



**CENTRE OF
EXPERTISE**
DELTA TECHNOLOGY

www.coedeltatechnology.nl

Variantenstudie Roggenplaat suppletie

VERSIE 4, DEFINITIEF

CENTRE OF EXPERTISE DELTA TECHNOLOGY
10 JUNI 2016



Variantenstudie Roggenplaat suppletie

VERSIE 4, DEFINITIEF

CENTRE OF EXPERTISE DELTA TECHNOLOGY
10 JUNI 2016

AUTEURS

Jebbe van der Werf (Deltares)

Matthijs Boersema (HZ University of Applied Sciences – Delta Academy)

Arno Nolte (Deltares)

Reinier Schrijvershof (Deltares)

Joost Stronkhorst (HZ University of Applied Sciences – Delta Academy)

Lodewijk de Vet (Deltares)

Brenda Walles (NIOZ)

Tom Ysebaert (IMARES Wageningen UR)

DATUM

10 juni 2016

LOCATIE

Vlissingen, Yerseke, Delft

VERSIE EN STATUS

V4, definitief



Trefwoorden


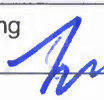

Oosterschelde, Roggenplaat, suppletie, variantenstudie, zandhonger

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 suppletievarianten en het maken van een onderbouwde en objectieve keuze voor een voorkeursvariant op basis van een afwegingskader afgeleid van de doelstellingen.

Deze variantenstudie is uitgevoerd door Deltares in samenwerking met Hogeschool Zeeland, NIOZ en Imares-Wageningen UR in het Centre of Expertise (CoE) Delta Technology consortium.

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

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	SUPPLETIEVARIANTEN	39
5.1	Inleiding	39
5.2	Ontwerpprincipes suppletie	39
5.3	Uitwerking suppletievarianten	39
5.3.1	Inleiding	39
5.3.2	Zandrug	40
5.3.3	Zandreliëf	41
5.3.4	Zandbron	42
5.4	Afweging	44
6	OESTERRIFFEN	49

6.1	Inleiding	49
6.2	Stablisierend effect	50
6.3	Oesterriffen op de Roggenplaat	51
6.4	Relatie met de vogels	51
6.5	Discussie	51
6.6	Conclusie	52
7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	53
7.1	Conclusies	53
7.2	Aanbevelingen	54
8	REFERENTIES	55
	APPENDIX A UITVOERINGSASPECTEN	57
	APPENDIX B SUPPLETIEZAND	59
B.1	Zandwinlocaties	59
B.2	Sedimentkarakteristieken	60
	APPENDIX C SCHATTING VERSPREIDING SUPPLETIEZAND	61
C.1	Inleiding	61
C.2	Lessen geleerd van de Galgeplaat suppletie	61
C.3	Verplaatsing beddingvormen Roggenplaat	62
C.4	Afschattig netto zandtransporten en loopsnelheid bodemverstoring	63
C.5	Conclusie	66

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 40% en 80% van de tijd droogvalt (De Ronde et al., 2013). 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, Imares – Wageningen UR en Deltares. Deltares is verantwoordelijk voor de variantenstudie. De variantenstudie bestaat uit twee delen: 1) het bepalen van de voorkeursvariant en 2) het uitwerken van de voorkeursvariant tot een definitief ontwerp. Dit rapport beschrijft het eerste onderdeel.

1.2 DOELSTELLING

De doelstelling van deze variantenstudie luidt als volgt:

Het genereren van verschillende varianten voor het suppleren van de Roggenplaat en het maken van een onderbouwde en objectieve keuze voor een voorkeursvariant op basis van een 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 variantenstudie bestaat uit de volgende onderdelen:

¹ Het beunvolume van 1,65 miljoen m³ is hier omgerekend naar zandvolume op de Roggenplaat, zie verder paragraaf 5.2.

- 1 De beschikbare kennis, data en modellen van de Roggenplaat en vergelijkbare intergetijdengebieden worden geïnventariseerd en verzameld. Deze worden gebruikt voor een beschrijving van het morfologisch en ecologisch functioneren van de Roggenplaat. Er wordt 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 wordt een afwegingskader afgeleid om een objectieve en onderbouwde keuze tussen suppletievarianten mogelijk te maken.
- 3 Op basis van de morfologische en ecologische kennis van de Roggenplaat, de geleerde lessen uit de proefprojecten en het afwegingskader worden suppletievarianten ontwikkeld. Deze bestaan uit zandsuppleties op verschillende locaties en met verschillende vormen volgens drie ontwerpprincipes, en het al dan niet aanleggen van oesterriffen.
- 4 Tot slot worden suppletievarianten gewogen met behulp van het afwegingskader. Het toetsen aan de criteria gebeurt op basis van systeemkennis en deskundigenoordeel. Dit leidt tot een voorkeursvariant die in het volgende deel van deze studie zal worden uitgewerkt tot een 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. De suppletievarianten worden ontwikkeld en afgewogen in Hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 beschrijft de mogelijkheid van de aanleg van oesterriffen op de Roggenplaat om erosie te reduceren. Het laatste hoofdstuk presenteert de conclusies en aanbevelingen.

1.5 VERANTWOORDING

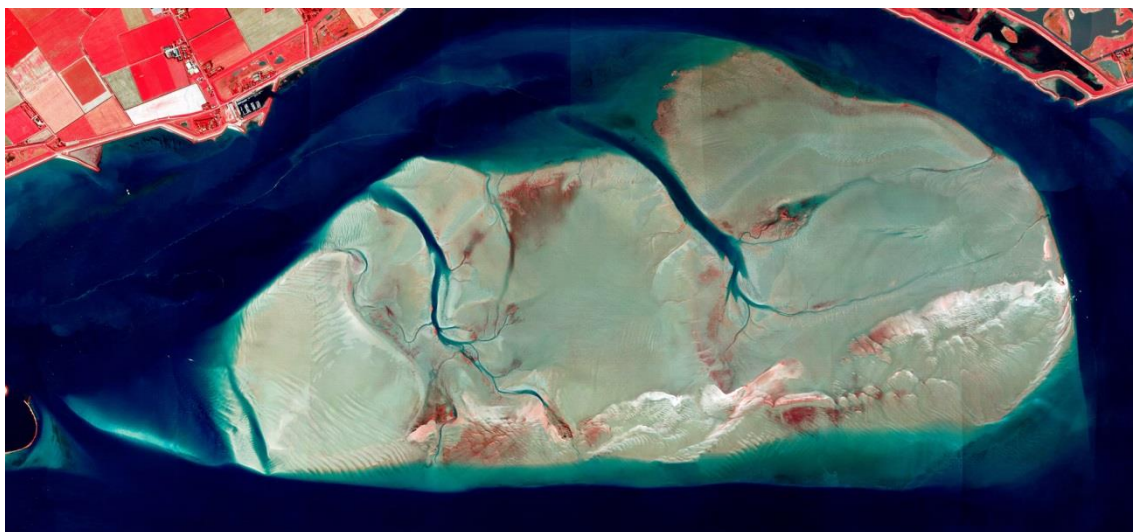
Hoofdstukken 1, 2 (behalve paragraaf 2.3), 3, 5 en 7 zijn geschreven door Deltares. Paragraaf 2.3 is geschreven door Imares, Hoofdstuk 4 door HZ en Hoofdstuk 6 door het NIOZ.

