plaat redelijk tot goed.

Waterstanden tonen een goede overeenkomst met waterstanden die door het Waqua Oosterschelde model worden geproduceerd. Het hoogwater wordt op sommige momenten enkel met maximaal 5-10 cm onderschat. Hierdoor moet er rekening gehouden worden dat het hoogwater op de Roggenplaat iets te laag zal zijn, waardoor stroomsnelheden wat kleiner kunnen zijn dan in werkelijkheid. Vergelijking met gemeten stroomsnelheden op de plaat in de periode februari-maart 2015 laten echter zien dat het model goed in staat is om zowel de snelheid als de richting van de stroming op de plaat na te bootsen. Er is daarom geen reden om aan te nemen dat de onderschatting van de hoogwaterstanden een belangrijk negatief effect heeft van de reproductie van de stroming op de plaat.

Golven worden door het Delft3D-WAVE model overschat ten opzichte van gemeten golfhoogtes. Bij de interpretatie van zandtransportpatronen moet er daarom rekening mee gehouden worden dat het golfgedreven transport groter kan zijn dan dat in werkelijkheid op zal treden. Dit wordt in paragraaf 7.1.6 verder besproken.

7 EFFECTBEPALING EN AFWEGING SUPPLETIEONTWERPEN

7.1 HYDRO-MORFOLOGIE

7.1.1 INLEIDING

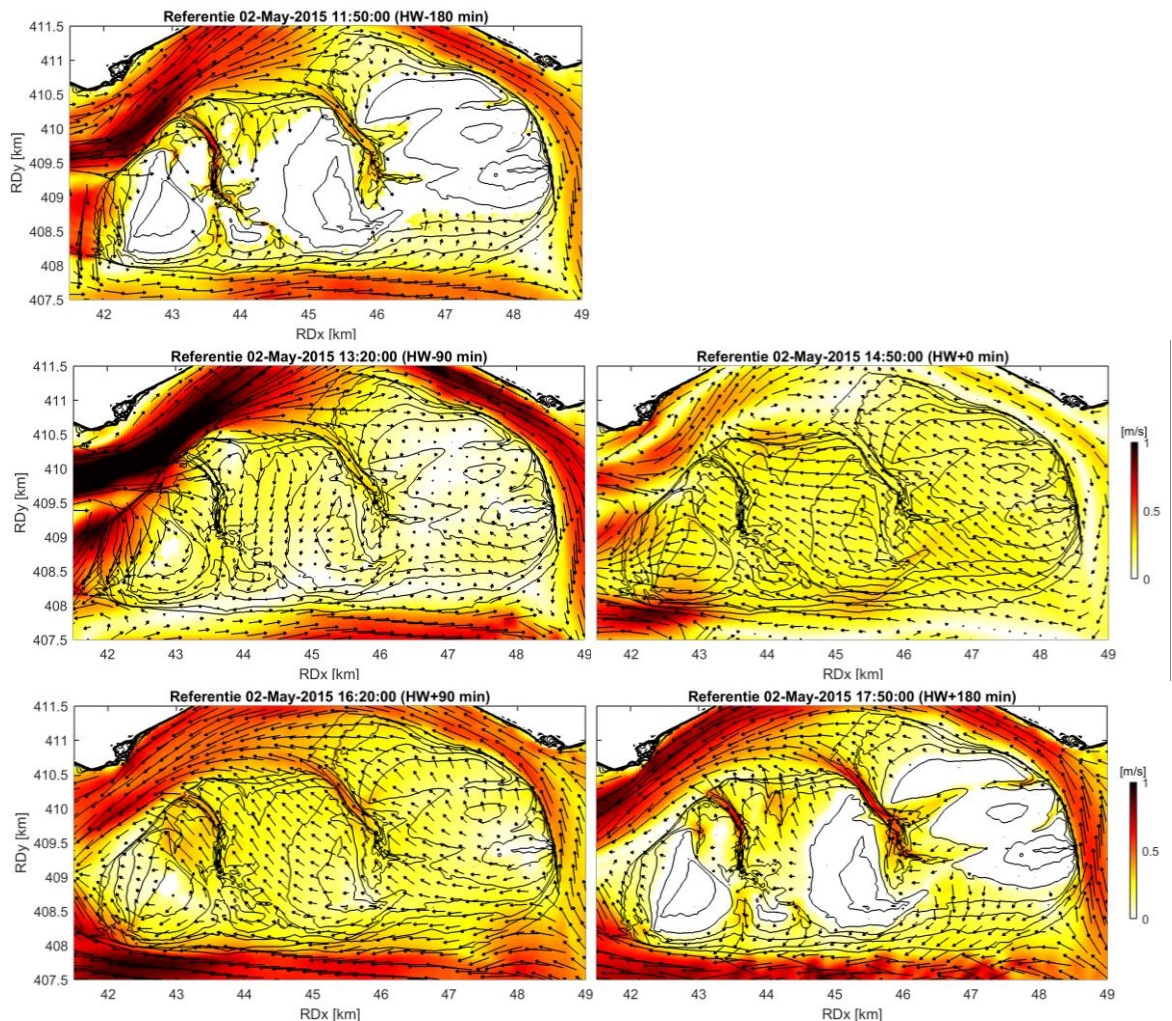
In deze paragraaf zal het effect van de verschillende suppletieontwerpen op de stroming, zandtransporten en initiële morfologische ontwikkeling worden bestudeerd. Op basis hiervan wordt een afweging tussen de ontwerpen gemaakt wat betreft de hydro-morfologische effecten. Er wordt in het bijzonder gekeken naar:

1. De invloed van de suppleties op het grootschalige patroon van stroming en zandtransporten. De suppleties zijn zo ontworpen dat ze voldoen aan het criterium met betrekking tot het areaal 50-80% in doeljaar 2035, uitgaande van een extrapolatie van de huidige morfologische ontwikkeling en zeespiegelstijging. Als de grootschalige stromings- en zandtransporten niet sterk worden beïnvloed, is dit een redelijk aannahme. Bovendien is het wenselijk voor de andere functies, i.e. natuur en aquacultuur, dat de fysische processen op de Roggenplaat niet sterk veranderen door toedoen van de suppleties.
2. De invloed van de suppleties op de stroming en zandtransporten bij de mosselpercelen. Al hoewel alle suppleties meer dan 400 m van de aquacultuur zijn geplaatst (zie de geschiktheidskaart in Hoofdstuk 4), is er een mogelijke invloed.
3. Verspreiding van het suppletiezand. Dit is gekoppeld aan de levensduur van de suppletie, alsook aan de beïnvloeding van de mosselpercelen. In het vorige rapport is een ruwe, eerste schatting gemaakt die neerkomt op een verspreiding van 1-10 m/jaar.

Dit is onderzocht op basis van simulaties voor de maand mei 2015 die qua windcondities representatief is voor de lange-termijn (zie Bijlage B). Daarnaast is de Sinterklaasstorm, 5 en 6 december 2013, gesimuleerd om het effect van een stormgebeurtenis te onderzoeken. De Sinterklaasstorm ging gepaard met zeer hoge waterstanden en harde wind (Bft 10-11) uit het zuid- tot noordwesten. De Oosterscheldekering was dan ook gesloten. Bij het station Roompot Buiten was de waterstand tijdens het hoogwater op 6 december +3.63 m NAP, wat correspondeert met een overschrijdingsfrequentie van 79 hoogwaters in 1000 jaar (Watermanagementcentrum Nederland, 2013) oftewel een terugkeerperiode van 13 jaar. Deze storm zal dus gemiddeld gezien twee keer optreden tijdens de levensduur van de Roggenplaat suppletie.

7.1.2 STROMING

Figuur 7.1 toont het berekende stroombeeld in de referentiesituatie op een aantal momenten voor en na het hoogwater van 2 mei 2015 om 14.50 uur. De wind was tijdens deze periode zwak tot vrij matig (~4 m/s) en afkomstig uit oostelijke richting. Deze figuur laat zien dat onder deze omstandigheden met relatief weinig wind de twee noordelijke kreek een belangrijke rol spelen in het op- en afstromen van het water op de Roggenplaat. Deze kreek zijn ook de plaats waar de hoogste snelheden op de plaat optreden. Op HW-90 min is zichtbaar hoe de zuidelijke en de noordelijke stroming elkaar treffen ongeveer waar nu de natuurlijke oesterriffen liggen. Tijdens HW heeft de stroming op de plaat een sterke parallelle component, en stroomt het water in ebrichting terwijl de stroming in de noordelijk gelegen geul Hammen nog in vloedrichting staat. Deze parallelle stroming is ook nog zichtbaar op HW+90 min, waarna het water meer noord-zuid van de Roggenplaat afstroomt.

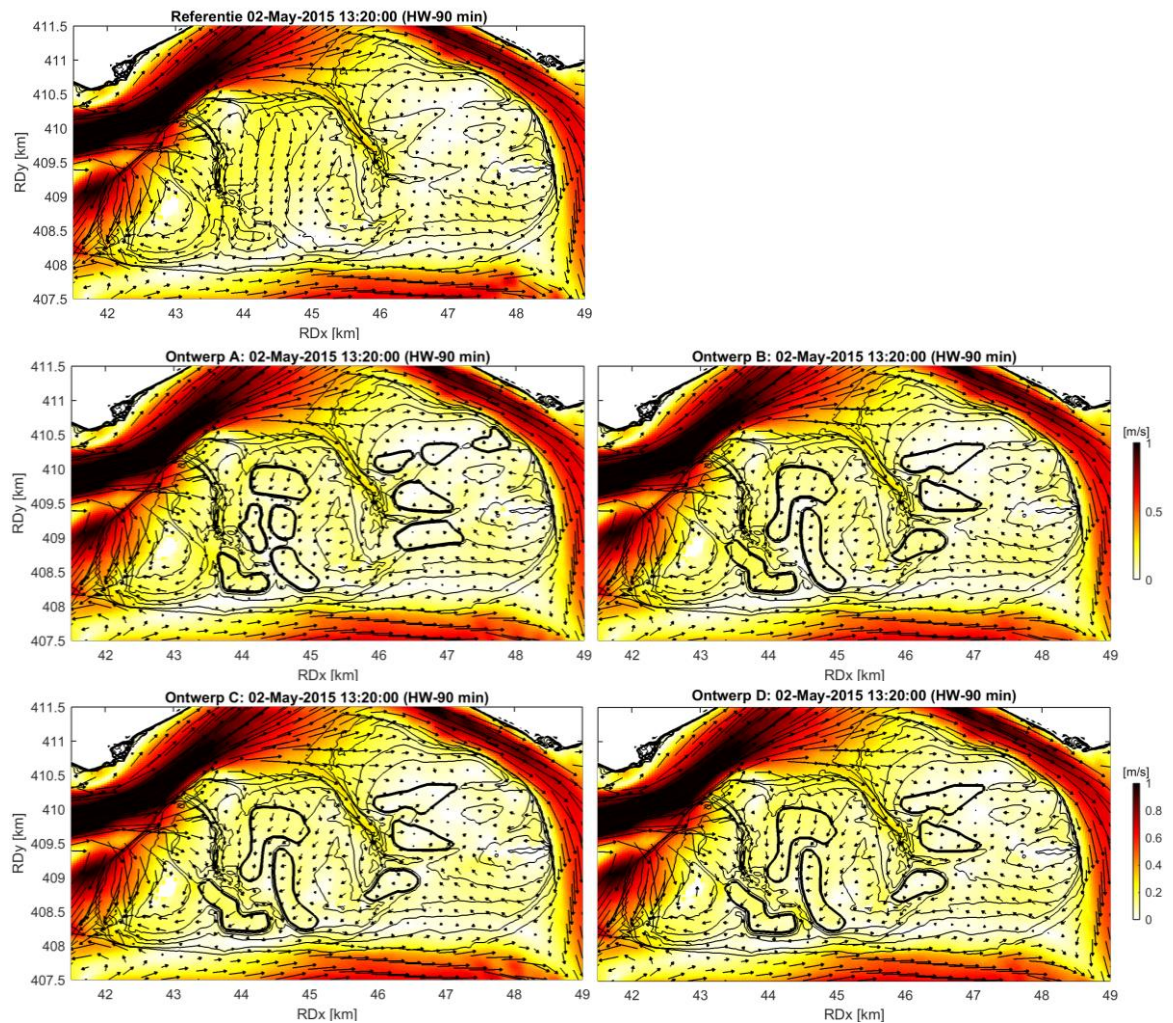


Figuur 7.1 Stroombeeld voor de referentiesituatie 3 uur voor, 1,5 uur voor, tijdens, 1,5 uur na en 3 uur na het hoogwater van 2 mei 2015 14:50.

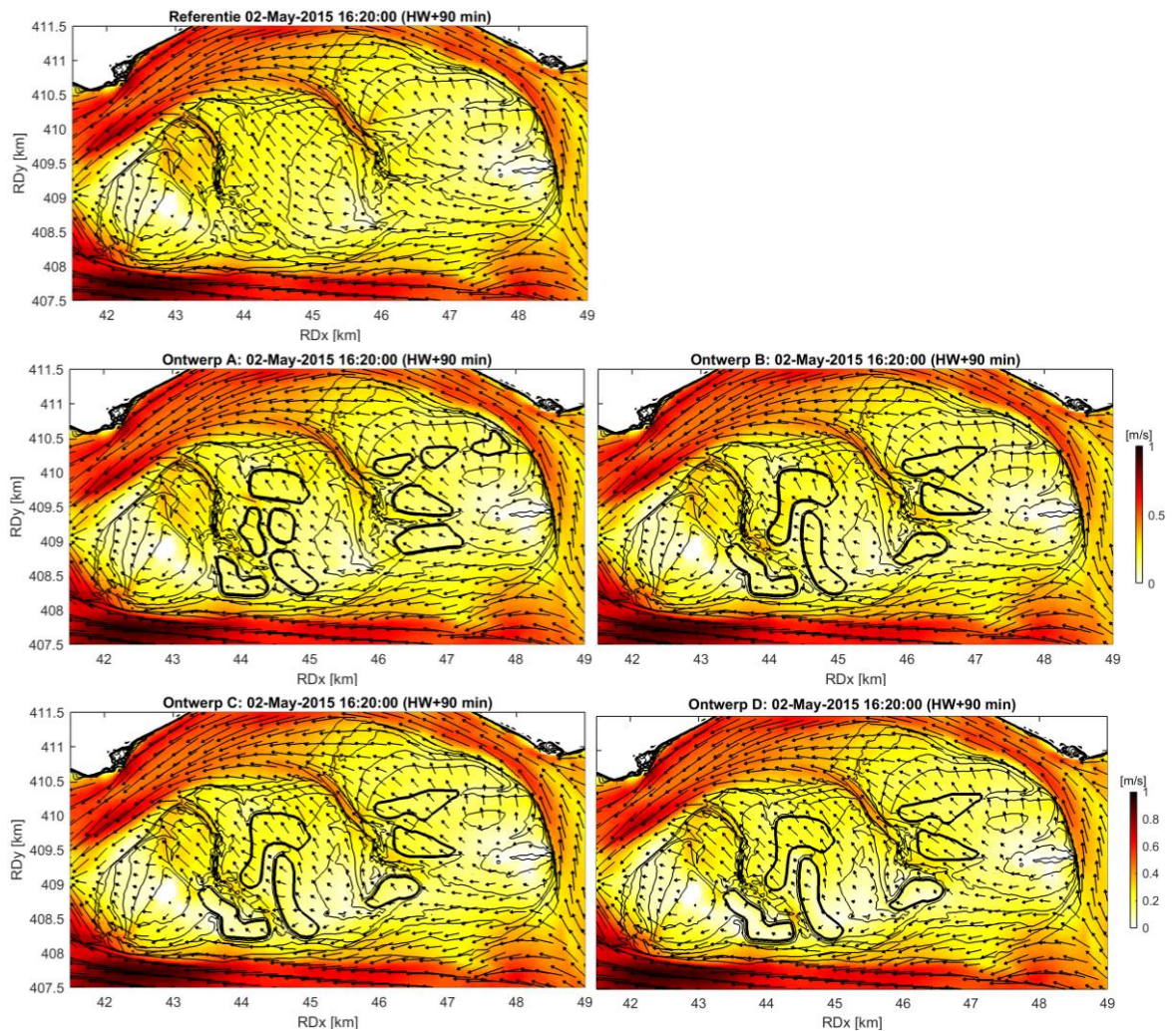
Dit grootschalige stroombeeld verandert niet wezenlijk door de suppleties (Figuur 7.2 en Figuur 7.3). De verschillen die optreden zijn meer lokaal. Deze zijn beter zichtbaar in de stromingsmaxima. Deze zijn per getij bepaald en vervolgens is hier het gemiddelde van genomen (Figuur 7.4); deze figuur toont ook het verschil met de referentiesituatie. Uit deze figuren blijkt dat alle varianten resulteren in een afname van de piekstroming in de oostelijke afvoergeul; van ~ 0.8 m/s naar ~ 0.6 m/s ($\sim 25\%$ verschil). Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door een vergelijkbaar afname in het vloeddebiet door deze geul (Figuur 7.5); de invloed op de ebstroming is minder. Dit is in lijn met de afname van de komberging door de suppletie; het areaal boven 0 m NAP neemt voor de gehele Roggenplaat toe van ~ 600 naar ~ 750 ha (en het watervolume dus evenredig af). Deze debieten laten ook zien dat deze afvoergeul vloedgedomineerd is qua piekwaarden. De afname in debieten en stroomsnelheid in deze geul duiden op een mogelijk sedimentatie door de aanleg van de suppleties. Deze afname is wat sterker voor het ontwerp met een uniform suppletiehoogte (B) in vergelijking met ontwerpen waarbij de zuidelijke suppleties hoger zijn dan de noordelijke suppleties (C en D).

Uit deze figuren van de pieksnelheden blijkt verder dat in Ontwerp A de snelheid ten noorden van de twee meeste noordoostelijke suppleties toeneemt, in lijn met de verwachting. Dit is onwenselijk vanwege de noordelijk gelegen mosselpercelen. In de andere ontwerpen is deze toename niet aanwezig vanwege de aangepaste geometrie. Op de suppleties nemen de pieksnelheden over het algemeen substantieel af,

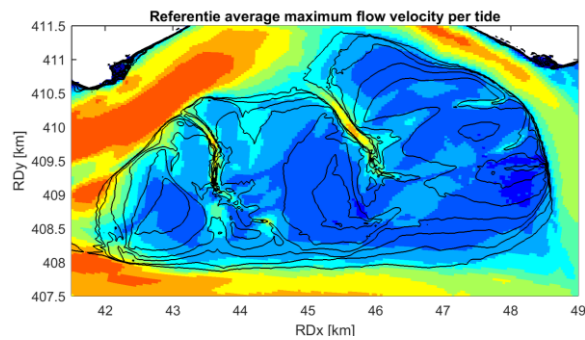
terwijl deze tussen de suppleties substantieel toenemen. Deze veranderingen zijn maximaal ~ 0.3 m/s en van dezelfde orde van grootte als pieksnelheden op de plaat zonder suppleties. Dit komt omdat het water om de suppleties heen wil stromen en het doorstroomoppervlakte verkleind is. Dit effect is sterker voor de hogere suppleties in Ontwerpen C en D. De toegenomen snelheid tussen de suppleties zal resulteren in een uitslijting van de bodem. De afname van de snelheid op de suppletie betekent niet perse dat de morfologische veranderingen hier langzamer zullen verlopen dan in de referentiesituatie, omdat naar verwachting het golfeffect sterker is door de afgenomen waterdiepte. In paragrafen 7.1.3 en 7.1.4 zal de impact van de suppleties op zandtransport en initiële morfologische veranderingen nader onderzocht worden.