2 MORFOLOGIE EN ECOLOGIE ROGGENPLAAT

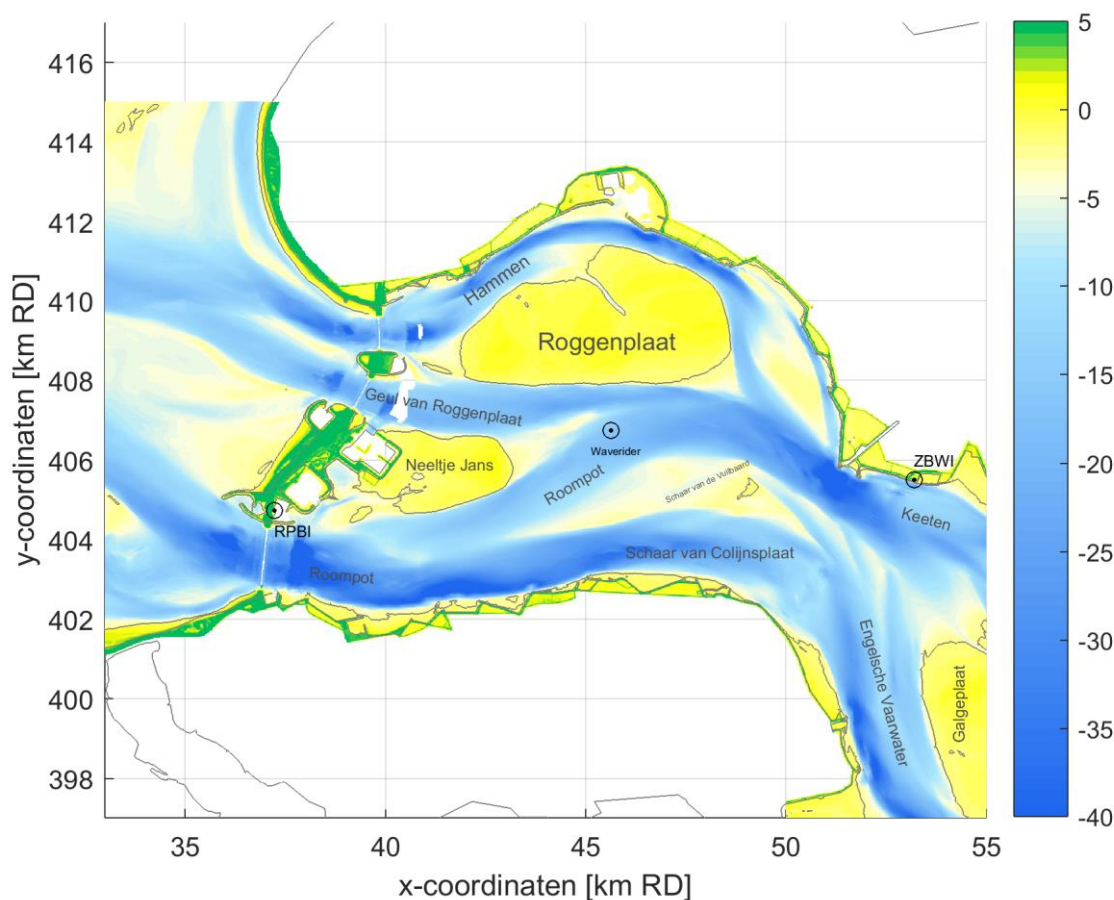
2.1 INLEIDING

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.

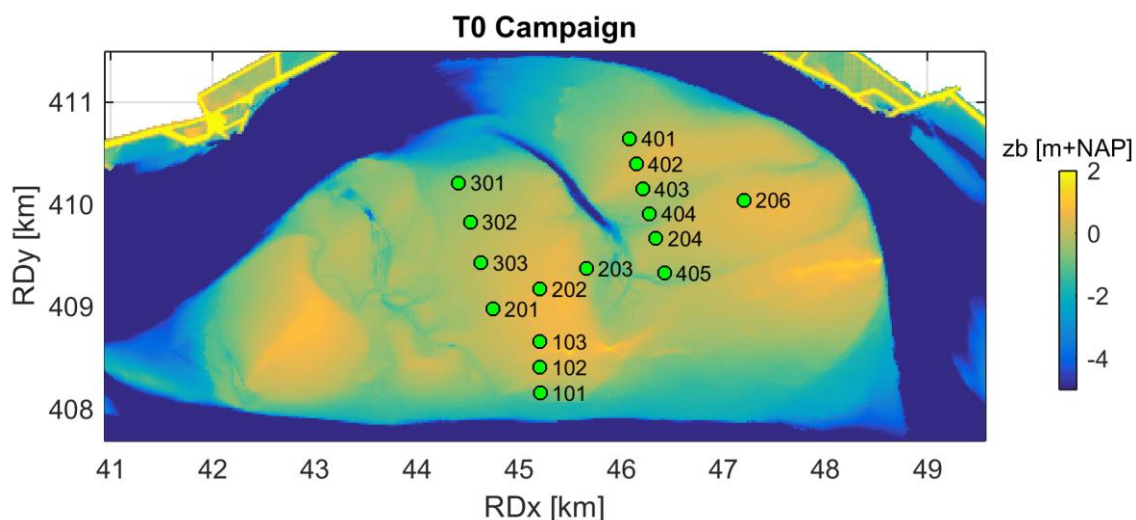
2.2 WATERBEWEGING EN MORFOLOGIE ROGGENPLAAT

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 rai weer. De meting bij locatie MP205 is mislukt en daarom is deze locatie niet opgenomen in de onderstaande figuur.



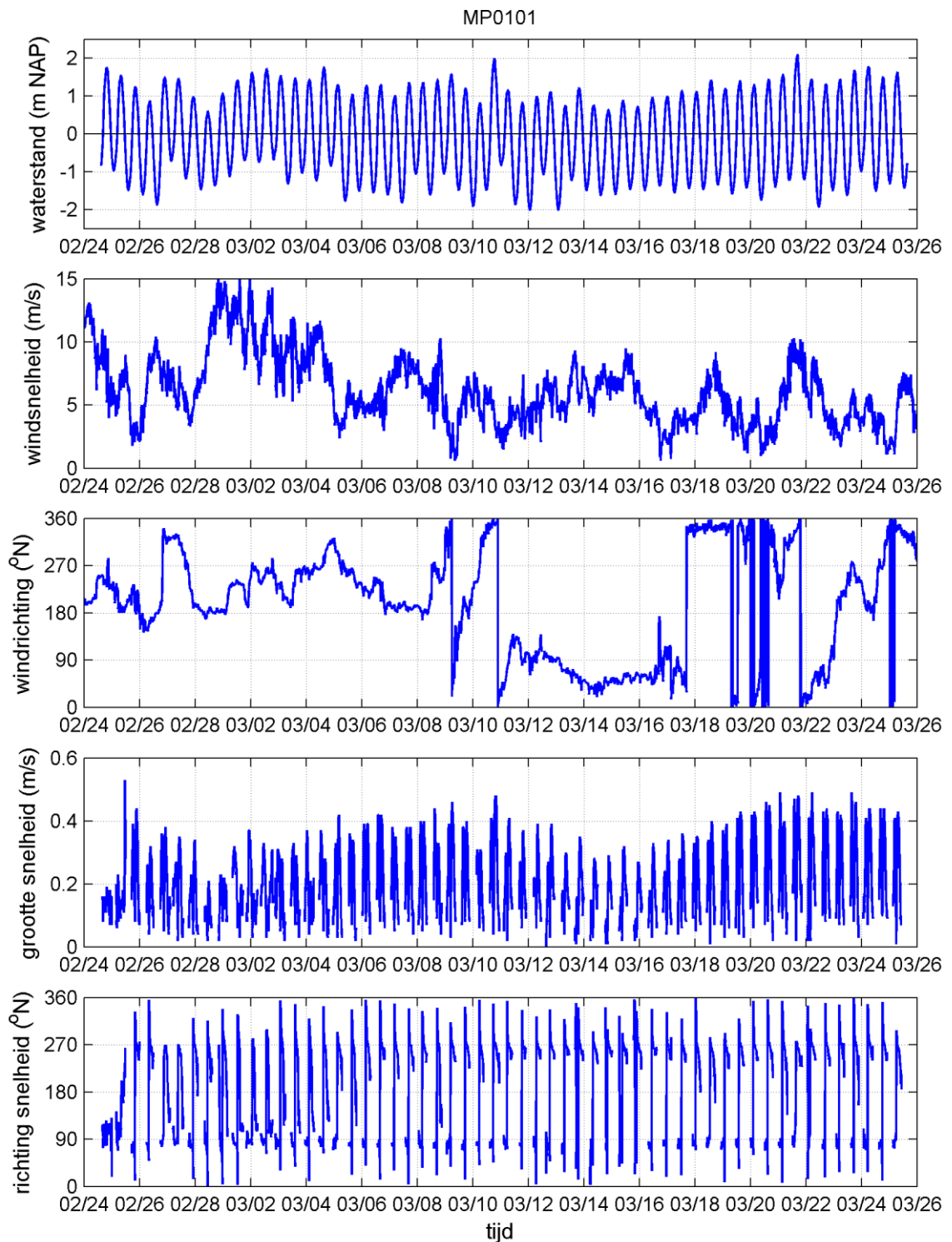
Figuur 2.3 Ligging Aquadops tijdens de T0 meting van de stroomsnelheden (februari – maart 2015). De onderliggende bathymetrie betreft het jaar 2013.

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.

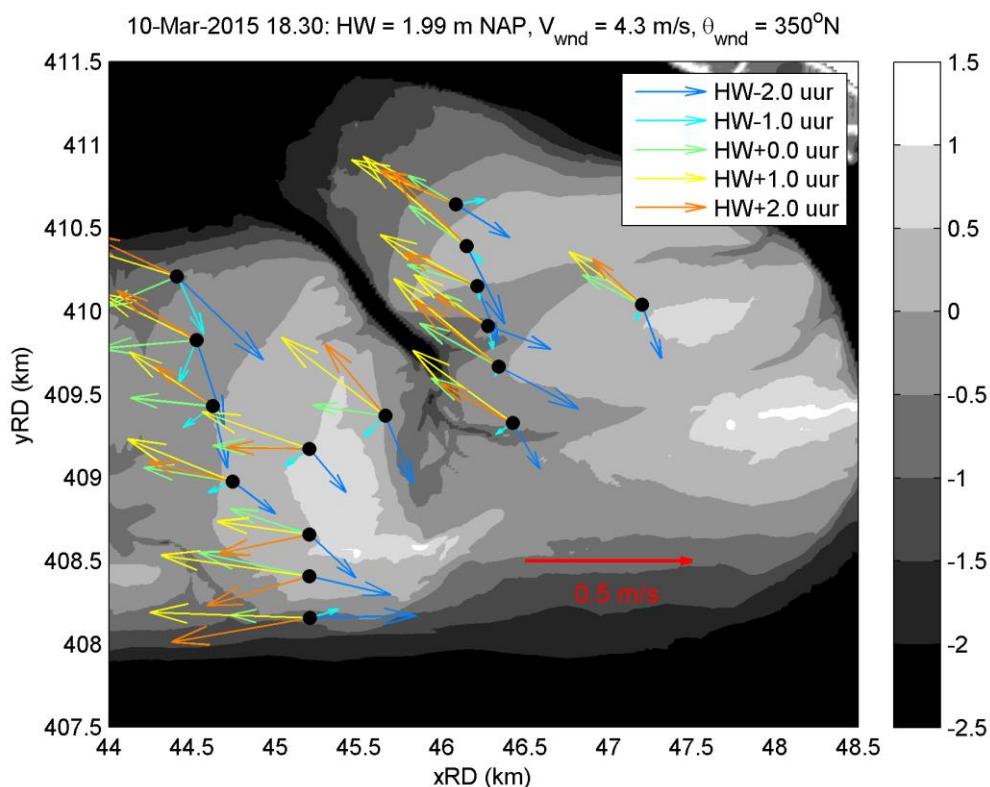


Figuur 2.4 T0 metingen (2015) van de waterstand en stroomsnelheid bij locatie MP0101, en optredende windcondities bij het nabijgelegen station Zeelandbrug Wind.

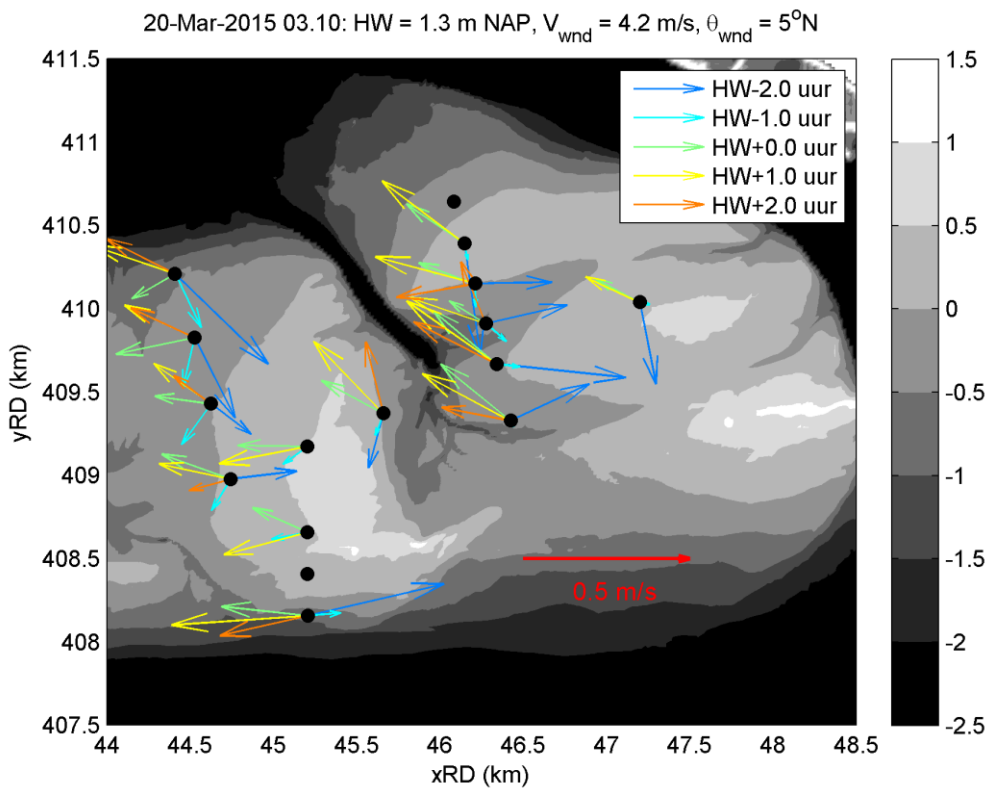
Figuur 2.5 en Figuur 2.6 tonen de gemeten diepte-gemiddelde stroomsnelheden 2 uur voor, 1 uur voor, tijdens, 1 uur na en 2 uur na hoogwater (HW). De onderliggende bodemligging is in [m NAP] en afkomstig uit 2013. In de titel van de figuren staat het tijdstip van het hoogwater, het lokaal opgetreden hoogwater 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.

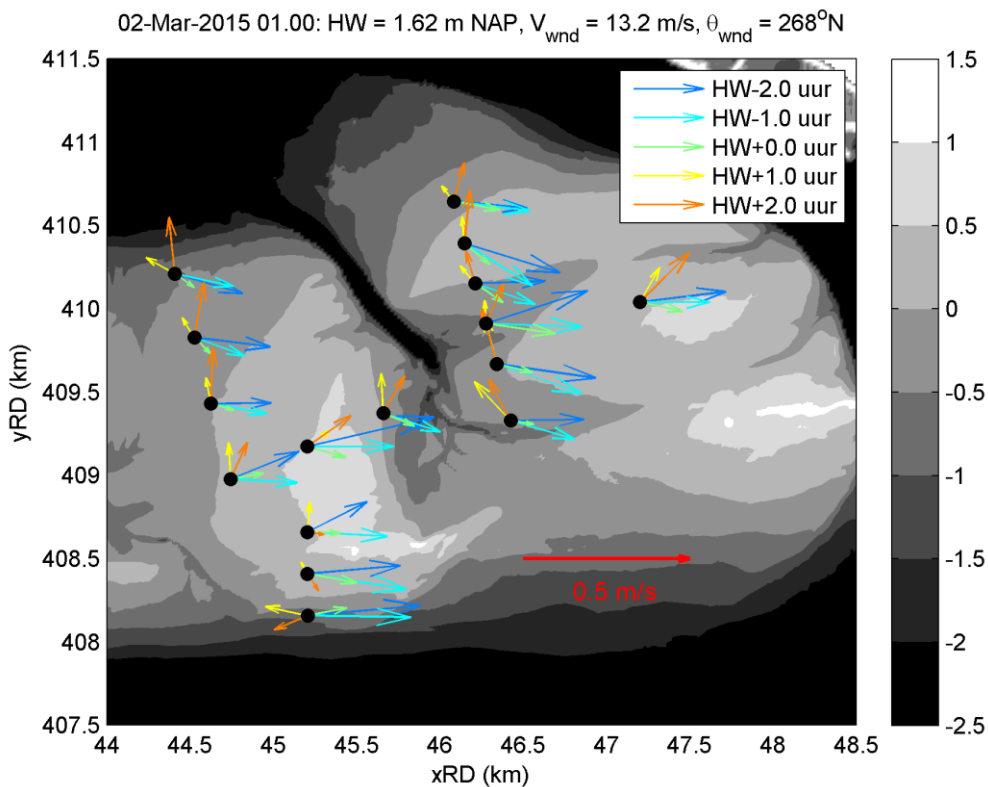
De sterkste wind tijdens de TO metingen was op 2 maart 2015: de windsnelheid was ruim 13 m/s (6 Bft) en afkomstig uit het westen. Figuur 2.7 laat zien dat de wind de snelheden op de Roggenplaat sterk beïnvloedt. De westwaartse snelheden tijdens eb zijn sterk gereduceerd. Tijdens vloed hebben de snelheden 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 stroomsnelheden op de Roggenplaat rond het hoogwater van 10 maart 2015 om 18.30 uur met de 2013 modelbathymetrie [m NAP] eronder.