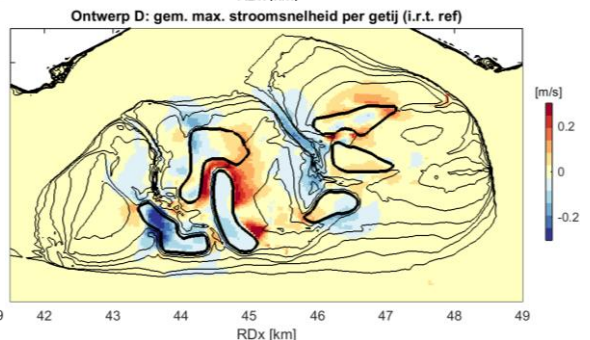
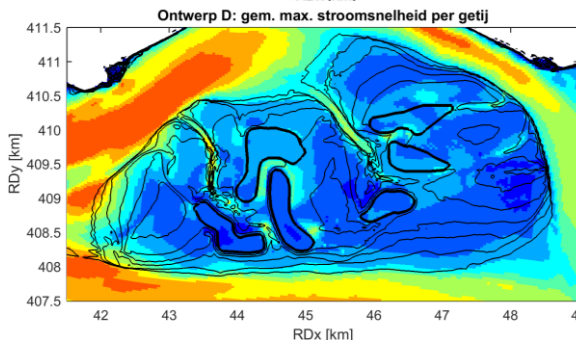
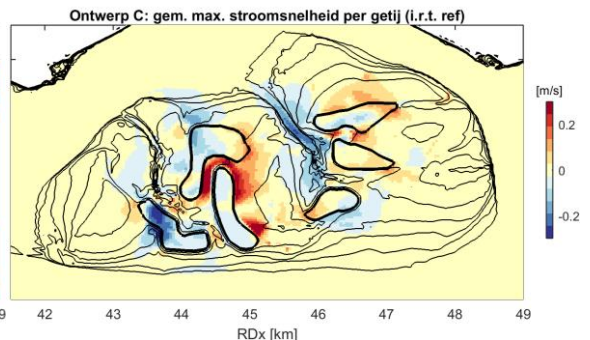
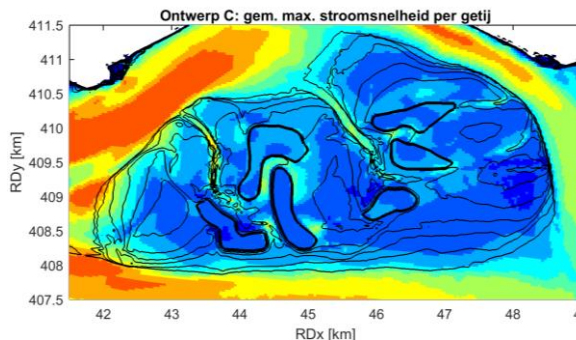
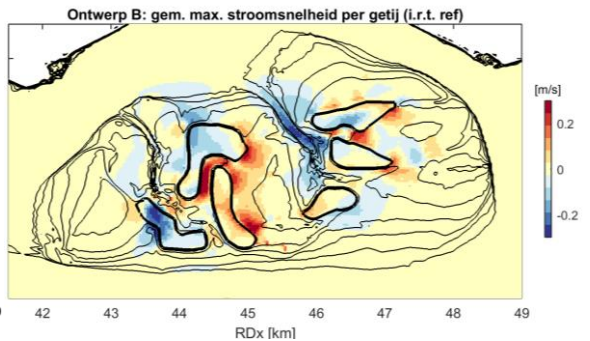
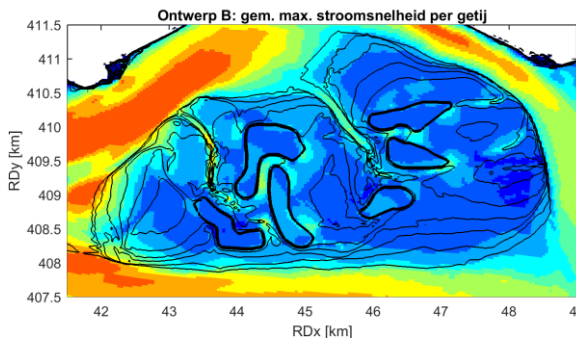
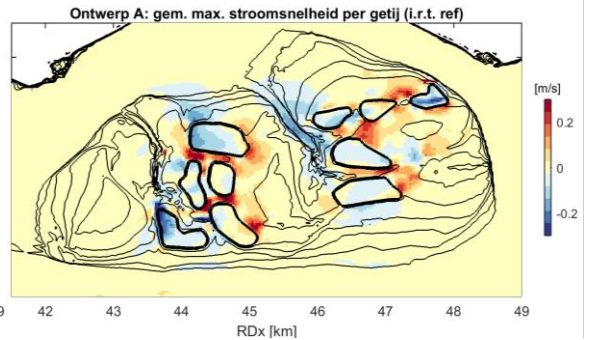
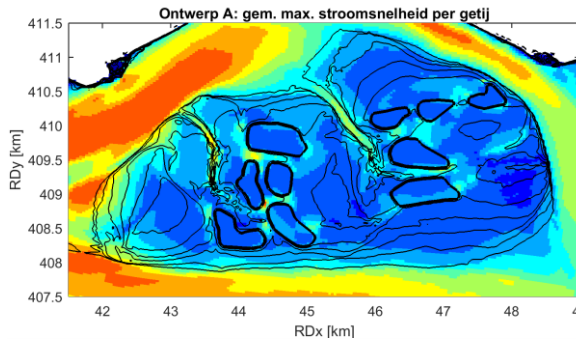
Figuur 7.2 Stroombeeld op 2 mei 2015 om 13:20 uur, 1,5 uur voor hoogwater. De zwarte lijnen geven de suppletiecontouren aan.

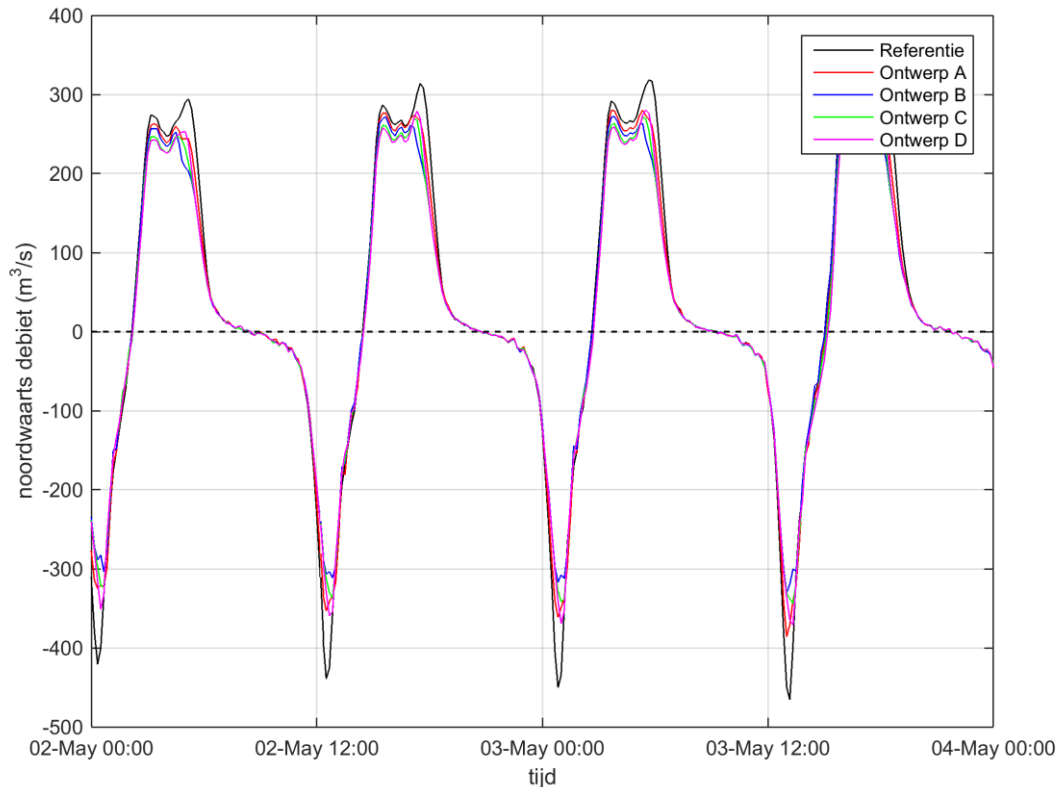


Figuur 7.3 Stroombeeld op 2 mei 2015 om 16:20 uur, 1,5 uur na hoogwater. De zwarte lijnen geven de suppletiecontouren aan.



Figuur 7.4 Grootte van de stromingsmaxima en het verschil tussen de maximale stroomsnelheden voor de suppletieontwerpen en de referentiesituatie. Rood: toename, blauw afname t.o.v. de referentie. De zwarte lijnen geven de suppletiecontouren aan.



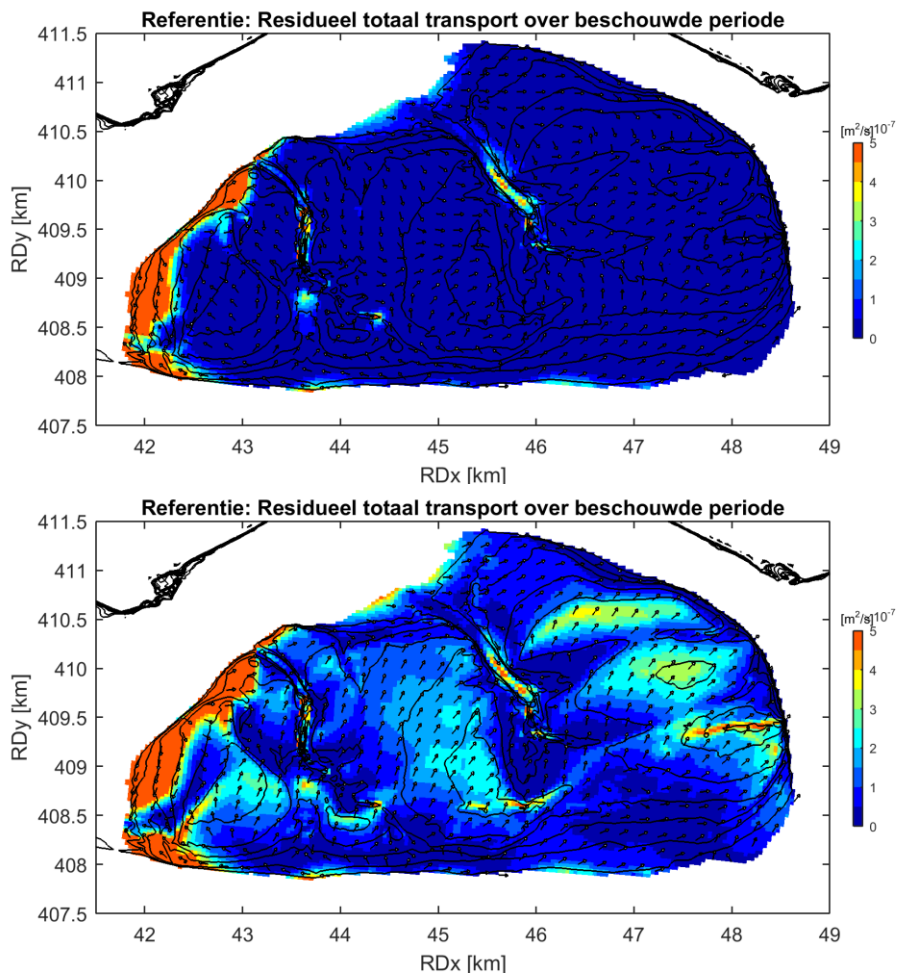


Figuur 7.5 *Debiet door de afvoergeul. Positief is in noordelijke richting (eb) en negatief in zuidelijke richting (vloed).*

7.1.3 ZANDTRANSPORTEN

Het belang van golven voor zandtransport wordt geïllustreerd in Figuur 7.6. Zonder golven (wel windeffect op stroming) vindt er, met uitzondering van de afvoergeulen, nauwelijks zandtransport op de Roggenplaat plaats. De golven zorgen voor een flinke toename van de zandtransporten, met name op de hoge delen (onder andere de schelpenbanken). Het netto zandtransport is overwegend in noordoostelijke richting, in lijn met de historische migratierichting van beddingvormen en plaatdelen (Figuur 2.9 en Figuur 2.11). Op de zuidrand wordt geen sterk zandtransport in de richting van de geul berekend. Dit is in tegenstelling met veronderstelling dat de sterke erosie van de zuidrand (Figuur 2.10) het gevolg is van zuidwaartse transporten. Wel duiden de berekende transportpatronen op een erosie van de zuidrand door het noordwaarts transport dat toeneemt in noordelijke richting. Daarnaast is de erosie van de Roggenplaat in de laatste jaren sterk afgenomen in de periode daarvoor (Figuur 2.13).

Op de meetstations van de stroming (Figuur 2.3) bedragen de berekende transporten $0.2-3.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. Deze zandtransporten zijn groter dan de eerder geschatte transporten van $\sim 0.2-0.6 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ in Van der Werf et al. (2016), maar wel van dezelfde orde van grootte. Dit verschil kan worden veroorzaakt door o.a. het gebruiken van een andere transportformule, het beschouwen van een andere periode, het niet expliciet meenemen van golfeffecten in de analytische exercitie en de overschatting van de golfhoogte met het huidige Delft3D model.

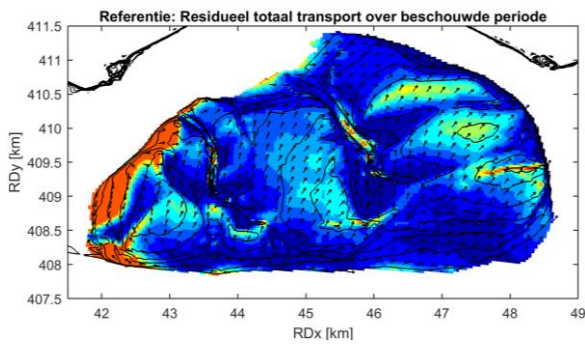


Figuur 7.6 *Netto zandtransport zonder (boven) en met (onder) golven.*

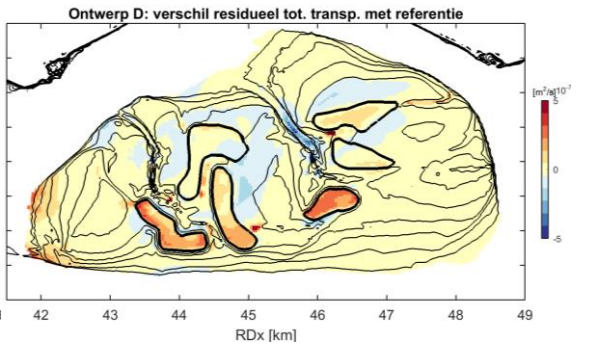
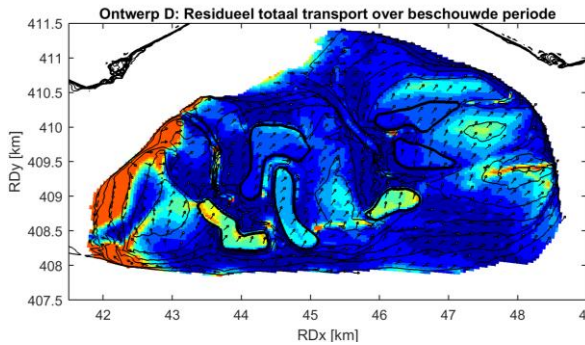
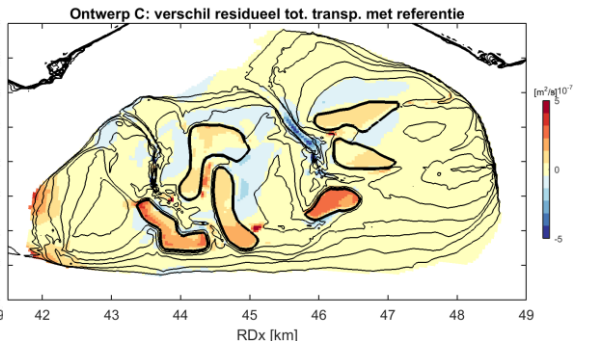
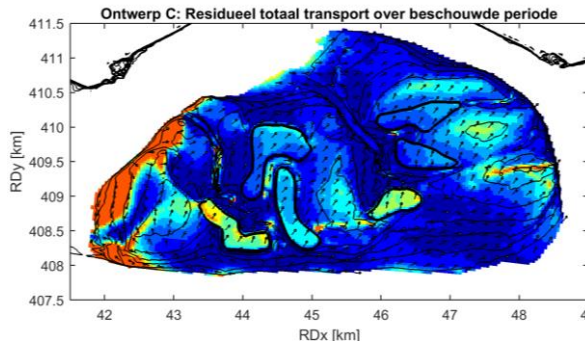
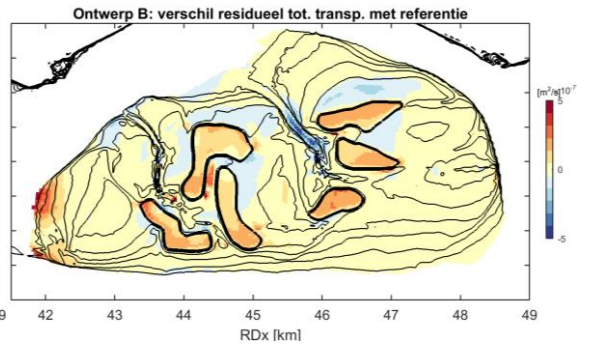
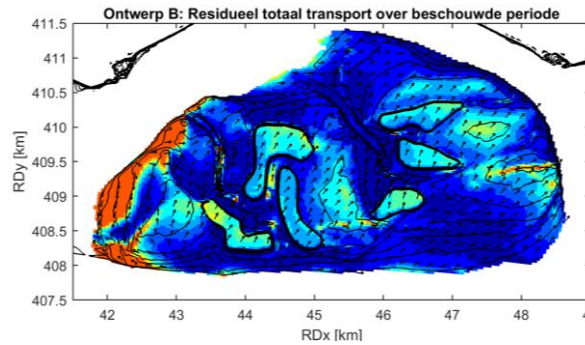
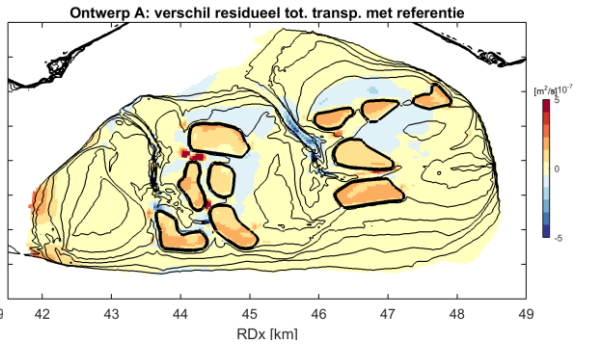
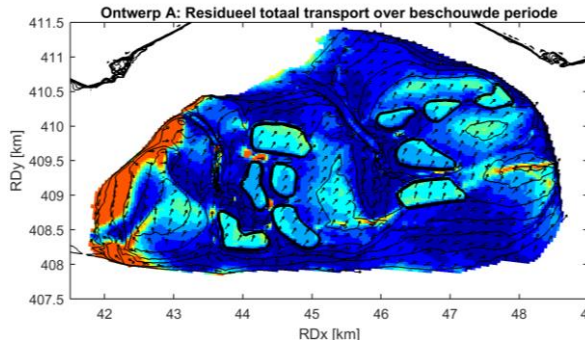
Figuur 7.7 toont de berekende netto zandtransporten voor de referentiesituatie en de vier suppletieontwerpen, alsook het verschil in transportgrootte tussen de ontwerpen en de referentiesituatie. Uit deze figuur blijkt dat de richting van de netto zandtransporten niet wezenlijk verandert door de suppleties; deze blijft noordoostelijk, i.e. de plaat op.

Op de suppleties nemen de zandtransporten sterk toe. Deze gebieden worden als het ware morfologisch actiever door de sterkere golfwerking bij de lagere waterdiepte. De suppletie-elementen met gelijke hoogte (Ontwerpen A en B) ondervinden een vergelijkbare transporttoename; deze hangt dus niet sterk af van de mate van expositie voor de dominante zuidwestelijk wind- en golf richting. Bij ontwerpen C en D nemen de transporten op de zuidelijke suppleties sterker toe dan op de noordelijke suppleties, vanwege het verschil in hoogteligging. Het verschil tussen de impact van deze suppletieontwerpen op de zandtransporten is beperkt, al is de toename van transporten op de noordelijk suppleties bij Ontwerp C en D duidelijk minder dan bij Ontwerp B.