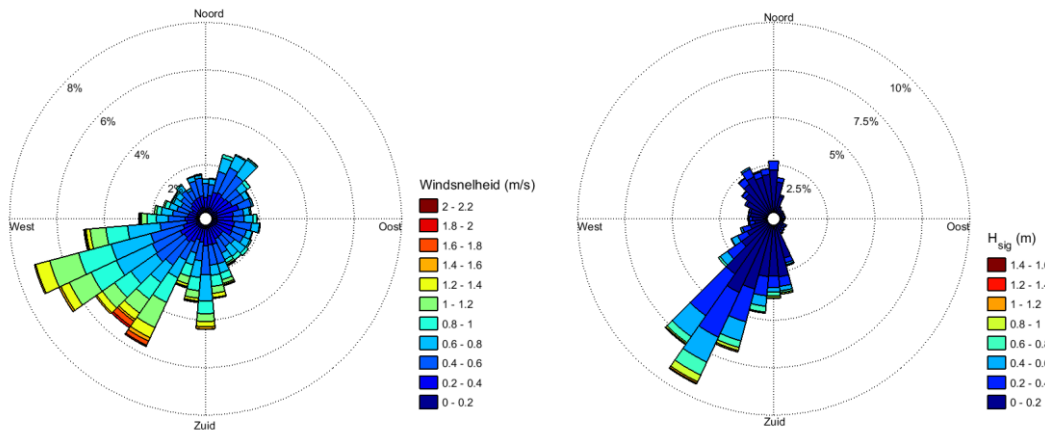
Figuur 2.6 Gemeten stroomsnelheden op de Roggenplaat rond het hoogwater van 20 maart 2015 om 03.10 uur met de 2013 modelbathymetrie [m NAP] eronder.



Figuur 2.7 Gemeten 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

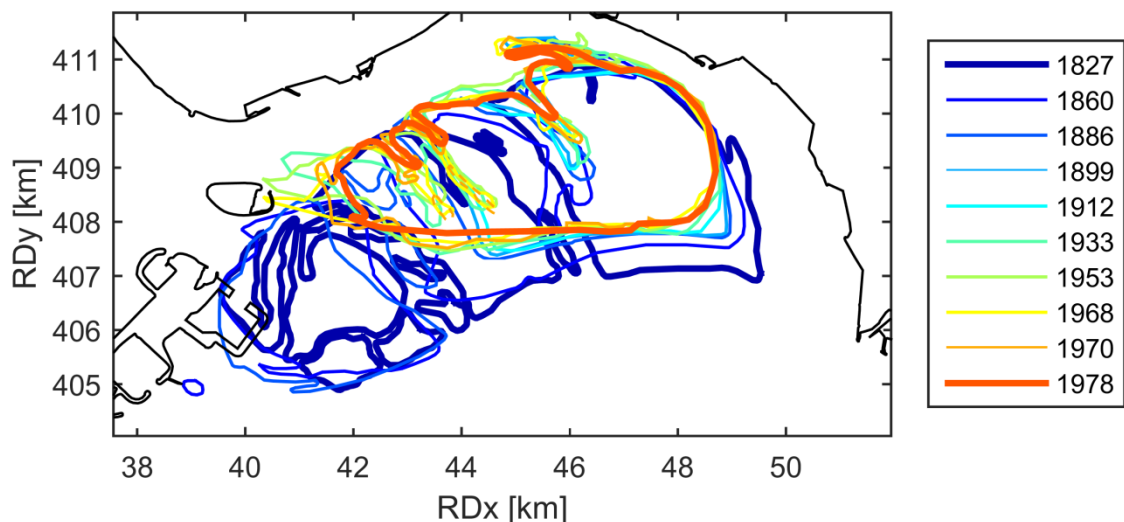
De golven bij de Roggenplaat zijn voornamelijk lokaal opgewekte windgolven. De gemiddelde significante golfhoogte bij de Waverider in de geul ten zuiden van de Roggenplaat was in de periode januari 2015 – januari 2016 0,2 m. De dominante golfrichting is zuidwestelijk, in lijn met de windcondities.



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.

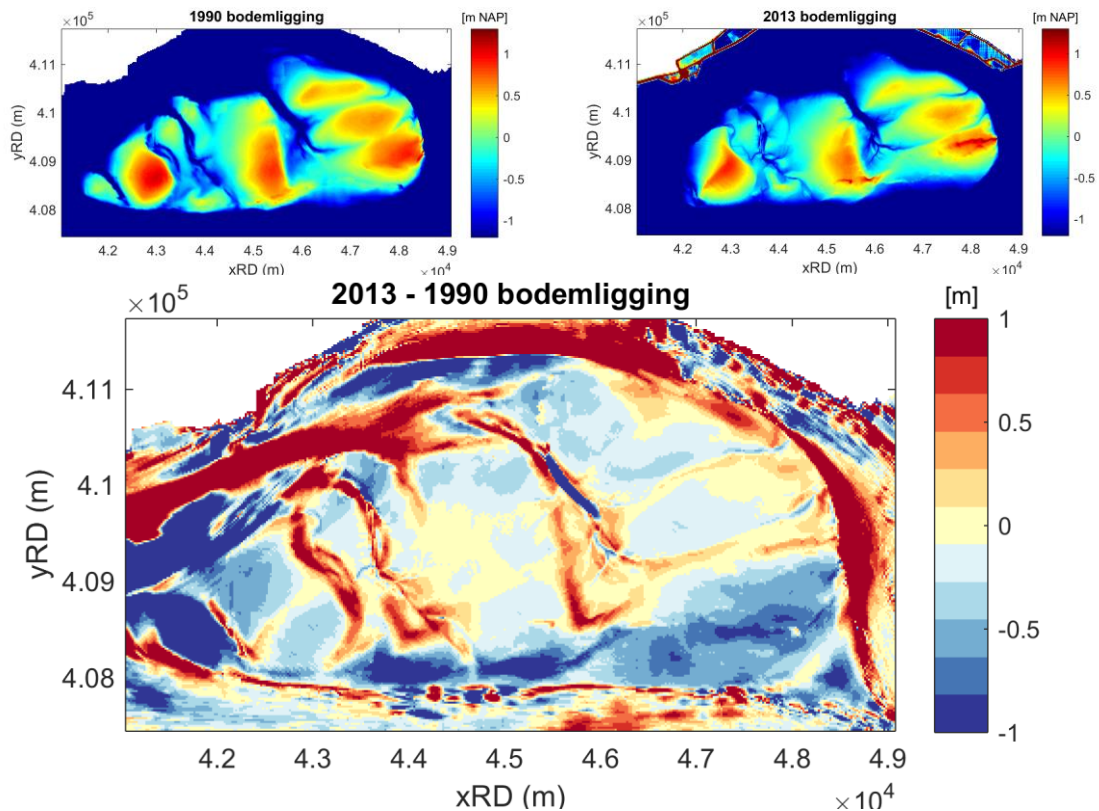
2.2.3 MORFOLOGIE

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.

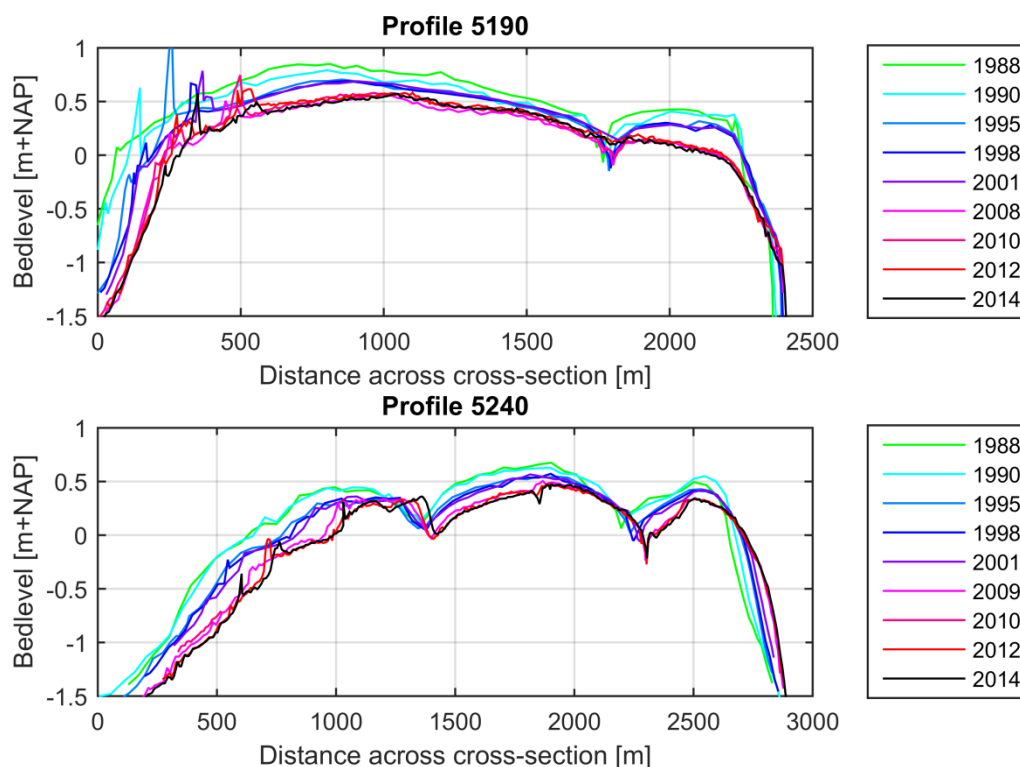
De bodemligging in 1990 en 2013, en het verschil hiertussen wordt getoond in Figuur 2.10. Deze zijn gebaseerd op de Rijkswaterstaat Vaklodingen. De algehele plaaterosie is goed zichtbaar; met name het oppervlakte van de gebieden hoger dan +0,5 m NAP is sterk verminderd tussen 1990 en 2013. Verder is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

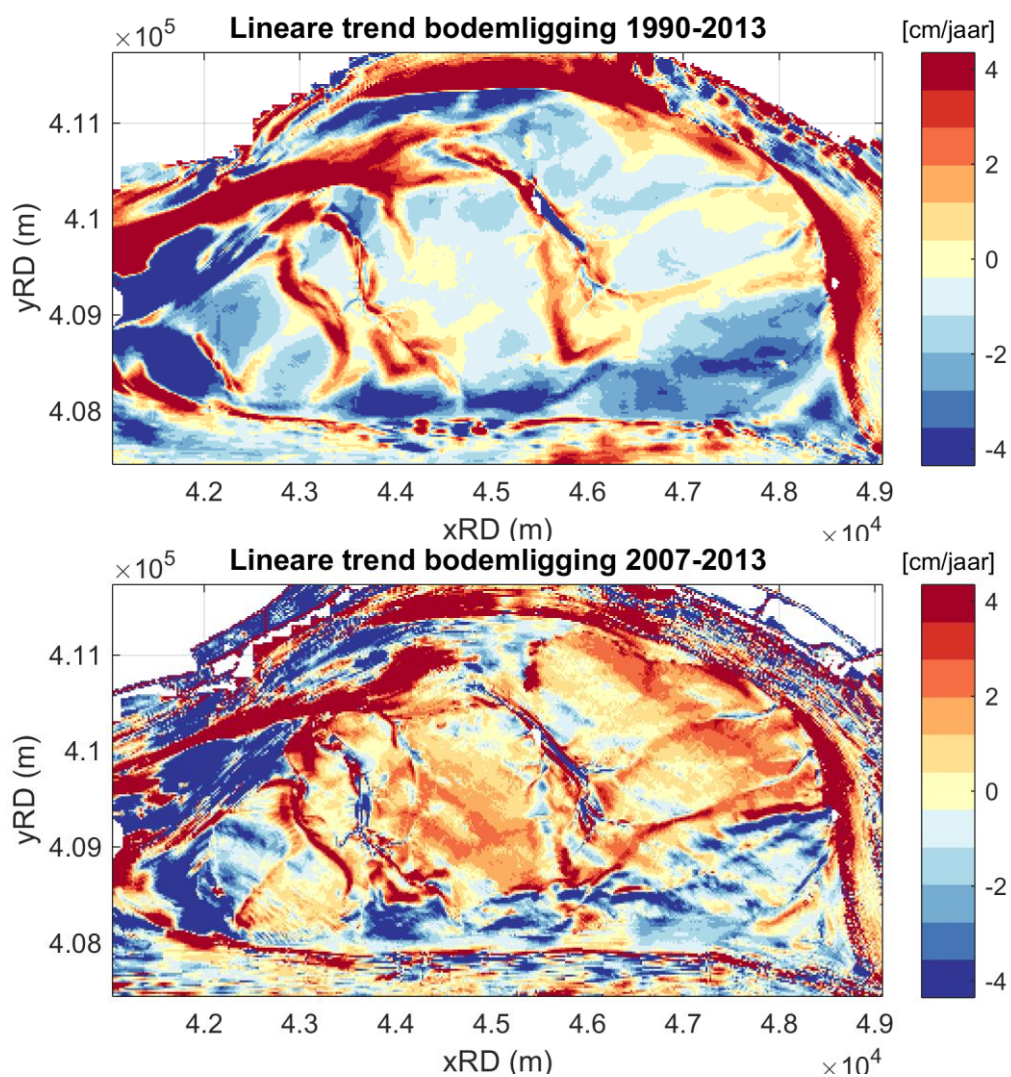
Ook hieruit blijkt de sterke erosie van de zuidelijke plaatrand. Deze is tussen 1988 en 2013 ongeveer 200 m verschoven in noordelijke richting. Het midden van de plaat erodeert met $\sim 0,2-0,5$ m. De noordelijke plaatrand ligt vrij stabiel. Vanaf de 1990 meting zijn er schelpenruggen op de zuidelijke 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.



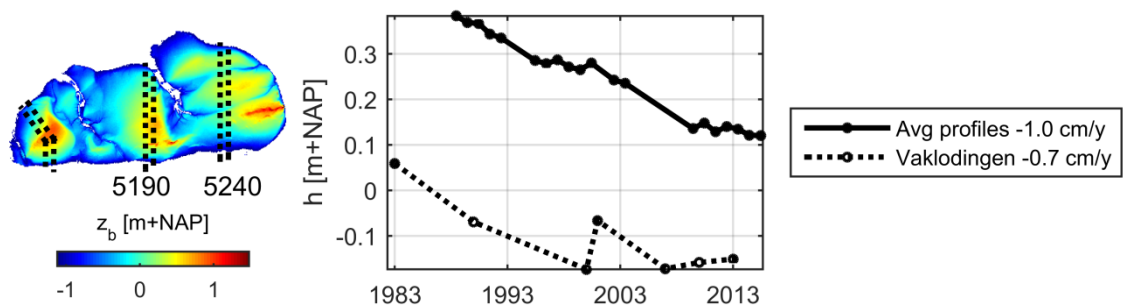
Figuur 2.11 Bodemligging langs RTK raaien 5190 en 5240. De afstand neemt toe in noordelijke richting.