Alle ontwerpen resulteren in een afname van het zandtransport door de oostelijke afvoergeul; de het zandtransport door westelijke afvoergeul wordt nauwelijks beïnvloed. Daarnaast nemen de transporten in de nabijheid van de suppleties over het algemeen af. Dit komt met name door de afscherpende werking tegen golven uit de dominante zuidwestelijke richting; vandaar dat de afname vooral ten noorden van de suppleties optreedt. Tussen sommige suppleties nemen de transporten lokaal sterk toe door de toegenomen stroomsnelheid. Dit effect lijkt wat sterker te zijn voor Ontwerp A, met name voor de westelijke suppleties.



Figuur 7.7 Netto zandtransport en verschil tussen de grootte van het netto zandtransport en de referentie. Rood: toename zandtransport; blauw: afname. De zwarte lijnen geven de suppletiecontouren aan.



7.1.4 MORFOLOGIE

Figuur 7.8 toont de berekende sedimentatie en erosie na 1 representatieve maand, de maand mei 2015. De rechterkolom toont het verschil tussen de berekende sedimentatie en erosie van de ontwerpen en de referentiesituatie. In de referentiesituatie zijn de morfologie veranderingen op het grootste gedeelte van de plaat kleiner dan 0,5 cm. Eigenlijk alleen de westelijke plaatrand, de afvoergeulen en de hogere delen zijn morfologisch actief. De hogere plaatdelen migreren langzaam in noordelijke richting in lijn met de observaties. De morfologische veranderingen zijn wat sterker dan in werkelijkheid (zie b.v. Figuur 2.10) door overschatting van de golfhoogte en variabiliteit in bodemsamenstelling en ander factoren (inspeleffect). Hoewel de berekende veranderingen van de juiste orde van grootte zijn ($\sim\text{cm's/jaar}$) richten we ons daarom met name op het relatieve effect van de suppletieontwerpen, i.e. het verschil ten opzichte van de referentie.

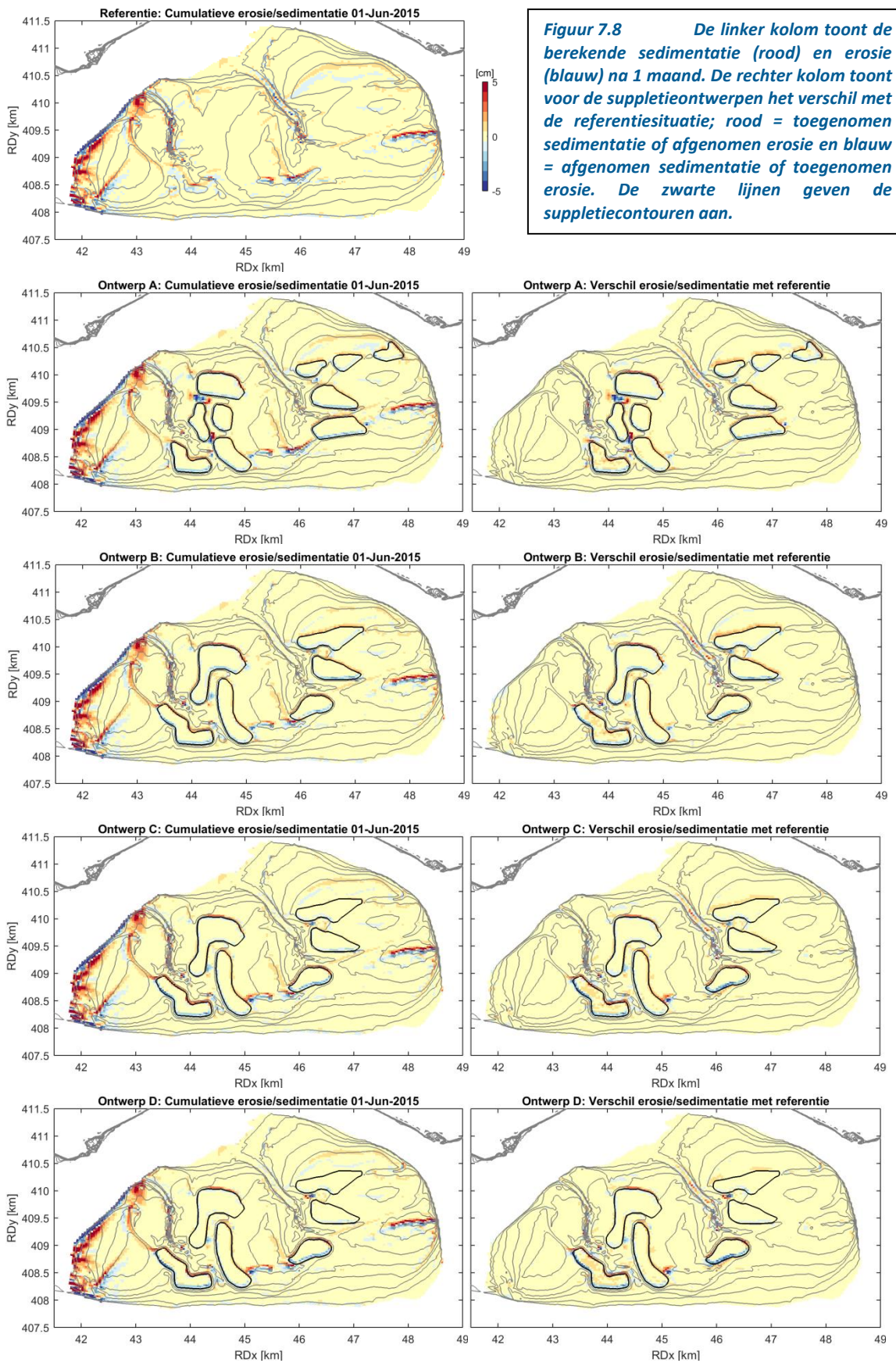
Er vindt direct ten noorden van de suppleties sedimentatie plaats, en ten zuiden erosie. De suppleties migreren in noordelijke richting, in lijn met het noordwaartse netto zandtransport. De bodem in het middengedeelte van de suppleties verandert nauwelijks; verandering vindt met name langs de suppletieranden plaats. De erosie van de oostelijke afvoergeul neemt af door toedoen van de suppleties, in lijn met de afgenomen snelheden. Tussen de suppleties ontstaat hier en daar een lokale erosie, met name direct ten zuiden van de noordwestelijke suppletie van Ontwerp A. De hogere zuidelijke suppleties zorgen ervoor dat de noordelijke suppleties zich minder snel morfologisch ontwikkelen (vergelijk Ontwerpen C en D met B). Dit effect is het sterkste voor het ontwerp met de hoogste suppleties (D). De zuidelijke suppleties migreren bij deze ontwerpen wel wat sneller; het verschil tussen Ontwerpen C en D is hierin beperkt.

Figuur 7.9 toont de volumeontwikkeling in de initiële suppletiecontour. Hierin is duidelijk te zien dat de erosie van het zand vanaf de suppleties “event-driven” is: tijdens veelvoorkomende, rustige windcondities verandert het gesuppleerde volume nauwelijks, terwijl deze afneemt tijdens minder frequente, sterkere windcondities. De volumeafname is voor Ontwerpen A en B vergelijkbaar; met $\sim 3,9 \times 10^3 \text{ m}^3$ na 1 maand. Als we dit lineair extrapoleren correspondeert dit met een “levensduur” van 25-30 jaar. Dit is qua orde van grootte vergelijkbaar met de Galgeplaat suppletie (zie Van der Werf et al., 2015). Dit is waarschijnlijk een onderschatting van de werkelijke levensduur, aangezien het aannemelijk is dat de erosie zal vertragen in de tijd. Verder is het een belangrijke kanttekening dat sediment dat erodeert van de suppletie niet direct verloren gaat, want het draagt op andere delen van de plaat bij aan het areaal intergetijdengebied. In termen van droogvalareaal is de levensduur dan dus langer. De erosie van Ontwerpen C en D is duidelijk lager dan Ontwerpen A en B. De hogere zuidelijke suppleties zorgen dus voor een langzamere erosie van de noordelijke suppleties, terwijl de toename van de erosie van de zuidelijke suppleties beperkt blijft. De volumeafname na 1 maand is dan ook het kleinste voor Ontwerp D ($2,9 \times 10^3 \text{ m}^3$), terwijl deze $3,3 \times 10^3 \text{ m}^3$ bedraagt voor Ontwerp C. De corresponderende levensduren zijn 30-35 jaar voor Ontwerp C en 35-40 jaar voor Ontwerp D.

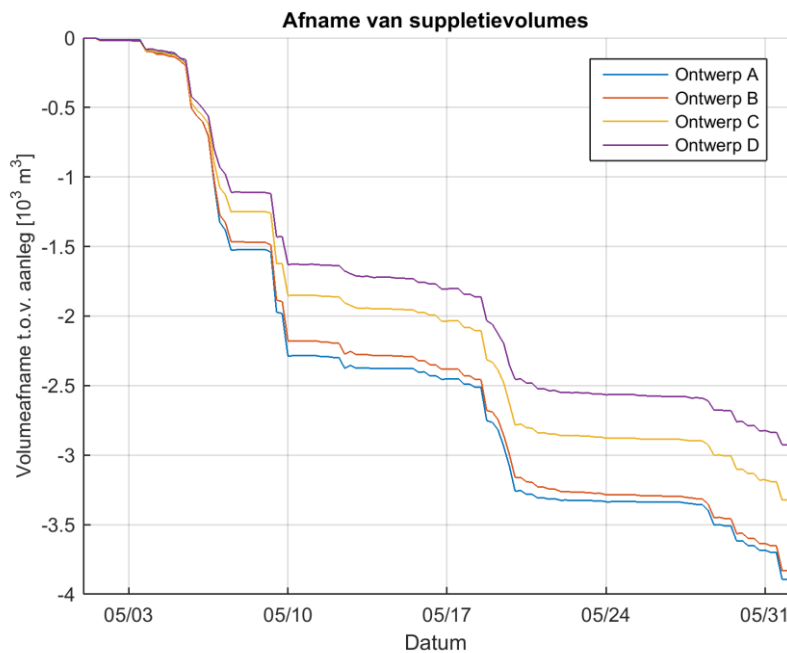
Als we ervan uitgaan dat de volumeverandering van de suppleties veroorzaakt wordt door verplaatsing van het suppletiezand kunnen we een schatting maken van de verplaatsingssnelheid, c_s , van de suppletie:

$$c_s = \frac{\Delta V_s}{L_s \Delta h_s \Delta t} \quad (8.1)$$

Met ΔV_s de volumeverandering van de suppletie in periode Δt , L_s de karakteristieke lengte van de suppletie loodrecht op de verplaatsingsrichting (richting netto zandtransport) en Δh_s de karakteristieke dikte van de suppletie. Dit geeft voor de noordoostelijke suppleties ten zuiden van de mosselpercelen een typische verplaatsingssnelheid van $\sim 10 \text{ m/jaar}$ in lijn met de eerdere schatting van Van der Werf et al. (2016). Deze verplaatsingssnelheid van de suppletie is niet wezenlijk anders per suppletieontwerp.



Figuur 7.8 De linker kolom toont de berekende sedimentatie (rood) en erosie (blauw) na 1 maand. De rechter kolom toont voor de suppletieontwerpen het verschil met de referentiesituatie; rood = toegenomen sedimentatie of afgenomen erosie en blauw = afgenomen sedimentatie of toegenomen erosie. De zwarte lijnen geven de suppletiecontouren aan.



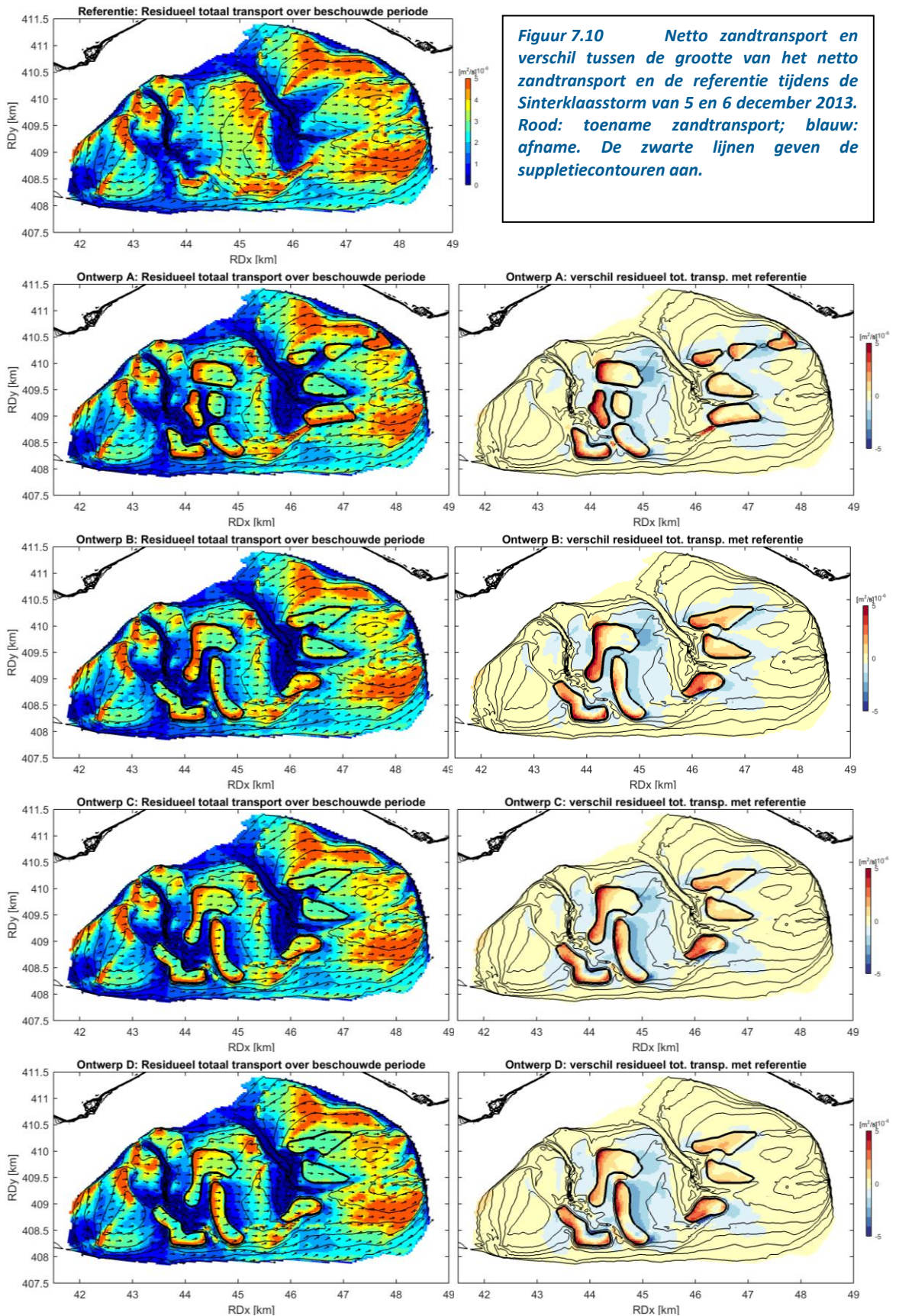
Figuur 7.9 *Afname zandvolume in initiële suppletiecontour gedurende de maand mei 2015.*

7.1.5 STORM EFFECT

Figuur 7.10, Figuur 7.11 en Figuur 7.12 tonen de netto zandtransporten, morfologische ontwikkeling en volumeafname tijdens de Sinterklaasstorm van 5 en 6 december 2013. Hieruit maken we de volgende zaken op.

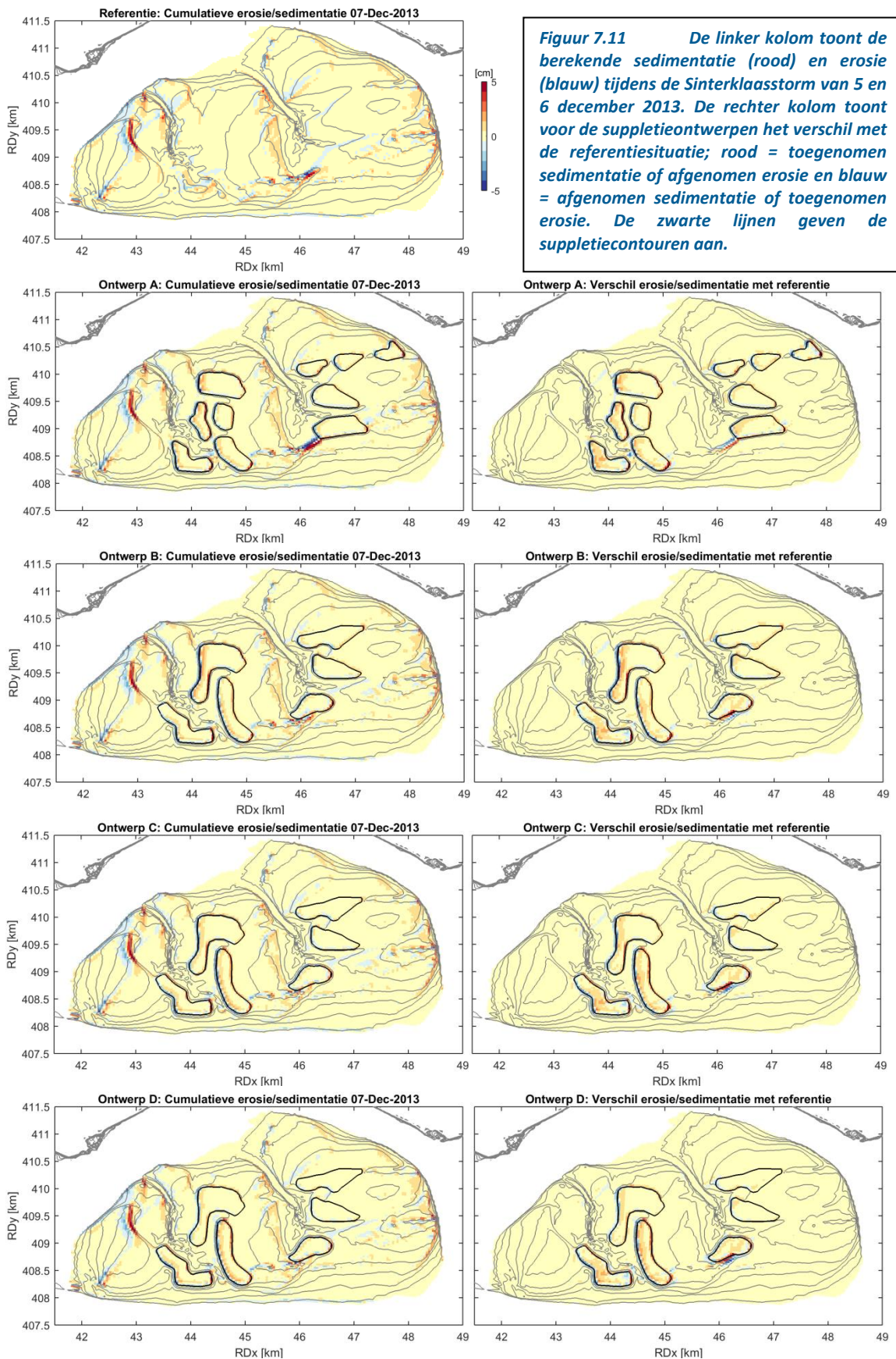
De netto zandtransporten zijn een orde van grootte groter dan de transporten tijdens de representatieve periode (mei 2015), zie Figuur 7.7. De transporten tijdens de Sinterklaasstorm zijn oostwaarts in plaats van noord-/noordoostwaarts in lijn met de wind vanuit het zuidwesten tot noordwesten. De zandtransporten zijn het hoogste op de hogere plaatdelen. Anders dan voor de maand mei zijn de transporten in de afvoergeulen beperkt in vergelijking met de hogere plaatdelen. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de gesloten kering waardoor de getijwerking beperkt is, en dat het zandtransport gedomineerd wordt door golfwerking en wind- en golfgedreven stroming.

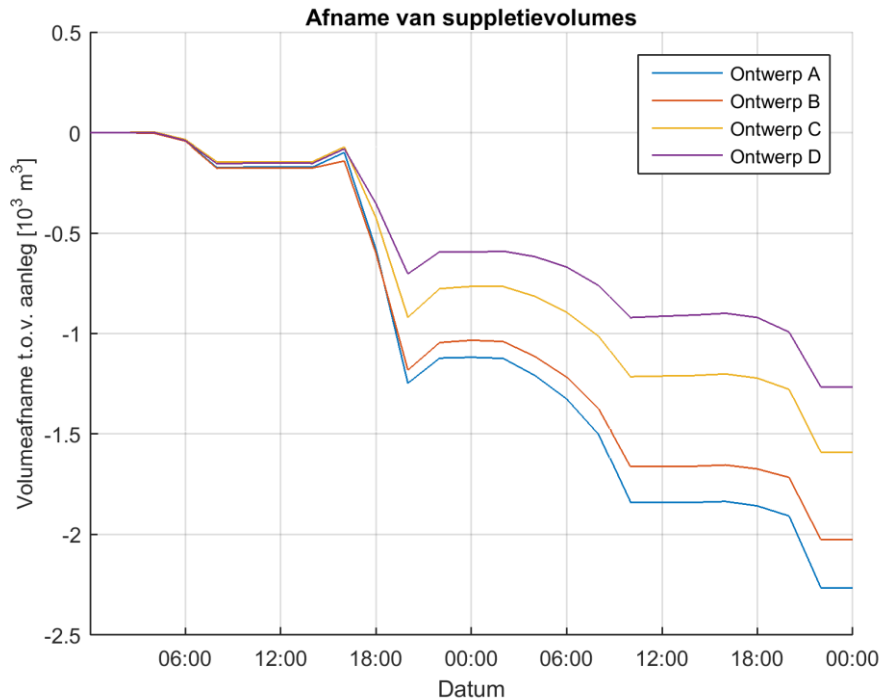
De suppleties veranderen het grootschalig zandtransportpatroon nauwelijks. Het transport op de suppleties neemt toe en ernaast nemen de transporten af. Het effect op de transporten in de afvoergeul is beperkt en de verhoogde transporten tussen de suppleties die optreden voor de gemiddelde condities zijn niet aanwezig. De transporttoename is het sterkste op de westelijke suppleties die geëxponereerd liggen voor de golfaanval. De hogere zuidwestelijke suppleties zorgen voor beschutting van de oostelijke suppleties (Ontwerpen C en D). Het effect van de suppleties tijdens deze storm is kwalitatief vergelijkbaar met de resultaten voor de maand mei, alleen de verschillen tussen de ontwerpen lijken minder sterk.



De bodemveranderingen gedurende de twee dagen Sinterklaasstorm hebben een vergelijkbare grootte als gedurende de maand mei 2015 (Figuur 7.8). De hogere plaatdelen verplaatsen in oostwaartse richting in lijn met de netto zandtransporten. Buiten de directe nabijheid, is de invloed van de suppleties op de berekende sedimentatie-/erosiepatronen beperkt. De geëxponeerde westelijke rand van de suppleties erodeert (dit geldt met name de westelijk suppleties) en dit zand komt deels op de suppletie terecht. De morfologische ontwikkeling van de oostelijke rand is beperkter. De morfologische ontwikkeling van de suppleties is vergelijkbaar al zijn de Ontwerpen C en D wat minder mobiel dan Ontwerpen A en B.

Dit blijkt ook uit de volumeafnames (Figuur 7.12), wat in lijn is met de bevindingen voor de maand mei (Figuur 7.9). Deze ligt voor de verschillende ontwerpen voor de Sinterklaasstorm tussen de $1,3$ en $2,3 \times 10^3 \text{ m}^3$ (in 2 dagen). Als we ervan uitgaan dat een dergelijke storm twee keer voorkomt in 25 jaar (gewenste levensduur van de Roggenplaat suppletie), dan is het stormeffect beperkt in vergelijking met alledaagse condities die zorgen voor 3 tot $4 \times 10^3 \text{ m}^3$ verandering in 1 maand, dus $900-1200 \times 10^3 \text{ m}^3$ in 25 jaar.



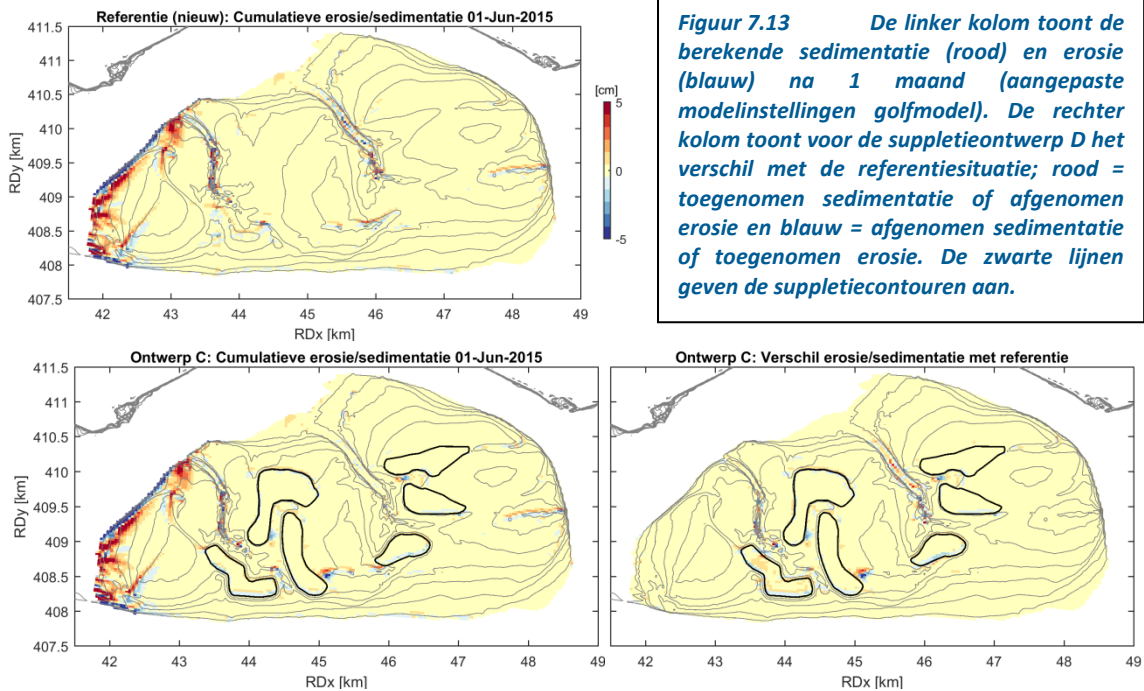


Figuur 7.12 Berekende afname zandvolume in initiële suppletiecontour tijdens de Sinterklaasstorm 5 en 6 december 2013.

7.1.6 GEVOELIGHEID VOOR INSTELLINGEN GOLFMODEL

De golfhoogte wordt door het model overschat (Figuur 6.7 en Figuur 6.8), wat een grote invloed op de berekende zandtransporten en morfologische ontwikkeling op de Roggenplaat zou kunnen hebben, vanwege het belang van golven en de niet-lineaire relatie tussen golfhoogte en zandtransporten. Om dit te onderzoeken is een eerste som gedaan met een brekerparameter (γ) van 0,55 in plaats van 0,73 en met de Madsen et al. (1988) formulering voor dissipatie door bodemwrijving met een ruwheidshoogte van 0,05 m in plaats van de Hasselmann et al. (1973) (JONSWAP) formulering met een coëfficiënt van $0,038 \text{ m}^2/\text{s}^3$. Deze aangepaste instellingen zijn in lijn met het promotieonderzoek van Salmon (2016) De figuren in Bijlage E laten zien dat de berekende golven met deze modelinstellingen beter overeenkomen met de metingen.

De lagere golven resulteren in lagere zandtransporten en een langzamere morfologische ontwikkeling (Figuur 7.13) dan de berekening met de oorspronkelijk instellingen van het golfmodel (Figuur 7.8). De ruimtelijke patronen zijn wel vergelijkbaar. De berekende volumeafname van suppletieontwerp C is dan ook een stuk lager; de typische verplaatsingssnelheid is $\sim 2 \text{ m/jaar}$ voor de noordoostelijke suppletie volgens deze nieuwe modelberekeningen. Ook in deze nieuwe berekeningen is de bijdrage van de Sinterklaasstorm aan de lange-termijn morfologische ontwikkeling beperkt, gezien de kleine kans van voorkomen.



7.1.7 CONCLUSIE

Met uitzondering van de krekken wordt het netto zandtransport op de Roggenplaat bepaald door een combinatie van getij, wind en met name golven. Volgens het Delft3D model zorgen deze onder gemiddelde omstandigheden voor een netto zandtransport in noord-/noordoostelijke richting in lijn met de geobserveerde morfologische veranderingen op de plaat.

De suppleties zorgen met name voor een lokale beïnvloeding van de stroming, de zandtransporten en de morfologische ontwikkeling. Zo ontstaan tussen sommige suppleties een uitslijtgeul; dit effect is het sterkste voor Ontwerp A met 10 in plaats van 6 suppleties. Dit ontwerp heeft ook als klein nadeel dat de invloedgebied van de meest noordoostelijke suppleties verder in noordelijke richting rijkt dan de andere ontwerpen, wat mogelijk minder gunstig is voor de ten noorden hiervan gelegen mosselpercelen, zij het dat de invloed lokaal en beperkt is. Uitzondering op de lokale beïnvloeding vormt de afname van de debieten, snelheden en zandtransporten in de oostelijke afvoergeul, waardoor hier als gevolg van de suppleties een afname van de erosie cq. een toename van sedimentatie zou kunnen plaatsvinden.

Onder representatieve condities verplaatsen de suppleties zich in noord-/noordoostelijke richting met een typische verplaatsingssnelheid van orde 10 m/jaar in lijn met eerdere schattingen met o.a. relatief simpel analytisch model (Van der Werf et al., 2016). In Ontwerpen C en D zorgen de hogere zuidelijke suppleties voor beschutting voor de lagere, noordelijke suppleties die hierdoor langzamer eroderen. De volumeafname binnen de initiële suppletiecontouren is bij deze ontwerpen dan ook minder dan bij suppleties met een uniforme hoogte (A en B). Typische levensduren van de Roggenplaat suppletie op basis van deze volumeafnames zijn enkele tientallen jaren. Dit wil overigens niet zeggen dat na deze periode het zand in zijn geheel van de Roggenplaat is verdwenen.

Het effect van de suppleties op de zandtransporten en morfologische ontwikkeling tijdens de doorgerekende Sinterklaasstorm is kwalitatief vergelijkbaar met de gemiddelde maand mei. Wel staan tijdens deze storm de netto zandtransporten in oostelijke richting in lijn met de zuid- tot noordwestelijke wind, wat tot uiting komt in de erosie van de westelijke rand van de suppleties. De volumeafname gedurende de storm is kleiner dan die optreedt gedurende de representatieve maand mei. Het effect van

deze storm die orde 1x per 10 jaar voorkomt op de morfologische ontwikkeling van de suppleties is dus beperkt.

De golfhoogten worden door het Delft3D model overschat. Volgens een eerste berekening met een aangepast golfmodel zijn de zandtransporten lager en verlopen de morfologische ontwikkelingen waarschijnlijk langzamer dan hierboven beschreven.

7.2 ECOLOGIE

7.2.1 INLEIDING

Ingrijpen in de bodem door sediment te suppleren heeft gevolgen voor het bodemleven. Deze effecten kunnen zowel directe (bv. sterfte bodemleven) als indirecte (bv. effecten door aanvoer gebiedsvreemd sediment, verandering in hydrodynamiek en bodemmorfologie, effecten op de voedselketen door verandering in doorzicht en primaire productie) gevolgen hebben voor het bentische ecosysteem. De bodemdieren (macrozoöbenthos) van intergetijdengebieden spelen een waardevolle rol in het mariene ecosysteem als schakel tussen primaire productie (algen) en hogere trofische niveaus, kringloop van koolstof en nutriënten, en vormen een belangrijke voedselbron voor vogels en vissen maar ook voor de mens (b.v. mosselen, oesters en kokkels).

7.2.2 ECOLOGISCHE VERSTORING

De aanleg van de suppletie resulteert in eerste instantie in het bedolven geraken van het huidige bodemleven door een laag zand. Bodemdieren kunnen tot op zekere hoogte omgaan met sedimentatie die onder natuurlijke omstandigheden kan optreden. De tolerantie tegen begraving is per soort verschillend, maar de meeste soorten kunnen een directe afdekking met enkele tientallen cm niet overleven en een suppletie zal doorgaans leiden tot een grote sterfte van de aanwezige bodemdieren.

In Ontwerp A (voorkeursvariant) en Ontwerp B is de suppletielaag (theoretisch) minimaal 32 cm dik (op basis van een maximale aanleghoogte van +16 cm NAP). Op de meeste plaatsen zal de dikte van de suppletielaag echter hoger zijn. Dit zal leiden tot het afsterven van nagenoeg alle bodemleven, met name de bodemdieren die het voedsel vormen voor steltlopers. In het geval van Ontwerpen C en D varieert de minimale suppletiedikte theoretisch tussen 14 en 51 cm voor Ontwerp C en tussen 4 en 61 cm voor Ontwerp D. In de praktijk zal de suppletiedikte sterk variëren en op de meeste plaatsen enkele tientallen cm bedragen. Wel kan de dunnere suppletielaag in de varianten C en D mogelijk ertoe leiden dat plaatselijk niet alle bodemleven vernietigd wordt.

Dit betekent dat zo'n 15 % van de Roggenplaat tijdelijk ongeschikt is als foerageergebied voor steltlopers. Dit kan een effect hebben op het gebruik van het gebied door steltlopers. In hoeverre vogels (tijdelijk) elders op de Roggenplaat terecht kunnen, dan wel andere gebieden gaan prefereren, is moeilijk te voorspellen en verdient nader onderzoek.

Daarnaast ontstaan er rond de suppletie-eenheden veranderingen in sedimentatie en erosie, met tussen de suppleties een substantiële toename van de stroomsnelheden wat vermoedelijk zal leiden tot uitslijting van geultjes. Dit zal plaatselijk een effect hebben op de bodemdieren, de dynamischere omstandigheden zullen vermoedelijk leiden tot een plaatselijke afname in bodemdieren. In de luwtezone van de suppleties (noordoosten) kunnen dan weer juist rustigere omstandigheden ontstaan. De verschillende varianten laten geen grote onderliggende verschillen zien wat betreft het effect op stroomsnelheden en sedimenttransport rond de suppletiegebieden, en zijn daarmee niet echt onderscheidend van elkaar.

Het sediment van de suppleties zal zich geleidelijk verspreiden over het gebied, op basis van de modellen in belangrijke mate de plaat op in noordoostelijke richting. Verwacht wordt dat dit een geleidelijk proces zal zijn, en dat dit weinig effect zal hebben op de bodemdieren van de niet-gesuppleerde delen (binnen de tolerantiegrens van begraving van de meeste soorten bodemdieren). Ook hiervoor zijn de varianten niet onderscheidend.

Naast het tijdelijk verlies van 15% foerageergebied op de Roggenplaat (door het creëren van een leeg habitat van 225-237 ha), zal er ook een verstoringseffect zijn door de aanlegactiviteiten. Variant A bevat 10 suppletie-elementen, de varianten B, C en D zes. Deze laatste varianten zullen vermoedelijk minder tijd vragen om aan te leggen, wat de duur van de verstoring verkleint. Deze varianten genieten dan ook de voorkeur. Het geniet de voorkeur om per suppletie-element aan te leggen, en niet tegelijkertijd meerdere suppletie-elementen te suppleren. Hierdoor wordt het gebied waar verstoord wordt minimaal gehouden.

7.2.3 ECOLOGISCH HERSTEL

Algemeen

Het ecologisch herstel van de suppletie bepaalt uiteindelijk in belangrijke mate het succes van de ingreep. Het doel van de suppletie is niet enkel creëren van areaal met een geschikte droogvalduur voor foeragerende steltlopers, maar dit areaal moet ook van voldoende kwaliteit zijn, m.a.w. moet voldoende en geschikt voedsel bevatten voor steltlopers. Steltlopers eten met name bodemdieren. Sommige soorten zijn sterk gespecialiseerd, zoals de Scholekster die vooral op kokkels foerageert, of de Kanoet die kokkels en nonnetjes van een bepaalde grootte preferereert. Andere soorten zoals de Zilverplevier zijn vooral wormeneters, of de Wulp die afhankelijk van het seizoen vooral wormen (wadpier) of krabben eet (o.a. Zwarts et al., 2011, De Ronde et al., 2013).

Na de initiële mortaliteit van bodemdieren op de gesuppleerde delen zal herstel optreden van het bodemleven. De rekolonisatie door bodemdieren zal een aantal jaren duren, sommige soorten zullen snel terugkeren, voor andere zal het langer duren. Veel soorten hebben een pelagisch larvaal stadium, en verwacht wordt dan ook dat alle suppletiedelen gerekoloniseerd zullen worden. Sommige soorten zullen vanuit de niet gesuppleerde delen de suppletie koloniseren. Door de iets langere omtrek van variant A (18.3 km doordat er 10 suppletie-elementen zijn) t.o.v. de andere varianten (16.3 km met 6 suppletie-elementen) kan mogelijk herkolonisatie vanuit de niet-gesuppleerde delen wat sneller verlopen, maar de verschillen zijn naar verwachting eerder klein. De exacte hersteltijd is moeilijk te voorspellen maar eerdere suppleties als de Galgenplaat en de Oesterdam laten zien dat dit enkele jaren in beslag neemt. Dit wil niet zeggen dat zich daarmee een volledig gelijkaardige gemeenschap zal ontwikkelen op de suppletie. Een aantal omgevingscondities is immers sterk gewijzigd door de suppletie. Dit zijn onder meer de droogvalduur, de sedimentsamenstelling en de hydrodynamische condities. Ook de helling kan van belang zijn. De heersende hydrodynamiek, droogvalduur, morfologie en sedimentsamenstelling zijn sturende factoren voor het leven in intergetijdengebieden. Deze sturende factoren bepalen de habitatkenmerken van een gebied maar hebben ook een invloed op de vestiging, overleving en conditie van bodemdieren en op het transport van voedsel, larven en adulte organismen. Een suppletie zal tot veranderingen leiden in de sturende factoren en daarmee mogelijk ook op de gemeenschapsstructuur van het bodemleven op de Roggenplaat. Dit kan vervolgens dan weer doorwerken op het voedselweb en de hogere trofische niveaus zoals vissen en vogels.

Daarnaast kunnen ook biotische interacties een rol spelen. De suppletie is in eerste instantie een open niche voor heel wat soorten, en afhankelijk van welke soort zich eerst vestigt kunnen andere soorten hierdoor beïnvloed worden. Dit is echter moeilijk te voorspellen. De Oesterdam suppletie liet zien dat heel wat soorten schelpdieren, zoals de kokkel (*Cerastoderma edule*), nonnetje (*Macoma balthica*) en Filipijnse tapijtschelp (*Ruditapes philippinarum*) zich vestigden één jaar na de suppletie. Mogelijke verklaringen voor deze succesvolle vestiging waren de afwezigheid van sterke bioturbatoren zoals de wadpier (woelen de bodem om waardoor schelpdierlarven die zich net gevestigd hebben begraven worden) op de suppletie of een veranderde hydrodynamiek (luwere omstandigheden op bepaalde delen van de suppletie). Dit moet echter nog nader onderzocht worden.

Droogvalduur

De meeste soorten bodemdieren hebben een relatief grote tolerantie voor droogvalduur, hoewel er duidelijk verschillen zijn tussen soorten (zie o.a. Troost & Ysebaert, 2011). In de Oosterschelde komt doorgaans de grootste biomassa voor bij een droogvalduur tussen 20 en 60 % (Troost & Ysebaert, 2011).