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 hoger 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.

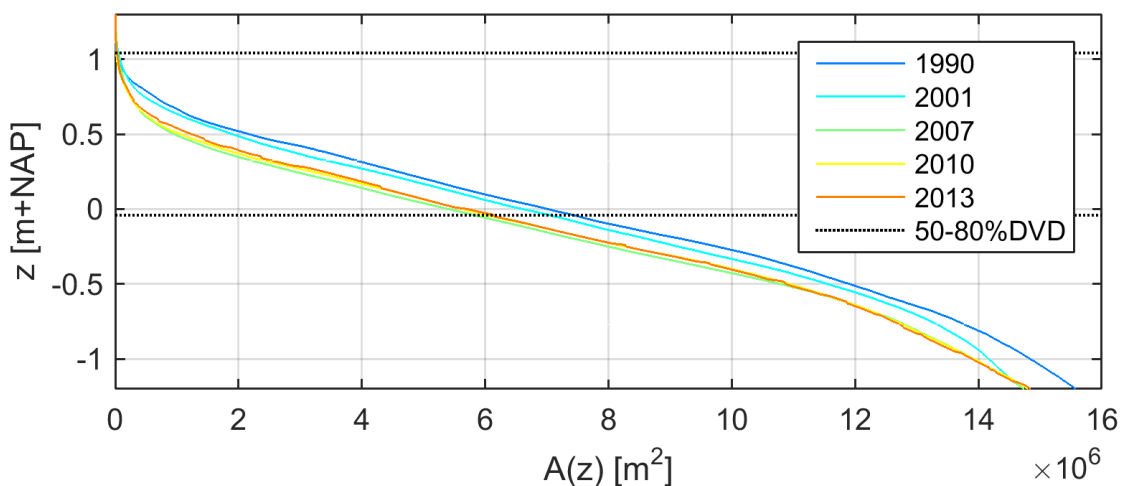


Figuur 2.12 Lineaire erosietrend voor de periode 1990-2013 (boven) en 2007-2013 (beneden).



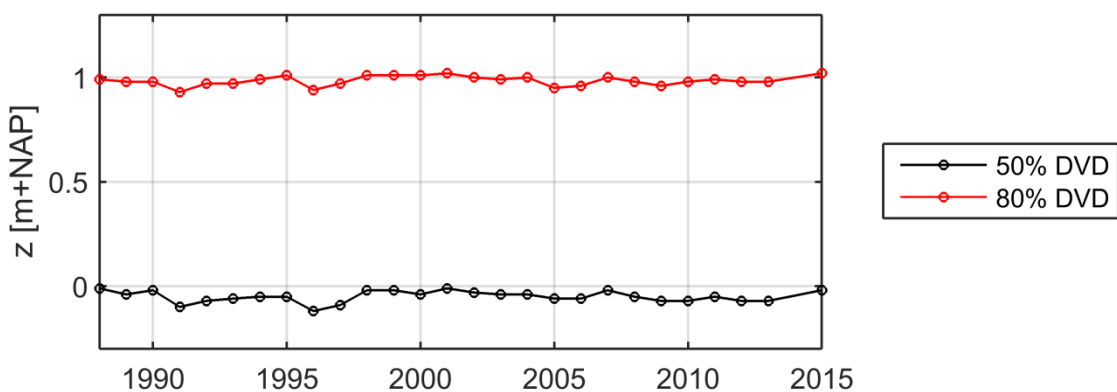
Figuur 2.13 Gemiddelde bodemligging RTK raai en Vaklodngen data Roggenplaat.

Hypsometrische curves zijn een ander 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 verticaal 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 hierop 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.

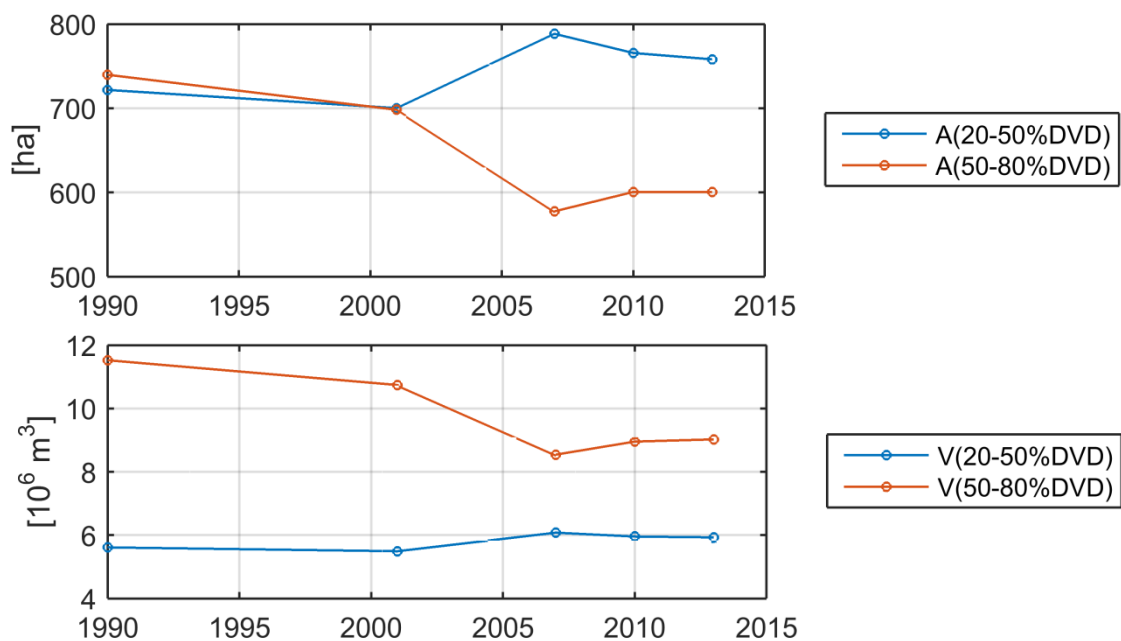


Figuur 2.14 Hypsometrische curves Roggenplaat voor de jaren 1990, 2001, 2007, 2010 en 2013.