Tussen 60-80 % droogvalduur komt doorgaans een lagere biomassa voor. Op deze hogere is de biomassa in de Oosterschelde duidelijk lager, maar komen wel enkele soorten in grote aantallen voor. Zo komt het wadslakje (*Peringia ulvae*) juist in grote aantallen voor op de hogere delen, vaak met 10000den per m². Ook Oligochaeta kunnen in grote aantallen voorkomen op de hogere delen. Op de lagere delen is de biomassa ook vaak lager, omdat hier de dynamiek (golven, stroming) vaak groter is.

Ontwerpen A en B worden aangelegd met een uniforme hoogte aangelegd tot +0.48 m NAP, wat ongeveer overeenkomt met 65% droogvalduur. Deze varianten zullen dan ook niet verschillen in ontwikkeling van het bodemleven na suppleren. Qua droogvalduur zitten ze aan de bovengrens van waar de meest rijke bodemdiergebieden voorkomen. Ontwerpen C en D worden met een variabele hoogte aangelegd, waardoor de droogvalduur varieert tussen 60 – 70 % in Ontwerp C en 55 – 75 % in Ontwerp D. Deze variatie zal mogelijk leiden tot een grotere variatie en diversiteit in bodemdieren, wat mogelijk meerdere vogelsoorten ten goede kan komen. Ook wordt hiermee de beschikbare foerageertijd wat groter gemaakt (vogels kunnen eerder beginnen met foerageren op de hogere delen en indien nodig bij vloed ook langer doorfoerageren). In hoeverre deze variatie in droogvalduur op termijn blijft bestaan is onzeker, aangezien de verschillende suppleties waarschijnlijk anders zullen evolueren. Ecologisch gezien heeft Ontwerp D de voorkeur. Er zou nog kunnen geopteerd worden om niet alle hoge suppleties in het zuiden te leggen, maar nog wat te variëren hiermee.

Mediane korrelgrootte

De samenstelling van het sediment is tevens een sturende factor voor het voorkomen van bodemdieren en verschillende soorten hebben een verschillende voorkeur voor het type sediment waar ze in voorkomen. Net als bij de droogvalduur hebben soorten vaak een grote tolerantie, maar sommige soorten komen meer voor in een slibrijke omgeving, terwijl andere soorten een grovere korrel prefereren. De sedimentsamenstelling zegt ook iets over de hydrodynamiek, zandige, grove sedimenten komen eerder voor onder hoogdynamische omstandigheden, slibrijke bodems eerder onder laagdynamische omstandigheden. Wanneer de sedimentsamenstelling van de suppletie afwijkt, kan een andere bodemdiergemeenschap gaan domineren.

De huidige mediane korrelgrootte op de Roggenplaat bedraagt gemiddeld 210 µm, variërend tussen 99 en 289 µm. Vooral de westkant heeft een hogere mediane korrelgrootte, een gebied waar niet gesuppleerd wordt. In de Oosterschelde komt op basis van de MWTL dataset (n=367, periode 2008 – 2012) een gemiddelde mediane korrelgrootte voor van 167 µm in het intergetijdengebied, variërend tussen 39 en 279 µm. Het suppletiezand dat gestort wordt is grover en kan tot 400 µm bedragen. Verwacht wordt dat de korrelgrootte op een aantal plaatsen > 300 µm zal bedragen. Dit is dus hoger dan wat doorgaans van nature voorkomt in het intergetijdengebied van de Oosterschelde. Het is bekend dat in grove sedimenten bepaalde bodemdieren niet kunnen leven, b.v. omdat ze hun gangenstelsel niet kunnen bouwen. Ook zal een grover sediment meer waterdoorlatend zijn wat kan leiden tot uitdroging van de toplaag bij laag water, wat vestiging en overleving van bodemdieren kan bemoeilijken. Grove sedimenten komen vaak voor in meer dynamische milieus, en bodemdieren zijn hieraan aangepast. Het betreft mobiele soorten zoals *Amphipoda* (b.v. bulldozerkreeftje, kniksprietkreeftje) of snelgravende wormen (bijv. zandzagers). In hoeverre deze soorten ook zullen domineren op de suppleties is echter niet bekend.

De mediane korrelgrootte is niet onderscheidend tussen de varianten, aangezien voor alle varianten gebruik gemaakt wordt van dezelfde winlocatie. Aanbevolen wordt om in de mate van het mogelijke rekening te houden met de korrelgrootte tijdens het suppleren, waarbij de grovere en fijnere fracties uit de winlocatie zoveel mogelijk gemengd worden. In hoeverre door natuurlijke sortering het gesuppleerde materiaal weer terugkeert naar het oorspronkelijke materiaal is onzeker.

Hydrodynamiek

De hydrodynamiek, bepaald door getij, wind en golven, is een belangrijke sturende factor voor het voorkomen van bodemdieren. In estuaria en kustgebieden zoals de Westerschelde en Oosterschelde wordt vaak een duidelijk verband vastgesteld tussen het voorkomen van bodemdieren (soortenrijkdom, biomassa, densiteit) en stroomsnelheden. Er is een duidelijke negatieve relatie tussen maximale

stroomsnelheid en ecologische rijkdom. Ook voor de tijdsduur dat een bepaalde stroomsnelheid wordt overschreden (Ysebaert et al., 2009, 2016) wordt eenzelfde negatieve relatie vastgesteld met ecologische rijkdom.

Plaatselijk gaat door het suppleren de bodemschuifspanning o.i.v. stroming en golven veranderen. Tussen de suppleties gaat de stroomsnelheid toenemen, op de suppleties zelf gaat de stroomsnelheid eerder afnemen. Maar door een grotere golfwerking op de suppleties zal de bodemschuifspanning hier toch toenemen. In hoeverre deze verschillen zullen leiden tot andere bodemdiergemeenschappen is moeilijk te voorspellen, maar verwacht wordt dat de relatief kleine verschillen in bodemschuifspanning niet zullen leiden tot grote verschillen in bodemdiergemeenschappen. Nadere monitoring moet dit uitwijzen. Daar waar geulvorming optreedt, zal wel een verandering optreden. Overigens zijn de verschillende varianten niet echt onderscheidend. Enkel Ontwerp A lijkt een wat groter effect te hebben, voor wat betreft de oostelijke suppleties, terwijl dit voor de andere ontwerpen kleiner is. Deze ontwerpen hebben dan ook de voorkeur.

Helling

Flauwe hellingen van de suppletie zijn te prefereren boven heel steile hellingen. Op de Galgenplaat is duidelijk vastgesteld dat de hoogste delen van de suppletie snel uitdroogden tijdens laag water (met zelfs aeolisch transport), wat duidelijk tot een tragere rekolonisatie (en daarmee ook lagere densiteit en biomassa) leidde t.o.v. de lagere, nattere delen. Zowel bij de Galgeplaat als de Oesterdam suppletie blijkt vooral de nattere delen sneller gerekoloniseerd te worden. Het is aan te raden om de suppleties aan te leggen met flauwe hellingen. Aan de geëxponeerde zuidkant van de suppleties kan eventueel gewerkt worden met wat steilere hellingen, terwijl de noordkanten flauwer kunnen zijn. Dit is verder niet onderscheidend tussen de varianten, maar kan meegenomen worden bij de aanleg criteria.

Effect op watervogels

Vervolgens is een belangrijke vraag hoe de suppletie tijdens de herstelperiode en daarna zal gebruikt worden door watervogels, met name steltlopers. Na aanleg is in eerste instantie zo'n 15% van de Roggenplaat ongeschikt als foerageergebied. In hoeverre steltlopers dan elders op de Roggenplaat voldoende voedsel vinden of ze moeten uitwijken naar andere gebieden moet gemonitord worden. Door rekolonisatie van bodemdieren zal het gebied de jaren daarop volgend terug aantrekkelijk worden voor steltlopers. De Galgenplaat heeft aangetoond dat ondanks de rekolonisatie en het herstel van de bodemdiergemeenschappen na 3-5 jaar, de aantallen steltlopers toch nog niet eenzelfde niveau halen als nabijgelegen referentiegebieden. Het is echter op dit moment onduidelijk waar dit aan kan liggen en vereist mogelijk nader onderzoek. Zoals eerder aangehaald is de prooikeuze verschillend tussen soorten. Afhankelijk van hoe de rekolonisatie van de bodemdieren verloopt, zullen bepaalde vogelsoorten mogelijk geschikter dan wel minder geschikt voedsel aantreffen. Dit moet gemonitord worden. Zoals eerder gesteld leveren Ontwerpen C en D een grotere variatie in droogvalduren, wat mogelijk leidt tot een meer gediversifieerde bodemdiergemeenschap. De beschikbare foerageertijd is tevens in Ontwerp D het grootst, en lijkt ecologisch de meest interessante.

Effect op zeehonden

Naast de functie van de Roggenplaat als foerageergebied voor watervogels is de Roggenplaat ook belangrijk als ligplaats voor zeehonden, met name de grote noordoostelijke afwateringsgeul. Hier liggen de zeehonden op relatief steile geulranden. De maximale stroomsnelheid in deze geul gaat afnemen door de aanleg van de suppleties, waardoor mogelijk de geul gaat verondiepen. Er wordt echter verwacht dat dit geen groot effect zal hebben op de geulranden en de ligplaats functie voor zeehonden behouden blijft.

Samenvatting ecologie

Op basis van bestaande kennis en expert judgement wordt Ontwerp D als meest ecologisch waardevolle variant beschouwd. Een grotere variatie in droogvalduur vergroot mogelijk de biodiversiteit en verhoogt de beschikbare foerageertijd voor vogels. Aandachtspunt is de korrelgrootte. De mediane korrelgrootte van het suppletiezand is groot en kan mogelijk een effect hebben op de bodemdiergemeenschappen. Het ecologische herstel na aanleg van de suppletie kan mogelijk bevorderd worden door "priming", zie Bijlage D.

7.3 UITVOERING

In de onderstaande tekst zijn de vier suppletieontwerpen (A t/m D; Figuur 5.2 t/m Figuur 5.6) vergeleken m.b.t. de kosten. Witteveen en Bos heeft in een notitie (Bijlage C) de kosten berekend per m³ en per ontwerp. Daarnaast is eerder al aangetoond dat voor de verwachte persafstanden het niet noodzakelijk is om een opjaagstation toe te passen (Van der Werf et al., 2016). Het gebruik hiervan is kosten verhogend, om die reden is in de onderstaande tekst alleen gekeken naar de kosten voor een walpersoperatie zonder opjaagstation.

Naast de kosten is gekeken naar mogelijkheden om te kunnen sturen op de korrelgrootte. Vanuit ecologisch perspectief is het wenselijk om zo dicht mogelijk bij de huidige korrelgrootte te blijven van de Roggenplaat (~100-300 µm). Als laatste wordt ingegaan op de aspecten die te maken hebben met de uitvoering van het werk op de Roggenplaat en een advies m.b.t. de onderdelen die van belang zijn voor de uitvraag aan de markt.

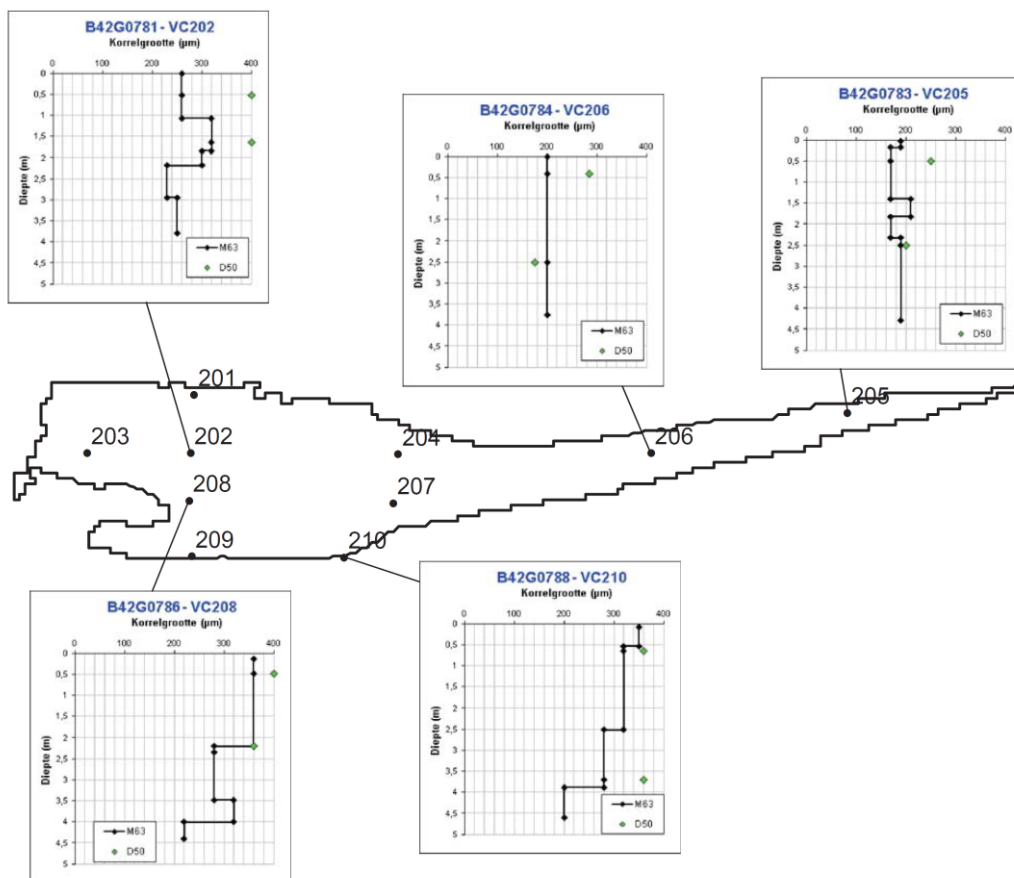
7.3.1 KOSTEN

Het prijsverschil tussen de varianten worden bepaald door verschillen in vaarafstand en verschillen in het uit te voeren leidingwerk (Bijlage C). Gezien de vaarafstanden is het gebruik van de zuidelijke aanleglocatie 5-6% goedkoper dan het gebruik van de oostelijke aanleglocatie. Dit kleine verschil in combinatie met de beperkte verschillen in ruimtelijke spreiding van de suppletie-eilanden, zorgt voor een minimale invloed op de prijsverschillen tussen de varianten. Ontwerp A kent de meeste suppletie-eilanden; dit vraagt om meer leidingwerk wat in beperkte mate kostenverhogend is.

De kosten per m³ voor de suppletieontwerpen A t/m D laten een zeer klein verschil zien. Witteveen en Bos berekent voor variant A: €4,60 per m³, B: €4,60 per m³, C: €4,50 per m³ en D: €4,50 per m³ (kosten exclusief BWT). De verschillen vallen ruim binnen de foutenmarge (± 30%) van de kostenberekening.

7.3.2 GEBRUIK WINGEBIED

De winlocatie Roompot laat in het oostelijke deel een fractie zien van D₅₀ = 250-280 µm boven op een fijnere fractie van 180-200 µm (Figuur 7.14). Het westelijke deel van de winlocatie bestaat hoofdzakelijk uit zand van 350-400 µm. Gezien het beschikbare volume in het wingebied (netto volume is 5,2 miljoen m³, Vonhögen-Peeters et al., 2013) en de (ecologische) wens om vooral de fijnere fractie toe te passen uit de winlocatie omdat deze meer overeenkomt het huidige zand op de Roggenplaat, ligt het voor de hand om in het oostelijk gebied het zand op te zuigen. Dit deel van de winlocatie bevat ongeveer 50% van het beschikbare zand wat gelijk is aan 2,6 miljoen m³ (de laagdikte is gemiddeld 7,4 m dik zonder de aanwezigheid van een stoorlaag; Vonhögen-Peeters et al., 2013). In de rapportage van MH Poly Consultants & Engineers B.V (2015), zijn de boring in dit deel van het wingebied omschreven als *zand, matig fijn, matig siltig* (matig fijn zand = 150-210 µm).



Figuur 7.14 Korrelgrootte verdeling in de het wingebied Roompot (Vonhögen-Peeters et al., 2013).

7.3.3 AANLEG-EISEN

Toleranties

Bij het op stellen van het bestek is het verstandig om aan te geven welke afwijkingen in de hoogte tussen het ontwerpen en de realisatie van de suppleties acceptabel is. Men kan er voor kiezen om te werken met een tweetal toleranties: micro-tolerantie geeft aan welke afwijking acceptabel op een schaal van maximaal 400 m² (20x20 m), dit betreft dus lokale kuilen en bulten; macro-tolerantie betreft de afwijking op de schaal van een suppletie-element, dit is dus het verschil in gemiddelde hoogte tussen ontwerp en gerealiseerd ontwerp. Met deze twee toleranties geeft de opdrachtgever aan dat lokale afwijkingen acceptabel zijn, maar dat de gemiddelde hoogte en dus totale volume wel gehaald moeten worden binnen een afgesproken tolerantie. Suppleren op intergetijdengebieden met mogelijk lokale erosie tijdens het suppleren maakt het moeilijk en duur om een exact ontwerp te eisen. Hieronder een voorstel voor de twee besproken toleranties:

- Micro-tolerantie +/- 30 cm (lokale “kuilen en bulten”) per oppervlakte eenheid van 400 m²
- Macro-tolerantie +10 cm/-5 cm per suppletie-element

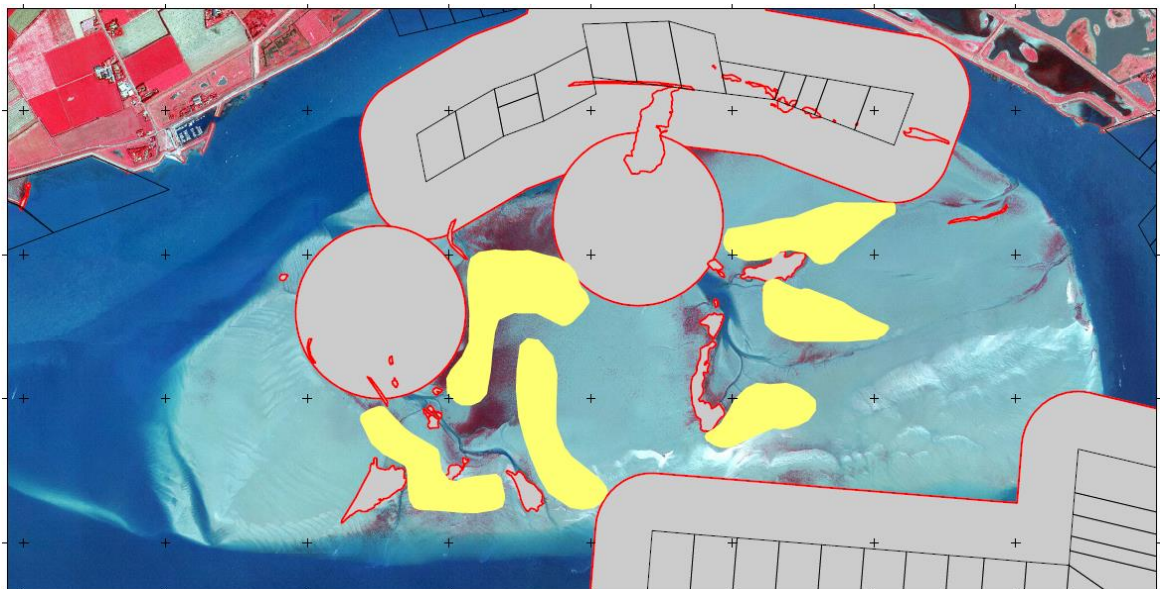
Indien meer zand beschikbaar is door variaties in kuubprijzen dan heeft het de voorkeur om vast te houden aan het vastgestelde areaal en deze afwijking op te vangen in de hoogte. Meer hoogte geeft meer buffer in relatie tot de doelhoogte van de suppletie (50-80% droogvalduur). Het is niet wenselijk als een overschot aan zand leidt tot een hoogte van > 1,0 m NAP wat overeenkomt met het niveau van 80% droogvalduur, omdat dit buiten de beoogde doelhoogte valt en dus niet direct bijdraagt aan de doelstellingen van het project. Wanneer er minder zand beschikbaar is het vooral belangrijk om zoveel

mogelijk het areaal 50-80% droogvalduur te realiseren, de grootte van het grondoppervlak (footprint) van de suppletie is dan minder belangrijk.

Tijdens de ontwerpssessies op 19 september 2016 is bepaald dat een bandbreedte in het talud van 1/40 – 1/70 acceptabel is. Dit talud zal in hoofdzaak afhankelijk zijn van het zandwatermengsel in de persleiding en of er onderwater of bovenwater wordt gesuppleerd.

Uitgesloten gebieden tijdens de uitvoering

In Hoofdstuk 4 is de geschiktheidskaart besproken en aangegeven waar wel en niet kan worden gesuppleerd. Van de zes criteria zijn er drie criteria waarvoor geldt dat tijdens de uitvoering de gebieden niet betreden mogen worden dit zijn: Mosselpercelen (+400 m bufferzone), zeehondenrustplaats (+600 m bufferzone) en de natuurlijke oesterriffen. In onderstaande figuur zijn deze gebieden aangegeven inclusief de suppleties. Of de uitvoering effectief kan plaats vinden zonder het betreden van de natuurlijke oesterriffen zal met de uitvoerder besproken moeten worden, maar het is wenselijk om ook deze gebieden te ontzien.



Figuur 7.15 Gebieden in grijs waarvan voorgesteld wordt dat deze niet toegankelijk tijdens de uitvoering, in geel de contouren van suppletieontwerp C.

Beperken van verstoring

De Roggenplaat is een kwetsbaar gebied en ook tijdens de uitvoering is het gebied in gebruik bij vogels, zeehonden en de schelpdiersector. Om het gebied niet in één keer te belasten is het wenselijk dat de suppleties in fasen uit te voeren. Bijvoorbeeld eerst de drie zuidwestelijke suppleties aanleggen en wanneer dit is afgerond verder gaan met de oostelijke drie suppleties (Figuur 7.15). Dit geeft vogels de kans om andere gebieden op de Roggenplaat te benutten en ook zeehonden kunnen zich eventueel aanpassen.

De verstoring kan ook beperkt worden door de uitvoering in de tijd te optimaliseren, gelet op ecologisch gebruik van de Roggenplaat door het jaar heen.

Wellicht is het aantrekkelijk om uitvoerders uit te dagen om de verstoring van het gebied te minimaliseren en hiervoor een waarde aan toe te kennen.

7.4 INTEGRALE AFWEGING

Tabel 7.2 tot en met Tabel 7.5 tonen voor de vier suppletieontwerpen het ingevulde afwegingskader. Hierbij is de toekomstige areaalontwikkeling geschat op basis van een uniform verticale erosie van 20 cm tussen de aanleg van de suppletie en 2035 (doeljaar). De meeste recente bodem, 2013, is hierbij als T0 genomen, i.e. de bodem vlak voor aanleg. De suppletie zal waarschijnlijk in de winter van 2017/2018 worden aangelegd. De bodemligging en arealen vlak voor en na de werkelijke aanleg zullen afwijken van de in onderstaande tabellen getoonde waarden. Bij een doorgaande erosie zal het 50-80% DVD areaal in 2017 kleiner zijn dan in 2013. Echter, de verwachte erosie tussen 2017 en 2035 (doeljaar) is minder dan tussen 2013 en 2035, vanwege de kortere periode. Dit betekent dat als de aangenomen relatieve erosie van 0,9 cm/jaar ook daadwerkelijk optreedt vanaf de huidige T0 (2013), de conclusies met betrekking tot de arealen in 2035 onveranderd blijven.

Als 0% DVD is de waarde genomen die 99,9% van de tijd wordt overschreden (NAP -1,80 m), en als 100% DVD is een waarde genomen die 99,9% van de tijd wordt onderschreden (NAP +2,07 m). Verder is de suppletieomtrek bepaald in plaats van de waterlijn, omdat deze geen eenduidige definitief heeft.

Voor de volledigheid toont Tabel 7.1 de geschatte areaalontwikkeling van de Roggenplaat zonder dat er een suppletie wordt uitgevoerd. Hieruit blijkt dat het 50-80% DVD areaal in 2035 met 421 ha een stuk lager ligt dan de 606 ha in het referentiejaar.

Tabel 7.1 Voorspelde areaalontwikkeling Roggenplaat zonder suppletie.

Areaal droogvalduur (ha)	0-20%	20-50%	50-80%	80-100%
Referentiejaar (2010)	268	763	606	2
Vlak voor aanleg	283	752	611	3
Na aanleg	283	752	611	3
Doeljaar (2035)	329	840	421	0

Tabel 7.2 Afwegingskader suppletieontwerp A.

Suppletiekenmerken				
V_{suppl} ($\times 10^6 m^3$)	$Z_{b, suppl}$ (m NAP)	A_{suppl} (ha)	#suppleties	Omtrek (km)
1,32	+0,48	237	10	18,3
Type 1 indicatoren: Onderscheidend per variant				
Areaal droogvalduur (ha)	0-20%	20-50%	50-80%	80-100%
Referentiejaar (2010)	268	763	606	2
Vlak voor aanleg	283	752	611	3
Na aanleg	283	612	752	3
Doeljaar (2035)	327	651	612	0
Type 2 indicatoren: Neveneffecten				
Footprint na aanleg	Kwantitatief (ha)	237		
Suppletieomtrek (km)	18,3			
Deskundigenoordeel en –overwegingen				
Oordeel t.a.v. morfologie	Dit ontwerp voldoet naar verwachting aan het 50-80% DVD areaal criterium in 2035. De meest noordoostelijke suppletie heeft een sterker effect op het gebied ten zuiden van de noordelijke mosselpercelen dan de andere ontwerpen. De uitslijtgeulen tussen de suppleties zijn naar verwachting wat sterker dan bij de andere ontwerpen. Het suppletiezand erodeert sneller dan bij Ontwerpen B, C en D.			
Oordeel t.a.v. ecologie	De aanleg van de suppletie resulteert in eerste instantie in het bedolven geraken van het huidige bodemleven door een laag			

	zand, wat doorgaans leidt tot een grote sterfte van de aanwezige bodemdieren. Het ecologische herstel zal een aantal jaren in beslag nemen. Dit ontwerp heeft een uniforme aanleghoogte en daarom minder variatie in droogvalduur, en hierdoor minder biodiversiteit en beschikbare foerageertijd voor vogels dan de ontwerpen met een variabele suppletiehoogte (C en D). Naar verwachting zal het behoud van het areaal 50-80% DVD na het ecologische herstel de foerageerfunctie van de Roggenplaat voor steltlopers in stand houden.
Oordeel t.a.v. wijze van aanleg	De vier suppletieontwerpen zijn qua kosten niet onderscheidend.

Tabel 7.3 Afwegingskader suppletieontwerp B.

Suppletiekenmerken					
V_{suppl} ($\times 10^6 m^3$)	$Z_{b,suppl}$ (m NAP)	A_{suppl} (ha)	#suppleties	Omtrek (km)	
1,32	+0,48	225	6	16,5	
Type 1 indicatoren: Onderscheidend per variant					
Areaal droogvalduur (ha)	0-20%		20-50%	50-80%	80-100%
Referentiejaar (2010)	268		763	606	2
Vlak voor aanleg	283		752	611	3
Na aanleg	283		608	755	3
Doeljaar (2035)	327		657	607	0
Type 2 indicatoren: Neveneffecten					
Footprint na aanleg	Kwantitatief (ha)	225			
Suppletieomtrek (km)		16,5			
Deskundigenoordeel en –overwegingen					
Oordeel t.a.v. morfologie		Dit ontwerp voldoet naar verwachting aan het 50-80% DVD areaal criterium in 2035. Het suppletiezand erodeert sneller dan bij Ontwerpen C en D.			
Oordeel t.a.v. ecologie		Dit ontwerp is qua verstoring en ecologische herstel vergelijkbaar met Ontwerp A.			
Oordeel t.a.v. wijze van aanleg		De vier suppletieontwerpen zijn qua kosten niet onderscheidend.			

Tabel 7.4 Afwegingskader suppletieontwerp C.

Suppletiekenmerken					
V_{suppl} ($\times 10^6 m^3$)	$Z_{b,suppl}$ (m NAP)	A_{suppl} (ha)	#suppleties	Omtrek (km)	
1,32	+0,30 +0,67	231	6	16,5	
Type 1 indicatoren: Onderscheidend per variant					
Areaal droogvalduur (ha)	0-20%		20-50%	50-80%	80-100%
Referentiejaar (2010)	268		763	606	2
Vlak voor aanleg	283		752	611	3
Na aanleg	283		614	749	3
Doeljaar (2035)	327		644	619	0
Type 2 indicatoren: Neveneffecten					
Footprint na aanleg	Kwantitatief (ha)	231			
Suppletieomtrek (km)		16,5			

Deskundigenoordeel en –overwegingen	
Oordeel t.a.v. morfologie	Dit ontwerp voldoet naar verwachting aan het 50-80% DVD areaal criterium in 2035. Het suppletiezand erodeert wat sneller dan bij Ontwerp D, en langzamer dan Ontwerpen A en B.
Oordeel t.a.v. ecologie	Dit ontwerp is qua verstoring en hersteltijd vergelijkbaar met de andere ontwerpen. De grotere variatie, door de verschillende suppletiehoogtes, in droogvalduur vergroot mogelijk de biodiversiteit en verhoogt de beschikbare foerageertijd voor vogels in vergelijking met Ontwerpen A en B. Dit effect is minder sterk dan voor Ontwerp D.
Oordeel t.a.v. wijze van aanleg	De vier suppletieontwerpen zijn qua kosten niet onderscheidend.

Tabel 7.5 Afwegingskader suppletieontwerp D.

Suppletiekenmerken					
V_{suppl} ($\times 10^6 m^3$)	$Z_{b,suppl}$ (m NAP)	A_{suppl} (ha)	#suppleties	Omtrek (km)	
1,32	+0,20 +0,77	232	6	16,5	
Type 1 indicatoren: Onderscheidend per variant					
Areaal droogvalduur (ha)	0-20%		20-50%	50-80%	80-100%
Referentiejaar (2010)	268		763	606	2
Vlak voor aanleg	283		752	611	3
Na aanleg	283		608	655	3
Doeljaar (2035)	327		640	624	0
Type 2 indicatoren: Neveneffecten					
Footprint na aanleg	Kwantitatief (ha)	232			
Suppletieomtrek (km)		16,5			
Deskundigenoordeel en –overwegingen					
Oordeel t.a.v. morfologie	Het suppletiezand erodeert langzamer dan de andere ontwerpen. Dit ontwerp voldoet naar verwachting aan het 50-80% DVD areaal criterium in 2035. Alleen de lager gelegen noordelijke suppleties hebben weinig marge qua bodemligging, zodat het halen van het DVD criterium meer onzeker is dan bij de andere ontwerpen.				
Oordeel t.a.v. ecologie	Dit ontwerp is qua verstoring en hersteltijd vergelijkbaar met de andere ontwerpen. Dit ontwerp zorgt voor de grootste variatie in droogvalduur wat mogelijk de biodiversiteit vergroot en de beschikbare foerageertijd voor vogels verhoogt.				
Oordeel t.a.v. wijze van aanleg	De vier suppletieontwerpen zijn qua kosten niet onderscheidend.				

We concluderen dat Ontwerpen C en D als beste uit de bus komen. Ecologisch is Ontwerp D wat beter, omdat het grotere verschil tussen de hoogtes van de suppleties zorgt voor meer variatie in droogvalduur en biodiversiteit. Een morfologisch voordeel is dat dit ontwerp waarschijnlijk wat langer blijft liggen, omdat de hogere, zuidelijke suppleties de noordelijke meer beschutten. De noordelijke suppleties liggen bij Ontwerp D op NAP+0,20 m en bij Ontwerp C op NAP+0,30 m. Dit betekent dat als de totale erosie (incl. zeespiegelstijging) iets groter is dan de geschatte 20 cm gedurende de periode tussen aanleg en doeljaar 2035 er bij Ontwerp D sneller een grotere hoeveelheid 50-80%DVD areaal verloren gaat dan bij Ontwerp C. Aangezien dit DVD areaal het belangrijkste criterium is, bevelen we het robuustere Ontwerp C aan als definitief ontwerp.

8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

8.1 CONCLUSIES

De doelstelling van dit rapport is:

Het maken van een definitief ontwerp van de Roggenplaat suppletie op basis van de voorkeursvariant en het afwegingskader afgeleid van de Rijkswaterstaat doelstellingen.

De belangrijkste conclusies zijn:

1. De stroming op de Roggenplaat wordt bepaald door getij, wind en golven, en heeft een belangrijke plaat-parallelle component. De Roggenplaat is al sinds lang voor de aanleg van de Oosterschelde-kering in 1986 onderhevig aan significante morfologische veranderingen. De plaat is kleiner en meer aaneengesloten geworden; de grootste veranderingen vinden op het zuidelijke gedeelte plaats. In de periode 2007-2015 lijkt de erosiesnelheid lager te zijn dan in de periode 1990-2007.
2. De Roggenplaat is met 1460 ha een van de grootste intergetijdengebieden in de Oosterschelde. Het is een van de belangrijkste foerageergebieden voor steltlopers en een van de belangrijkste ligplaatsen voor zeehonden in de Oosterschelde. Vanwege de rijke bodemgemeenschap is de Roggenplaat aantrekkelijk voor vele soorten steltlopers. De verspreiding bij laagwater van deze soorten verschilt onderling; er zijn nauwelijks delen van de Roggenplaat die niet door vogels worden benut.
3. Een opvallend kenmerk van de Roggenplaat is het voorkomen van oesterriffen, ca. 45 ha in totaal. Het zijn rijke gebieden met een relatief hoge biodiversiteit. Bepaalde vogelsoorten zoals Lepelaars, Kleine zilverreigers, Steenlopers en Tureluurs vinden hier hun voedsel. Oesterriffen kunnen, door hun golfdempende en sedimentstabiliserende werking, lokaal bescherming bieden tegen erosie en tevens de ecologie bevorderen.
4. Er is een afwegingskader gemaakt waarin de RWS doelstelling *Behoud van de huidige foerageerfunctie van het Roggenplaat/Neeltje Jans-complex voor de komende 25 jaar* en mogelijke neveneffecten zijn uitgewerkt naar indicatoren. Het referentiejaar is 2010 en het doeljaar 2035. De belangrijkste resulterende indicatoren zijn areaal met een 50-80% DVD in 2035 (hoofddoel), de footprint van de suppletie na aanleg (ecologische verstoring bij aanleg) en de waterlijn cq. suppletieomtrek (maat voor rekolonisatie van suppletie door bodemdieren).
5. De ligging van mosselpercelen, ligplaatsen van zeehonden, aanwezigheid van natuurlijke oesterriffen, heersende morfodynamiek, mogelijke aanleglocaties baggerschepen en persafstanden zijn belangrijke randvoorwaarden. Deze zijn uitgewerkt tot geschiktheidskaarten die weergeven welke locaties in aanmerking komen om te suppleren.
6. Er zijn vier suppletieontwerpen beschouwd met allen een volume van 1,32 miljoen m³. Ontwerp A is de voorkeursvariant die uit de vorige studie is gekomen. Het zand wordt op 10 plekken neergelegd en de (uniforme) aanleghoogte is +0,48 m NAP. Ontwerpen C t/m D hebben eenzelfde, geoptimaliseerd geometrie en bestaan uit 6 suppleties. Verschil is de aanleghoogte. Deze is uniform (+0,48 m NAP) voor Ontwerp B, terwijl de zuidelijke suppleties (+0,67 en +0,77 m NAP) hoger zijn dan de noordelijke drie (+0,30 en +0,20 m NAP) voor Ontwerpen C en D, respectievelijk.
7. Volgens Delft3D modelberekeningen zorgen de suppleties met name voor een lokale beïnvloeding van de stroming, de zandtransporten en de morfologische ontwikkeling. Uitzondering op de lokale beïnvloeding vormt de afname van de debieten, snelheden en zandtransporten in de oostelijke afvoergeul. Onder representatieve condities verplaatsen de suppleties zich in noord-/noordoostelijke richting met een typische verplaatsingssnelheid van orde 1-10 m/jaar. De levensduur van de Roggenplaat suppletie op basis van volumeafnames binnen de initiële suppletiecontour bedraagt typisch enkele tientallen jaren. Dit wil overigens niet zeggen dat na deze periode het zand in zijn geheel van de Roggenplaat is verdwenen.
8. Het effect van de suppleties op de zandtransporten en morfologische ontwikkeling tijdens de doorgerekende Sinterklaasstorm (5 en 6 december 2013) is kwalitatief vergelijkbaar met onder gemiddelde getij- en windcondities. Wel staan tijdens deze storm de netto zandtransporten in

oostelijke richting in lijn met de zuid- tot noordwestelijke wind, wat tot uiting komt in de erosie van de westelijke rand van de suppleties. Het effect van deze storm die orde 1x per 10 jaar voorkomt op de morfologische ontwikkeling van de suppleties is beperkt.

9. Ontwerp A resulteert in de sterkste beïnvloeding van de noordoostelijke mosselpercelen. Daarnaast ontstaan naar verwachting sterkere uitslijtgeulen tussen de suppleties en blijft het gesuppleerde zand minder lang liggen dan bij de andere ontwerpen. Ontwerpen C en D hebben als voordeel ten opzichte van Ontwerp B dat de noordelijke suppleties meer beschermt worden door de hoger gelegen zuidelijke suppleties. Daarnaast blijft het gesuppleerde zand langer liggen. Dit effect is het sterkste voor Ontwerp D. Het nadeel van dit ontwerp is de beperkte erosiebuffer van de lagergelegen noordelijke suppleties.
10. Op basis van bestaande kennis en expert judgement wordt Ontwerp D als meest ecologisch waardevolle variant beschouwd. Een grotere variatie in droogvalduur vergroot mogelijk de biodiversiteit en verhoogt de beschikbare foerageertijd voor vogels. Dit effect is ook aanwezig bij Ontwerp C, zij het in minder mate.
11. De ontwerpen zijn qua kosten niet onderscheidend.
12. We bevelen Ontwerp C aan als definitief suppletieontwerp omdat de noordelijke suppleties meer buffer hebben tegen erosie, zodat de kans groter is dat het gewenste 50-80% DVD areaal in doeljaar 2035 gehaald wordt.

8.2 AANBEVELINGEN

Met betrekking tot de aanleg van de suppletie doen we de volgende aanbevelingen:

1. Vanuit ecologisch perspectief is het wenselijk om zo dicht mogelijk bij de huidige korrelgrootte te blijven van de Roggenplaat (~100-300 µm).
2. Bij het opstellen van het bestek is het verstandig om vast te houden aan de opgegeven hoogteligging van de verschillende suppletie-eilanden, met een bepaalde micro- en macro-tolerantie. Indien meer of minder zand beschikbaar is door variaties in kuubprijzen dan heeft het de voorkeur om vast te houden aan het vastgestelde areaal en deze afwijking op te vangen in de hoogte. Het is niet wenselijk als een overschot aan zand leidt tot suppleties die hoger liggen dan 1,0 m NAP wat overeenkomt met het niveau van 80% droogvalduur, omdat dit buiten de beoogde doelhoogte valt en dus niet direct bijdraagt aan de doelstellingen van het project.
3. Priming als proef op te nemen tijdens de uitvoering (zie Bijlage D).

De belangrijkste aanbevelingen voor vervolgonderzoek zijn:

1. Het onderzoeken van het effect van de korrelgrootte op de morfologische ontwikkeling. Het sediment in het wingebed heeft een behoorlijke spreiding met een D50 tussen de ~0,1 en 0,4 mm. De morfologische ontwikkeling verloopt naar verwachting langzamer indien groffer zand wordt gesuppleerd.
2. Onderzoek van de gevoeligheid van de modelresultaten voor de roosterresolutie en de gehanteerde transportformule. Dit zou meer zekerheid geven in de conclusies, met name m.b.t. de morfologische ontwikkeling.
3. Het bepalen van de relatie bodemdieren – hydro-morfodynamiek, en de verspreiding van verschillende soorten steltlopers nader bestuderen.
4. De monitoring na aanleg expliciet ook richten op de afvoergeulen, omdat daar impact van de suppleties wordt verwacht.
5. Uit het afwegingskader blijkt dat het vochtgehalte waarschijnlijk een ecologisch belangrijke, maar onzekere parameter is. In het vervolg zal geprobeerd moeten worden abiotische parameters (b.v. bodemhelling) te definiëren die het vochtgehalte bepalen, zodat we hier in het definitieve suppletieontwerp rekening mee kunnen houden. Ook het effect van de afwatering/uitdroging op rekolonisatie van bodemdieren dient verder onderzocht te worden.