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

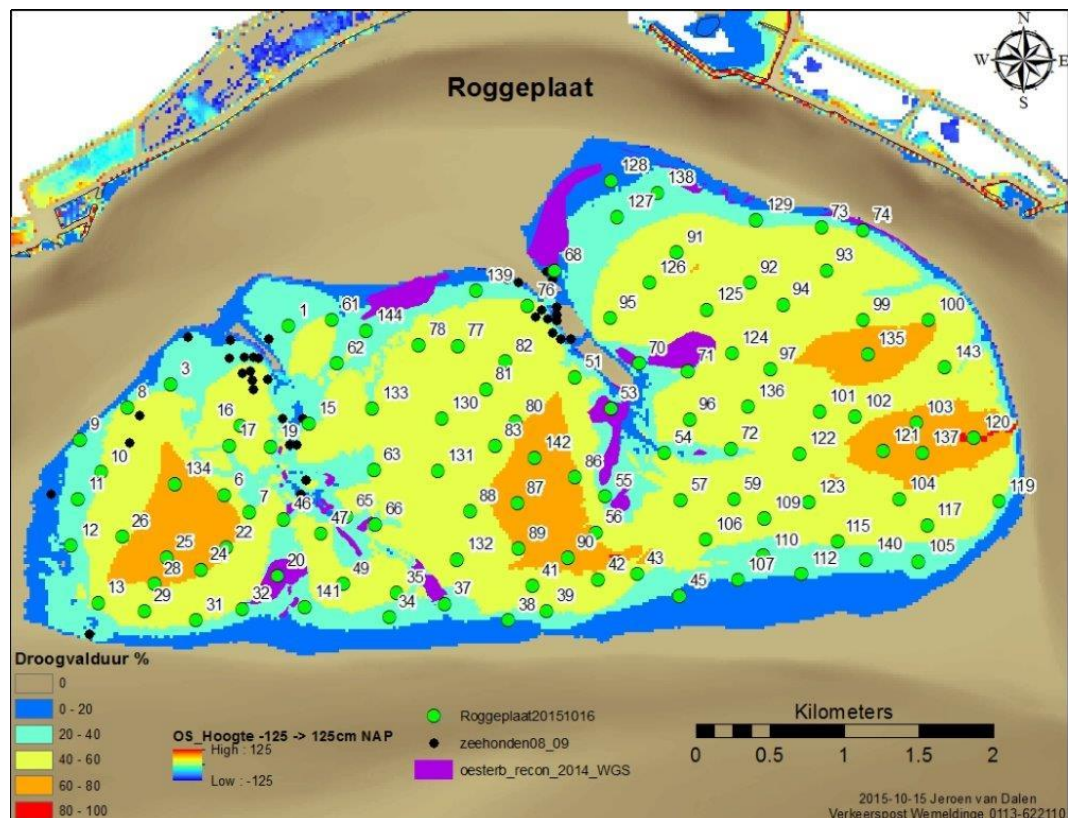
Het macrozoöbenthos (benthische macroinvertebraten > 1 mm, voornamelijk wormen, schelpdieren en schaaldieren) vormt een belangrijke schakel binnen het estuariene voedselweb en is de belangrijkste voedselbron voor vele soorten steltlopers.

Bemonstering 2015

In het najaar (oktober) van 2015 zijn 113 locaties bemonsterd op de Roggeplaat (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. chlorofyll *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 chlorofyll *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 Roggeplaat (n=113).

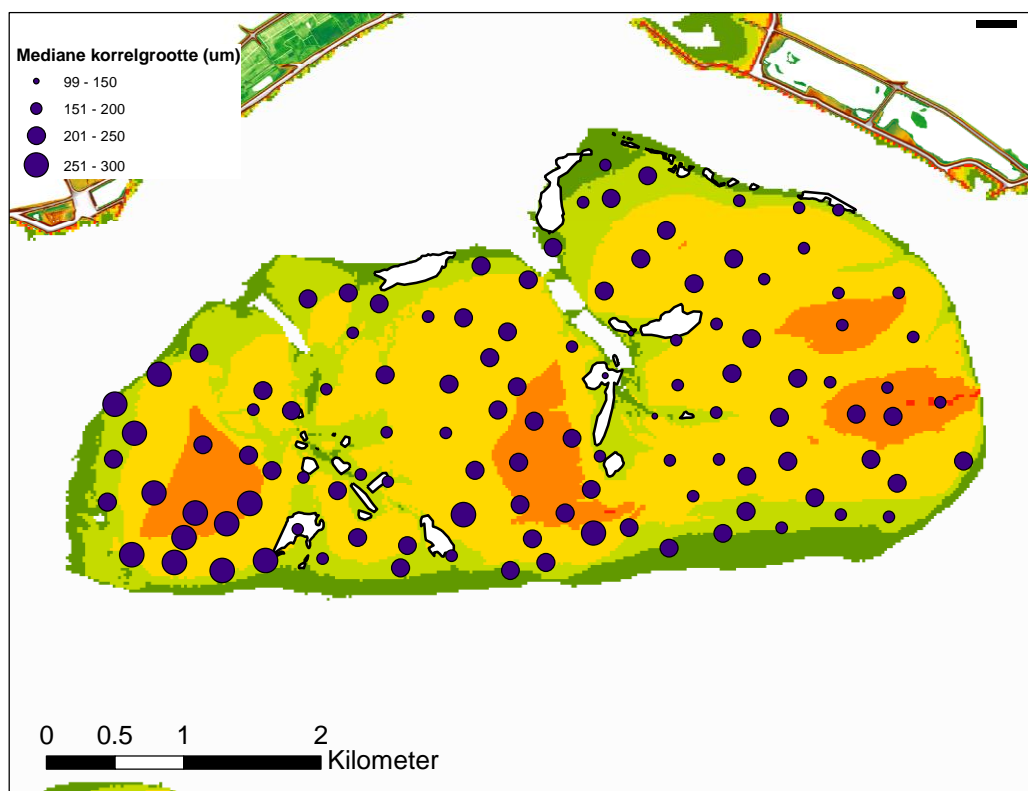
Sedimentsamenstelling

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).

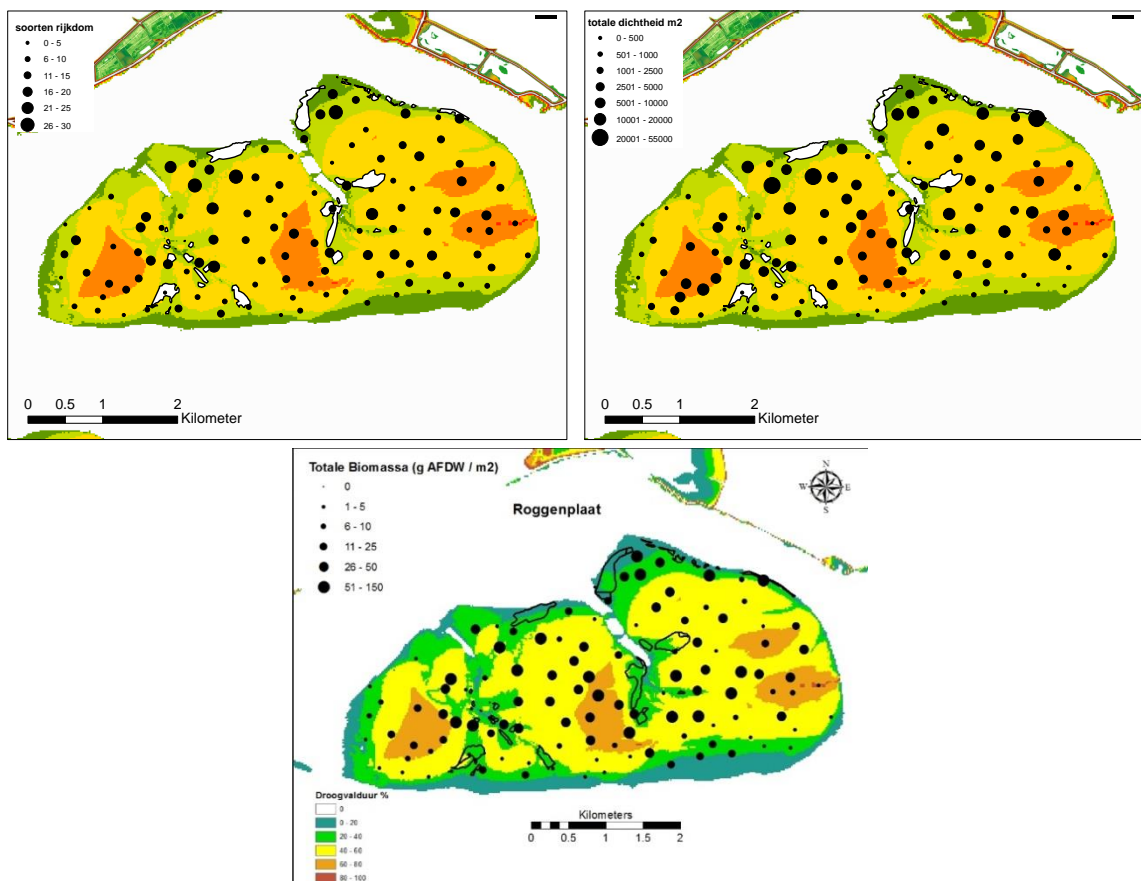
Tabel 2.4 Frequentie van voorkomen (F, %), gemiddelde biomassa (B, g AFDW.m⁻²), en gemiddelde dichtheid (D, ind.m⁻²) van de 20 meest voorkomende soorten op de Roggenplaat in oktober 2015 (n = 113).