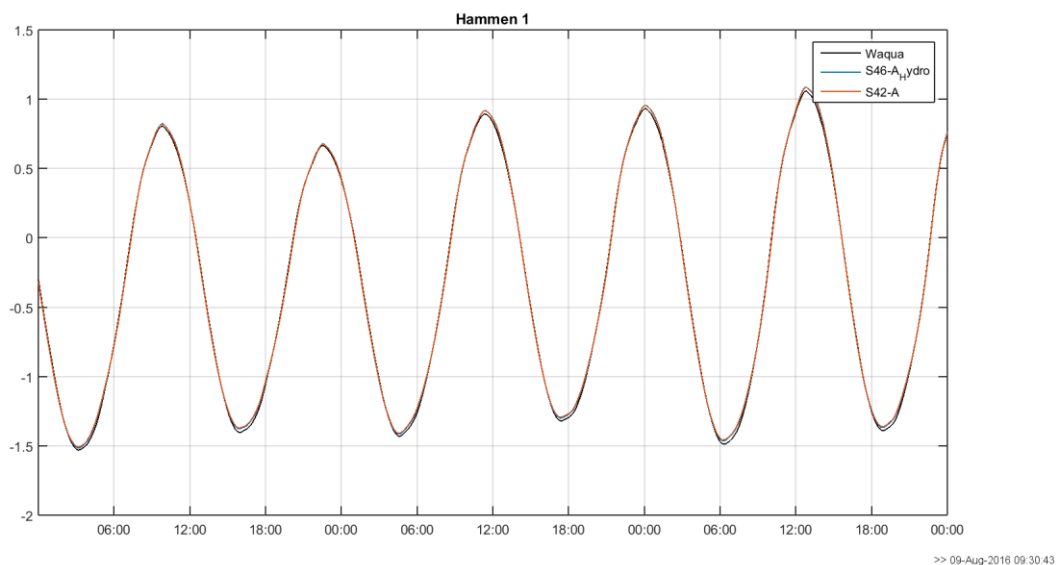
9 REFERENTIES

- Arts, F.A., Lillipaly S., Strucker, R.C.W., 2015. Watervogels en zeezoogdieren in de Zoute Delta
- Dekker, D.H.J., 2016. De verstoringsafstanden van rustende zeehonden op de Roggenplaat. Stagerapport, RWS/HZ (begeleiding: E. van Zanten en A. van den Brink)2013/2014. RWS Centrale Informatievoorziening BM 15.08.
- De Ronde, J.G., Mulder, J.P.M., Van Duren, L.A., Ysebaert, T.J.W., 2013. Eindadvies ANT Oosterschelde, Deltares rapport 1207722-000-ZKS-0010.
- Eelkema, M., 2013. Eastern Scheldt inlet morphodynamics. PhD thesis. Delft University of T Recovery of macrobenthic communities on estuarine tidal flats in the Eastern Scheldt.
- Geotron, 2016. Geotechnisch draagkracht onderzoek Roggenplaat Oosterschelde. projectnummer P15109, Geotron B.V. Onderzoeksburo voor grond en water.
- Hasselmann, K., T. P. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, D. E. Cartwright, K. Enke, J. Ewing, H. Gienapp, D. E. Hasselmann, P. Kruseman, A. Meerburg, P. M" uller, D. J. Olbers, K. Richter, W. Sell and H. Walden, 1973. "Measurements of wind wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)." Deutsche Hydrographische Zeitschrift 8 (12).
- Hoolsema, H.M., 2016. Recovery of macrobenthic communities on estuarine tidal flats in the Eastern Scheldt. M.Sc. Thesis, Wageningen University.
- KNMI, 2015. Brochure KNMI klimaatscenario's '14, Herziene uitgave 2015.
- Madsen, O., Y.-K. Poon and H. Graber, 1988. "Spectral wave attenuation by bottom friction: Theory." In Proceedings 21th International Conference Coastal Engineering, ASCE, pages 492–504.
- MH Poly Consultants & Engineers B.V, (2015); Verkennend waterbodemonderzoek Roggenplaat Oosterschelde, projectnummer: 15063V1.
- Pezij, M., 2015. Understanding the morphological development of the Oesterdam nourishment. MSc thesis University of Twente.
- Rijkswaterstaat, 2015, Natura 2000 Deltawateren, Ontwerpbeheerplan 2015-2021, Oosterschelde.
- Salmon, J.E., 2016. Surf Wave Hydrodynamics in the Coastal Environment. PhD thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
- Ten Brinke, W.B.M., Dronkers, J., Mulder, J.P.M., 1994. Fine sediments in the Oosterschelde tidal basin before and after partial closure. *Hydrobiologia* 282-283, 41–56. doi:10.1007/BF00024620.
- Troost, K., Ysebaert, T., 2011, ANT Oosterschelde: Long-term trends of waders and their dependence on intertidal foraging grounds, Report number C063/11, Imares Yerseke.
- Van den Berg, J.H., 1986. Aspects of sediment-and morphodynamics of subtidal deposits of the Oosterschelde (the Netherlands). PhD thesis. Technical University of Delft.

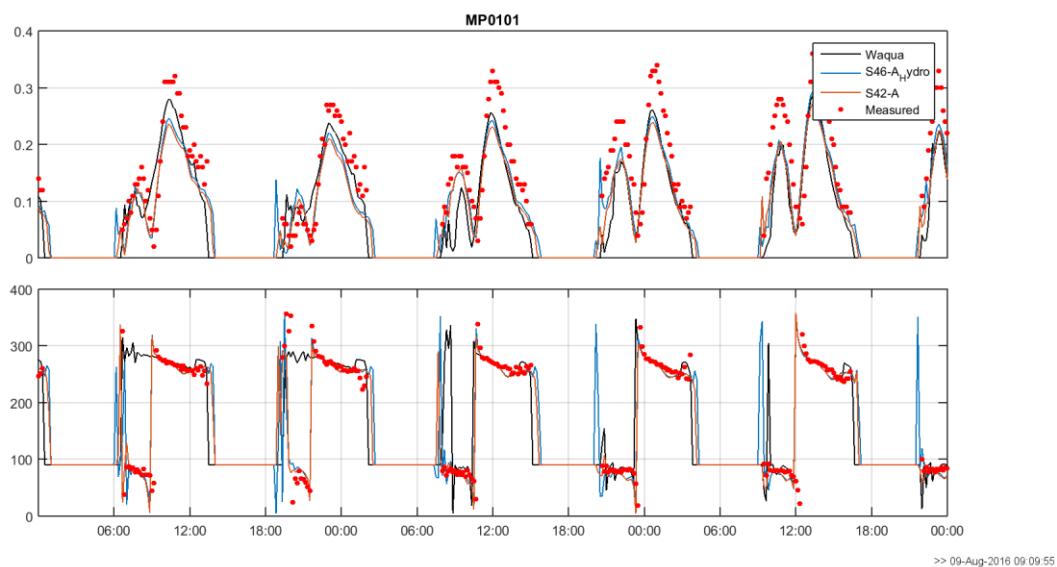
- Van der Kaaij, T., 2015. Resultaten WAQUA Oosterscheldemodel, Deltares memo 1220073-000-ZKS-0002.
- Van der Werf, J., Reinders, J., van Rooijen, A., Holzhauer, H., Ysebaert, T., 2015. Evaluation of a tidal flat sediment nourishment as estuarine management measure. *Ocean Coast. Manag.* 114, 77–87. doi:10.1016/j.ocecoaman.2015.06.006.
- Van der Werf, J., Boersema, M., Nolte, A., Schrijvershof, R., Stronkhorst, J., De Vet, L., Walles, B., Ysebaert, T. 2016. Variantenstudie Roggenplaat suppletie. Centre of Expertise Delta Technology, Deltares rapport 1220324-000-ZKS-0008.
- Van Rijn, L.C., 2007a. Unified view of sediment transport by currents and waves, I: Initiation of motion, bed roughness, and bed-load transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(6): 649-667.
- Van Rijn, L.C., 2007b. Unified view of sediment transport by currents and waves, II: Suspended transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(6): 668-389.
- Van Zanten, E., Adriaanse, L.A., 2008. Verminderd getij. Verkenning naar mogelijke maatregelen om het verlies van platen, slikken en schorren in de Oosterschelde te beperken, Rijkswaterstaat rapport.
- Vonhögen-Peeters, L., M. de Kleine, R. Rutten, V. Marges en C. Mesdag (2013); Verkenning zandwinning Oosterschelde, Deltares rapport 1205505-000.
- Watermanagementcentrum Nederland, 2013. Stormvloedrapport van 5 t/m 7 december 2013 (SR91), Sint-Nicolaasvloed 2013. Rijkswaterstaat.
- Witteveen+Bos, 2011. MIRT-Verkenning Zandhonger Oosterschelde. Ontwerp-structuurvisie, Witteveen+Bos rapport RW1809-28/torm/231.
- Ysebaert T., Plancke Y., Bolle L., De Mesel I., Vos G., Wielemaker A., Van der Wal D., Herman P.M.J. 2009. Habitatmapping Westerschelde – Deelrapport 2: Ecologie en ecotopen in het subtidaal van de Westerschelde. Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW), Centrum voor Estuariene en Mariene Ecologie, Yerseke.
- Ysebaert, T., Craeymeersch, J., van der Wal, D. 2016. De relatie tussen bodemdieren en hydro- en morfodynamiek in het sublitoraal en litoraal van de Westerschelde. Wageningen, IMARES Wageningen UR (University & Research centre) en Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ). IMARES rapport C066/16.

APPENDIX A: VALIDATIE GROFMAZIG VERSUS FIJNMAZIG MODEL

Het waterstandssignaal van een simulatie met het grove en het fijne Delft3D model en het Waqua Oosterschelde model is weergegeven in Figuur A.1. Het is duidelijk te zien dat er kleine verschillen zitten tussen het Waqua model en de Delft3D modellen maar dat er geen merkbaar verschil is tussen de twee Delft3D versies. Hetzelfde kan opgemerkt worden voor het stroomsnelheidssignaal op de plaat (Figuur B.1). De verschillen tussen de twee Delft3D versies zijn hier iets groter, dit komt met name door de verbeterde bodemschematisatie in het fijne model.



Figuur A.1 Waterstandssignaal in de geul van een modelsimulatie met het grove Delft3D model (blauw) en het fijne Delft3D model (rood) en het Waqua Oosterschelde model (zwart).



Figuur A.2 Stroomsnelheidssignaal van een modelsimulatie met het grove Delft3D model (blauw) en het fijne Delft3D model (rood) en het Waqua Oosterschelde model (zwart).

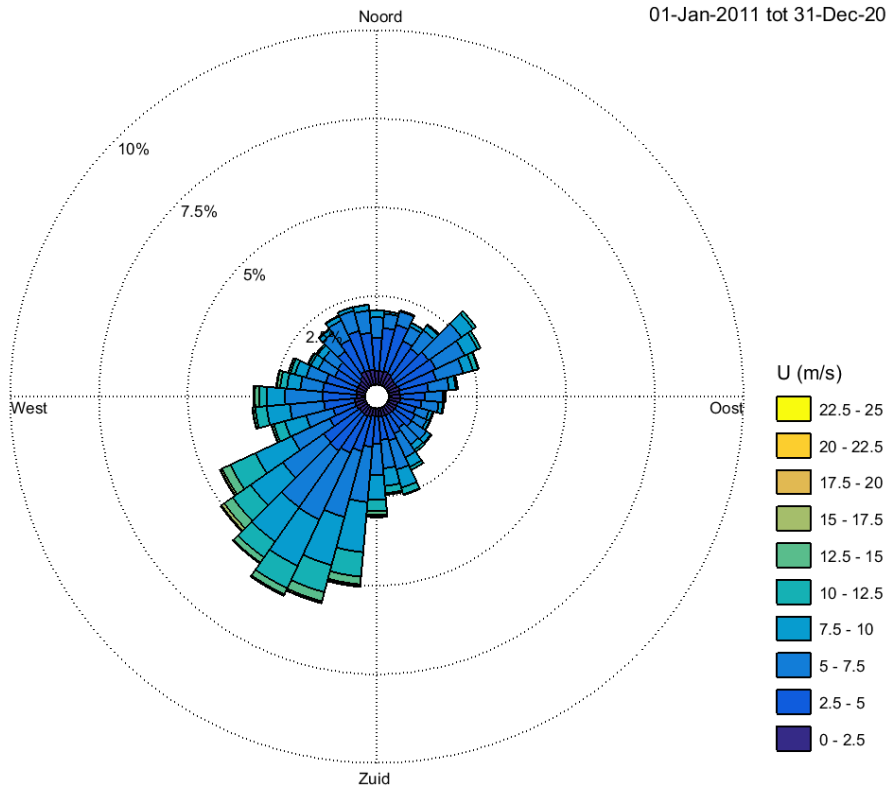
APPENDIX B: REPRESENTATIEVE SIMULATIEPERIODE

De representatieve periode voor de modelsimulaties is gekozen aan de hand van de winddata afkomstig van meetstation Zeelandbrug Wind (ZBWI). Windrozen van variërende perioden van ongeveer een maand zijn vergeleken met de windroos van hetzelfde meetstation voor de periode van 2011 tot en met 2015. Hierbij is het gemiddelde en de standaardafwijking van zowel de windsnelheid als de windrichting berekend (Tabel B.1). Zowel het gemiddelde als de standaardafwijking van de windsnelheid en de windrichting komt in de maand mei 2015 het beste overeen met de gehele periode 2011-2015. Figuur B.1 toont de windrozen voor beide perioden.

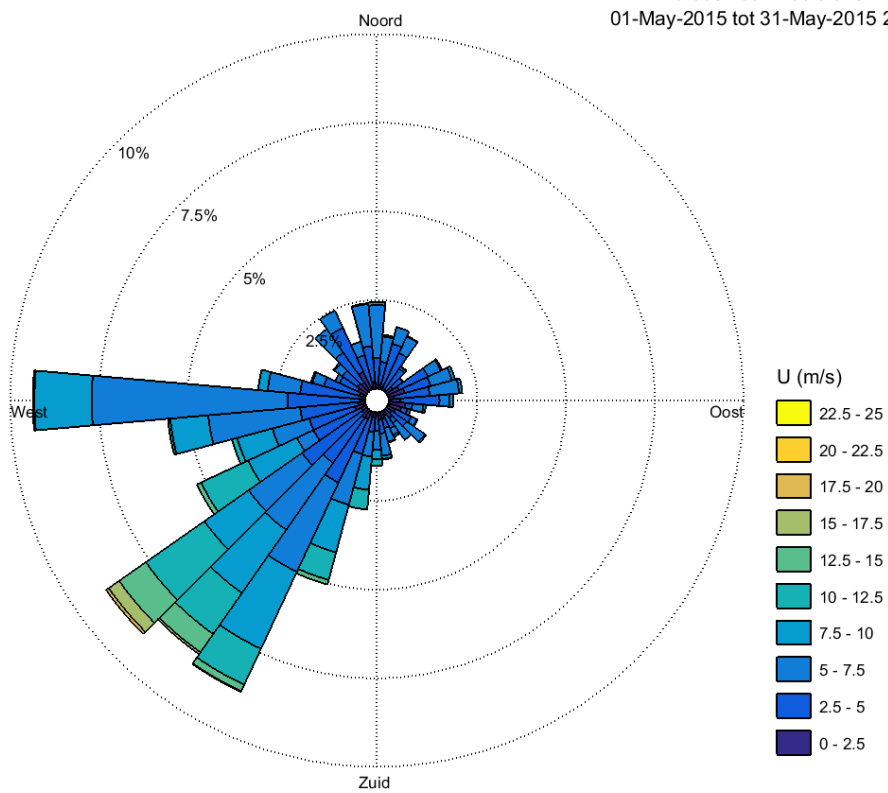
Tabel B.1 Gemiddelde (μ) en standaardafwijking (σ) van de windsnelheid en de windrichting voor variërende periodes.

Start Periode	Eind periode	Windsnelheid (m/s)		Windrichting (°N)
		μ	σ	μ
01-Jan-11	31-12-15	5.81	2.97	224.92
01-Jan-15	31-Jan-15	7.42	3.77	222.27
16-Jan-15	15-Feb-15	5.25	2.72	267.27
01-Feb-15	28-Feb-15	5.56	2.84	228.08
16-Feb-15	15-Mar-15	6.39	2.77	210.47
01-Mar-15	31-Mar-15	6.32	3.31	266.04
16-Mar-15	15-Apr-15	5.53	3.62	251.28
01-Apr-15	30-Apr-15	4.88	2.57	216.42
16-Apr-15	15-May-15	5.56	2.71	217.91
01-May-15	31-May-15	5.91	2.88	242.60
16-May-15	15-Jun-15	5.97	2.52	265.20
01-Jun-15	30-Jun-15	5.38	2.42	252.11
16-Jun-15	15-Jul-15	5.21	2.41	259.71
01-Jul-15	31-Jul-15	6.01	3.11	248.70
16-Jul-15	15-Aug-15	5.13	3.03	261.44
01-Aug-15	31-Aug-15	4.83	2.43	203.38
16-Aug-15	15-Sep-15	5.60	2.57	217.00
01-Sep-15	30-Sep-15	5.86	2.32	235.69
16-Sep-15	15-Oct-15	5.04	2.16	77.46
01-Oct-15	31-Oct-15	4.11	1.76	96.78
16-Oct-15	15-Nov-15	5.78	3.31	186.36
01-Nov-15	30-Nov-15	8.26	3.92	223.56
16-Nov-15	14-Dec-15	8.22	3.67	222.17
01-Dec-15	31-Dec-15	7.92	2.59	197.47

Windroos voor meetstation ZBWI
01-Jan-2011 tot 31-Dec-2015 23:50:00



Windroos voor meetstation ZBWI
01-May-2015 tot 31-May-2015 23:50:00



Figuur B.1 Windrozen van meetstation ZBWI voor 2011-2015 (boven) en de maand mei 2015 (onder).

APPENDIX C: UITVOERINGSKOSTEN ROGGENPLAAT SUPPLETIE

NOTITIE

Onderwerp Kostenvergelijking varianten 2A-2D
Project Zandsuppletie Roggeplaat
Opdrachtgever Centre of Expertise
Projectcode VS94-1
Status Concept 01
Datum 30 augustus 2016
Referentie VS94-1/ 16-014.627
Auteur(s) Niels Borgers

Gecontroleerd door Marijn Huijsmans
Goedgekeurd door Marijn Huijsmans
Paraaf 

Bijlage(n) -

Aan Centre of Expertise J. Stronkhorst
Kopie

1 INLEIDING

Rijkswaterstaat/Centre of Expertise heeft gekozen voor variant 2 'zand relief' als beste optie. Voor deze variant zijn vervolgens 4 variaties bedacht, hierna te noemen varianten 2A t/m 2D.

Deze notitie beschrijft hoe de uitvoeringskosten van deze 4 variaties zich tot elkaar verhouden.

1.1 Referenties

- 1 Witteveen+Bos, notitie 'Persafstanden', Versie 2, d.d. 13 april 2016;
- 2 Centre of Expertise Delta Technology, 'Definitief Ontwerp Roggeplaat Suppletie', versie 1 voorlopig, d.d. 21 augustus 2016.

2 VARIANTEN

Voor een beschrijving van de verschillen tussen de beschouwde varianten wordt verwezen naar ref. 2. Hieruit zijn de volgende verschillen aangemerkt als kostenbeïnvloedend:

- a. Verdeling suppletievolume over de aanleglocaties voor walpersoperaties

Er zijn 2 aanleglocaties voor walpersen aangemerkt, te weten; aan de zuidwest- en aan de oost-zijde van de Roggeplaat.

De verschillende vaarafstanden van deze aanleglocaties tot het wingebied resulteren in marginaal verschillende weekproducties voor de TSHD en daarmee ook een marginaal verschillende m3 prijs (productie bij varen naar oostelijke aanleg-locatie is zo'n 5-6 % lager dan bij varen naar oostelijke aanleglocatie). Ervanuitgaande dat de afzonderlijke eilanden elk vanaf de dichtstbijzijnde aanleglocatie worden gesuppleerd, zullen de kosten per sub-variant verschillen na gelang de verdeling van het totale suppletievolume over de 2 aanleglocaties.

b. Aandeel leidingen stelwerk

Variant 2A kenmerkt zich ten opzichte van de andere 3 varianten door het grotere aantal eilanden (variant 2A omvat 10 eilanden, varianten 2B-2D omvatten ieder 6 eilanden). Dit vergt extra capaciteit voor de stortwerkzaamheden in de vorm van leidingstelwerk.

3 KOSTENVERGELIJING

De in voorgaande sectie genoemde kenmerken waarop de varianten onderling verschillen zijn de kosten resulteren in een minimale variatie van de kosten per m3, zoals weergegeven in onderstaande tabellen.

De verdeling van suppletievolume over de twee onderscheiden aanleglocaties in volume/percentages is een inschatting afgaande op de plaatjes gegeven in ref 2.

De kostenindicatie is exclusief BTW en heeft een nauwkeurigheid van +/-30 %.

Tabel 3.1 Kostenindicatie 'zonder booster' (excl. BTW)

Zonder booster	Variant	2a	2b	2c	2d
via aanlandplaats zuid west		50 %	70 %	75 %	80 %
via aanlandplaats oost		50 %	30 %	25 %	20 %
gemiddelde productie	m3/wk	99.291	100.302	100.555	100.807
total direct costs	EUR	335.556	332.556	332.556	332.556
unforeseen	10 %	33.556	33.256	33.256	33.256
Contractor's overhead	25 %	92.278	91.453	91.453	91.453
total weekly costs	EUR	461.390	457.265	457.265	457.265
cost per m3	EUR	4,60	4,60	4,50	4,50

Tabel 3.2 Kostenindicatie 'met booster'(excl. BTW)

Met booster	Variant	2a	2b	2c	2d
via aanlandplaats zuid west		50 %	70 %	75 %	80 %
via aanlandplaats oost		50 %	30 %	25 %	20 %
gemiddelde productie	m3/wk	109.158	110.380	110.686	110.991
total direct costs	EUR	409.632	406.632	406.632	406.632
unforeseen	10 %	40.963	40.663	40.663	40.663
Contractor's overhead	25 %	112.649	111.824	111.824	111.824
total weekly costs	EUR	563.244	559.119	559.119	559.119
cost per m3	EUR	5,20	5,10	5,10	5,00

4 CONCLUSIE

Met marginaal verschil heeft variant 2A de laagste en variant 2D de hoogste productie, en zijn zij respectievelijk de duurste en laagste variant.

De kostprijs verschillen tussen de beschouwde varianten zijn duidelijk kleiner dan de nauwkeurigheidsmarge (30 %).

APPENDIX D: PRIMING BINNEN DE UITVOERING ZANDSUPPLETIE ROGGENPLAAT

Achtergrond informatie over ecologische priming: wat is het & welk doel?

Op het moment dat er ergens een nieuw “leeg” habitat beschikbaar komt, onafhankelijk van de oorzaak, dan zal dit door de tijd worden gekoloniseerd door organismen. In estuaria komt zo’n “leeg” habitat veelal beschikbaar doordat er door de mens ergens nieuw “kaal” substraat wordt aangebracht. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan het aanleggen van infrastructuur ten behoeve van scheepvaart, oliewinning, windenergieopwekking, overstroming preventie, etc. Bij het maken van deze infrastructuur wordt hard substraat aangebracht en daarmee als het ware een “leeg” *rocky-shore* (hard substraat) habitat gecreëerd. Bij het aanbrengen van zandsuppleties op een getijdenplaat, waarbij het overgrote deel van het zand diep onder de bentische zone wordt gewonnen, wordt ook “leeg” habitat gecreëerd: een getijdenplaat waar nog geen benthos in leeft.

Onderzoek heeft aangetoond dat i) de kolonisationsnelheid van dergelijke lege habitats sterk van soort tot soort kan verschillen, en ii) dat de creatie van dergelijke lege habitats exoten de kans kan bieden om zich te vestigen. Door de creatie van leeg hard substraat op diverse plekken langs een kustlijn wordt zelfs wel gesproken van *stepping stone* voor de verspreiding van exoten. Wij stellen voor om priming kleinschalig toe te passen om te bepalen i) in welke mate dit het ecologisch herstel van de zandsuppletie op de Roggeplaat kan versnellen en ii) de vestiging van exoten kan tegen gaan.

De term priming wordt in diverse werkvelden gebruikt. In de bodemchemie wordt het bijvoorbeeld gebruikt om een verhoogde afbraaksnelheid van organisch materiaal na toevoeging van vers organisch materiaal aan te duiden. In de psychologie wordt het bijvoorbeeld gebruikt om aan te geven hoe een impliciet geheugen effect de response op een andere stimulus beïnvloed. In deze tekst spreken we van *ecologische priming*, welke we definiëren als: het aanbrengen van een benthosgemeenschap in een nieuw “leeg” habitat, om daarmee het toekomstig herstel en ontwikkeling van dat habitat i) te versnellen en ii) in een gewenste richting te sturen (d.w.z., (invasieve) exoten buiten houden).

Wat hebben we geleerd uit de m²-schaal priming experimenten

In aanloop naar de Roggeplaat suppletie is er een aantal ecologische priming onderzoeken uitgevoerd. Daarbij is gebruik gemaakt van twee verschillende technieken: het aanbrengen van specifieke doelsoorten (de kokkel *Cerastoderma edule* & de wadpier *Arenicola marina*) versus het aanbrengen van een bodemlaag met een bestaande benthos gemeenschap. De primaire resultaten van deze kleinschalige experimenten zijn te vinden in het studentenverslag van Martijn Hoolsema (Hoolsema, 2016), welke nu verder tot een paper worden uitgewerkt door Laura Soissons (NIOZ). De belangrijkste conclusies uit dit werk zijn:

- priming is een veelbelovende methode om de ecologische impact van zandsuppleties te minimaliseren;
- de experimenten hebben (door de kleine m²-schaal) te weinig kennis gegenereerd om nu te besluiten tot grootschalige priming;
- tijdens de aanleg van de zandsuppletie dient op een beperkte, maar *ecologisch relevante schaal* een **test-priming** worden uitgevoerd.

Voorstel voor uitvoeren van een testpriming

Aangezien de kleine m²-schaal de belangrijkste bottleneck was in de voorstudie, dient de test-priming op een relevante schaal te worden uitgevoerd. Onder de aanname dat vogels het benthos volgen, gaan we daarbij voor het meten van effecten op de benthosgemeenschap. Dit maakt dat we met 3 plots met een schaal van 50 x 50 m priming kunnen testen. Voor het meten van effecten op vogels zouden minimaal 3 plots met een schaal van 100 x 100 m nodig zijn. De 3 priming plots zullen moeten worden gelokaliseerd op een van de noordelijk gelegen, minst erosie gevoelige suppleties, waar relatief fijn sediment wordt aangebracht.

Er zijn 3 methodes van priming denkbaar:

- 1) priming via droog grond verzet

- 2) Priming via nat grond verzet
- 3) priming via (kokkel) visserij

Elk van deze methoden heeft voor- en nadelen. Bij droog grondverzet kan de bodem gecompacteerd worden door de gebruikte machines. Bij nat grondverzet is het risico groot dat (een deel van) de bodemdieren (vooral de kleinere soorten) wegspoelen, zelfs als de waterdiepte minimaal is. Bij priming via visserij heeft als nadeel dat slechts een beperkt aantal opvisbare soorten i.p.v. meer complete gemeenschap wordt verplaatst, en de kans bestaat op grotere verliezen door wegstromen bij uit zetten. Het voorstel is om de priming te laten uitvoeren door droog grondverzet, waarbij machines worden uitgesloten die a) een te hoge druk op de bodem veroorzaken (om bodem compactie tegen te gaan) en b) het sediment in grote hopen samen te duwen (om vermorselen van benthos te voorkomen). Bulldozers zijn dus absoluut niet wenselijk, waar een graafmachine en een kleine shovel mogelijk wel geschikt zijn.

De priming dient te gebeuren door de toplaag van het sediment van een aangrenzend gebied, het zgn. afsteek-gebied, te verplaatsen naar het te primen gebied. Er zijn dus 3 afsteekgebieden, behorend bij de 3 priming plots. Bij de priming is het belangrijk de volgende procedures te volgen:

- De 3 priming plots zullen moeten worden gelokaliseerd op een van de noordelijk gelegen, minst erosie gevoelige suppleties, waar relatief fijn sediment wordt aangebracht
- Er wordt een ruim gebied aangewezen, waarbinnen de priming moet worden uitgevoerd, uitgaande van de volgende afstand regels:
 - o De priming plots liggen minimaal 250 m van elkaar verwijderd
 - o Het te primen materiaal wordt verzameld in het zgn. afsteekgebied, welk valt binnen het te suppleren gebied, en minimaal 50 m van de priming verwijderd is
- Het afsteken gebeurt voor de suppletie, zodat er een toplaag met levende bodemdieren is.
- De priming gebeurt na de suppletie, zodat de priming laag op de suppletie wordt aangebracht.
- Priming mag niet gebeuren in periodes met nachtvorst, omdat de benthos dan te kwetsbaar is.
- Gedurende de priming periode moet de dag temperatuur $> 10^{\circ}\text{C}$ zijn, opdat de benthos nog redelijk actief is. De priming dient daarom liefst vroeg in het suppletietraject uitgevoerd te worden.
- Het oppervlakte van het afsteekgebied is minimaal 75% van het te primen gebied. De afsteekdiepte binnen het afsteekgebied is max. 30 cm, aangezien er in de diepere lagen relatief weinig benthos aanwezig is. Als gevolg van deze grenswaarden zal de priming in het priming gebied dus gemiddeld $0,75 \times 30 \text{ cm} = 22 \text{ cm}$ hoogte toevoegen.
- Om kosteneffectief te werken stellen we voor de afwerkingscriteria voor het priming gebied relatief ruim te definiëren: gemiddelde priming hoogte is $22 \text{ cm} \pm 0.11 \text{ m}$ reliëf)
- NOTE: mocht er voorafgaande aan de priming gevestigd worden op kokkels, dan is het een must dat er niet gevestigd zal worden in de priming- en afsteek gebieden

Benodigde monitoren van de test priming

Als onderdeel van de monitoring volgend op de zandsuppletie Roggeplaat, zullen de test-priming specifiek opgevolgd worden. Om de effecten van de test-priming te monitoren, zal er standaard op 10 locaties (MWTL methode) per priming-gebied worden gemonsterd:

- 3 x 10 = 30 locaties in 3 priming gebieden
- 3 x 10 = 30 locaties in 3 referentie gebieden

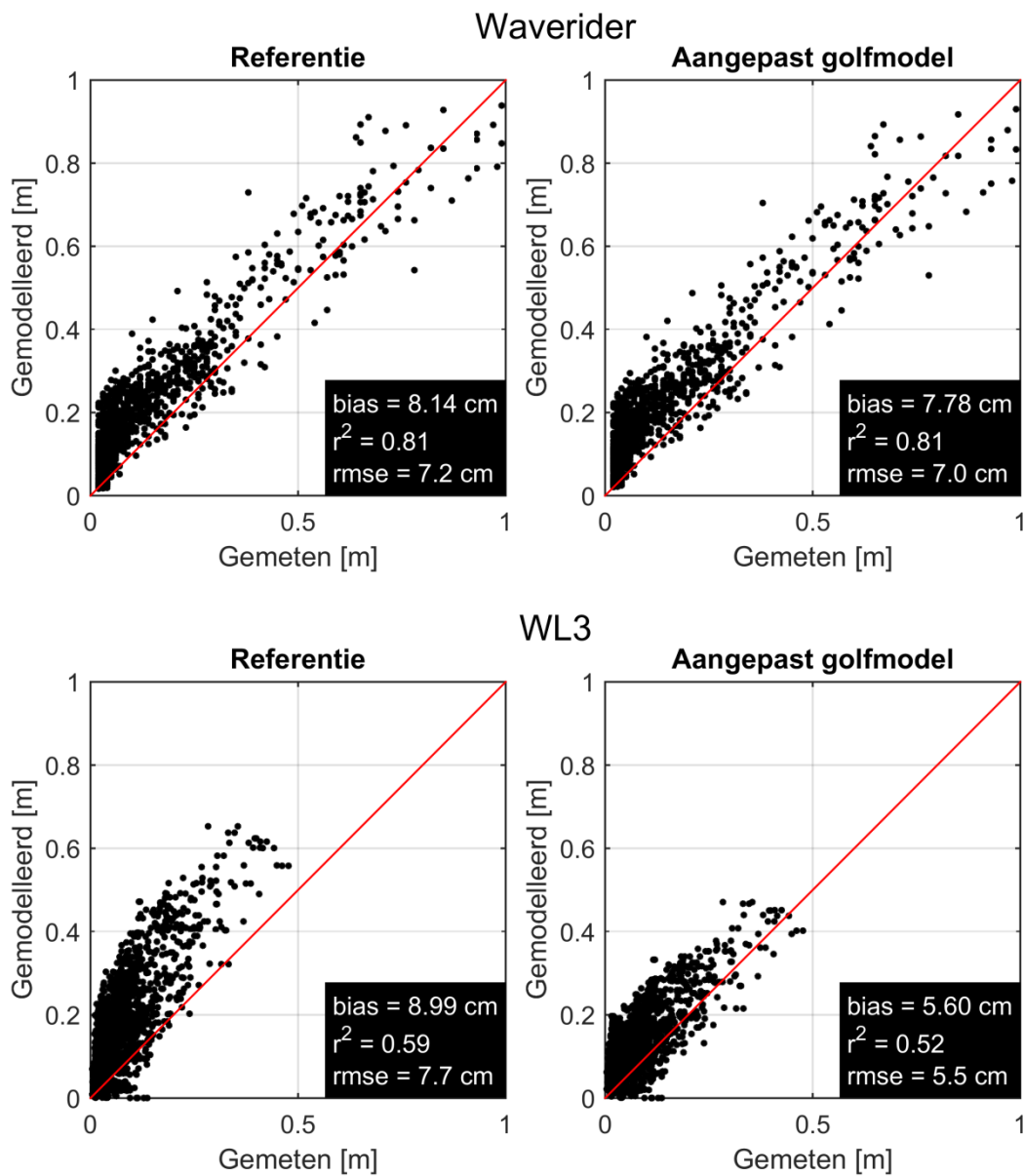
De bemonstering zal op verschillende momenten in de tijd worden uitgevoerd, om daarmee de effectiviteit van de priming te bepalen:

- bepalen van de aangebrachte benthos → meten direct na priming (priming + referentie gebied)
- bepalen van de overleving van de benthos → meten 2 en 4 maanden na priming
- **NOTE:** bij te lage overleving van de priming zullen de priming plots niet verder apart gemonitord worden
- bemonstering voor lange-termijn effecten
 - o Benthos gemeenschap → meten 1, 2 en 3 jaar na priming, in augustus / september, samen met de reguliere monitoring

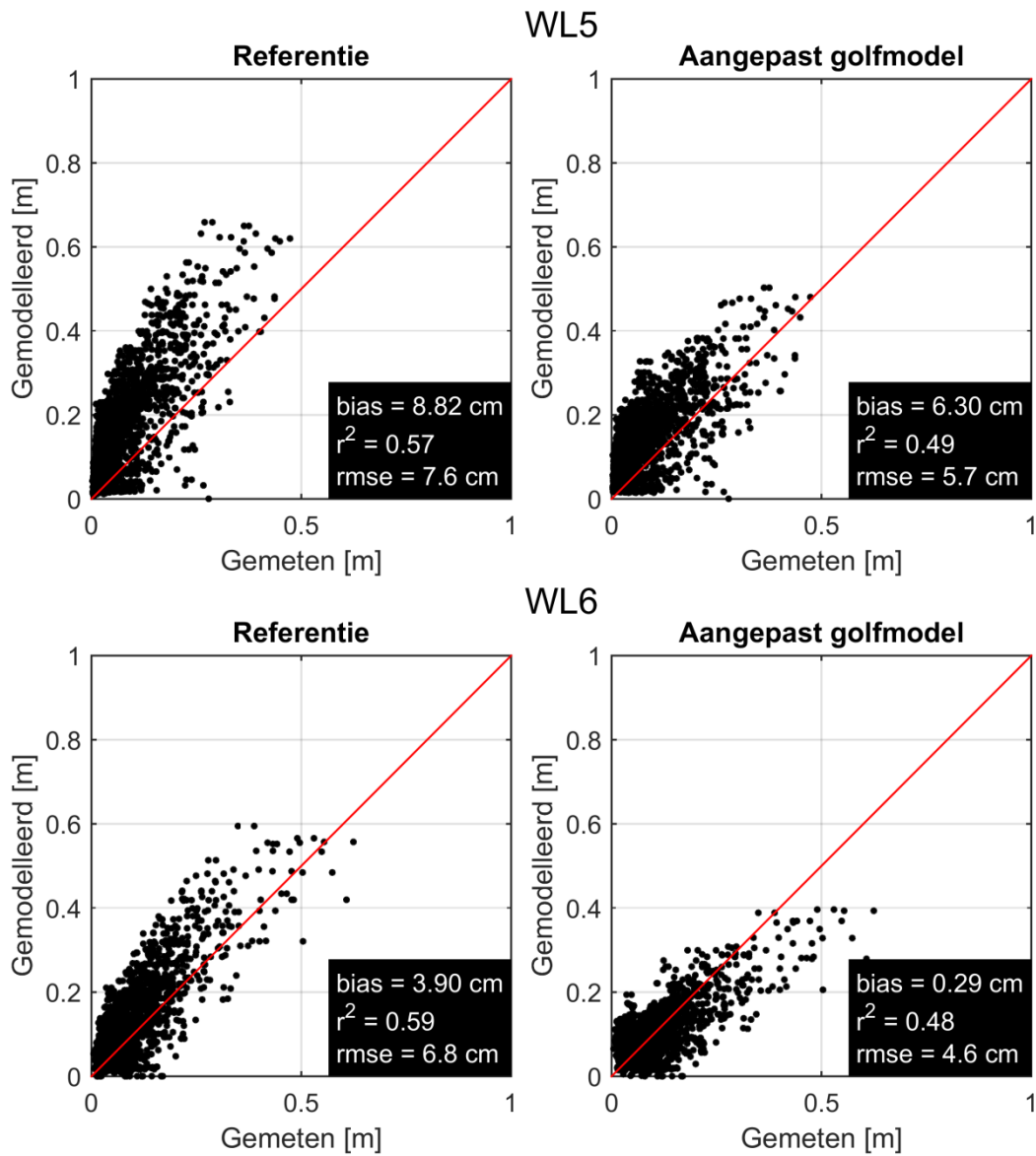
Behalve de benthos zal ook de morfologische effecten van priming worden gemeten, door te kijken naar i) bodemcompactie en ii) vervlakken van sediment reliëf. Dit zal idealiter worden gedaan door

- het nemen van bodemmonsters voor bulkdichtheid en korrelgrote, tijdens de benthos bemonstering
- de inzet van de lazer scanner om daarmee regelmatig vlakdekken de hoogte veranderingen te meten
- de inzet van SED-sensoren om daarmee continue de veranderingen in bodemhoogte te meten

APPENDIX E: RESULTATEN GOLFMODEL MET ANDERE INSTELLINGEN



Figuur E.1 *Vergelijking gemeten golfhoogtes en golfhoogtes berekend met het oorspronkelijke (referentie) en aangepaste golf model voor de periode maart-april 2015.*



Figuur E.2 *Vergelijking gemeten golfhoogtes en golfhoogtes berekend met het oorspronkelijke (referentie) en aangepaste golf model voor de periode maart-april 2015.*