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.

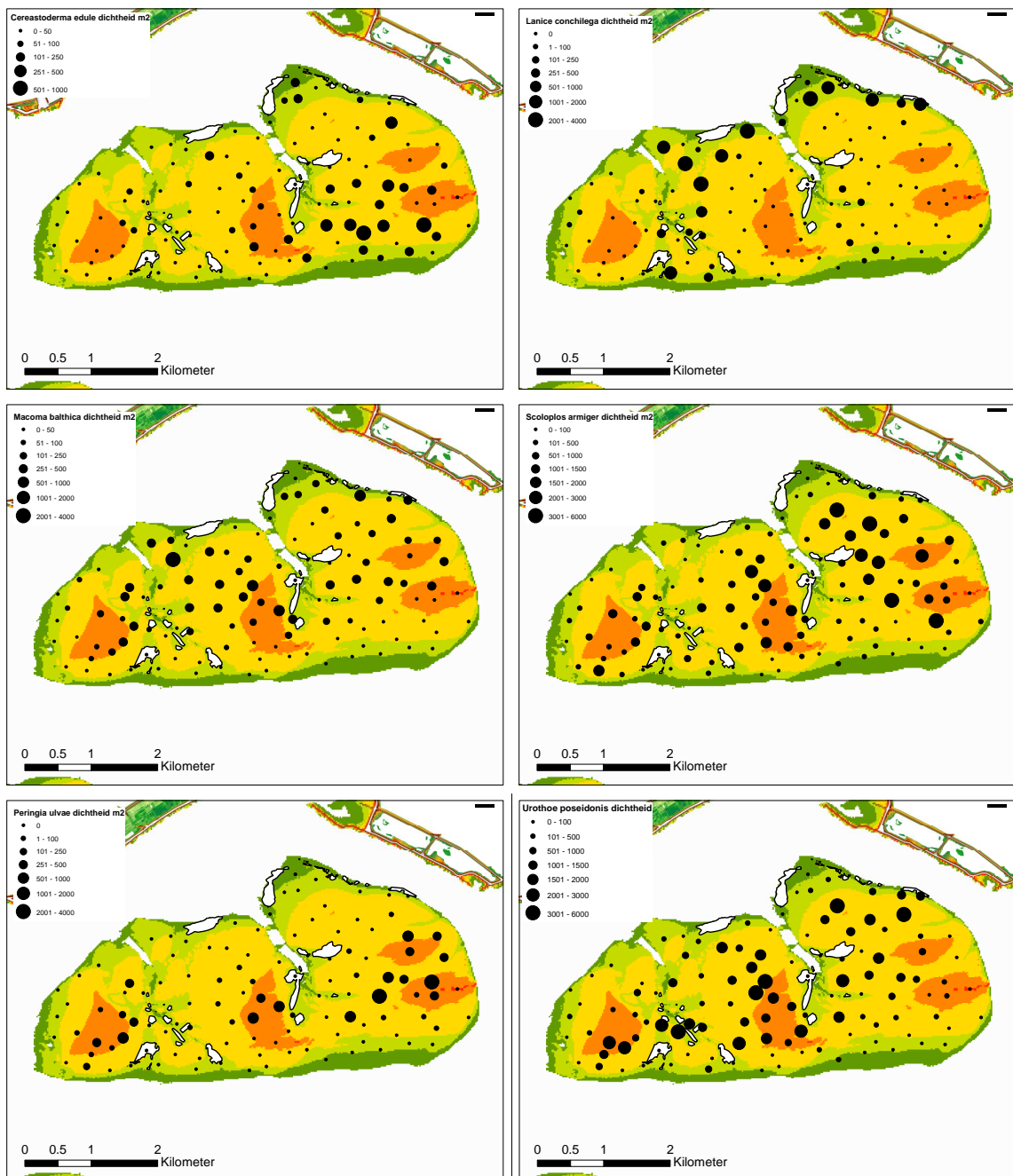


Figuur 2.19 Ruimtelijke verdeling van soortenrijkdom (aantal soorten per locatie) (links) en totale densiteit (ind.m⁻²) op de Roggenplaat in oktober 2015.

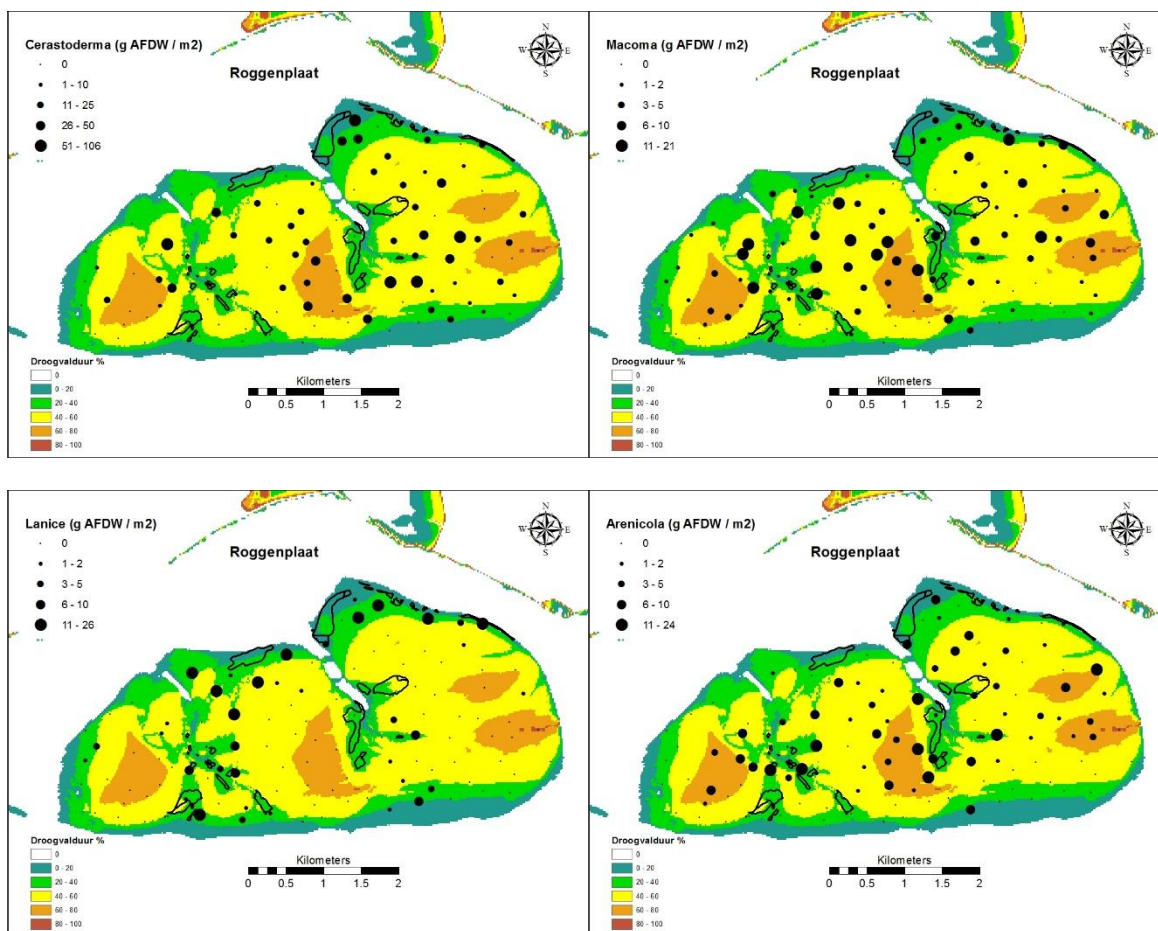
Voor een aantal soorten zien we duidelijke verschillen in de ruimtelijke verspreiding op de Roggenplaat. Figuur 2.20 toont de ruimtelijke verdeling van de densiteit (ind.m⁻²) van de kokkel *Cerastoderma edule*, de schelpkokerworm *Lanice conchilega*, het nonnetje *Macoma balthica*, de wapenworm *Scoloplos 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.

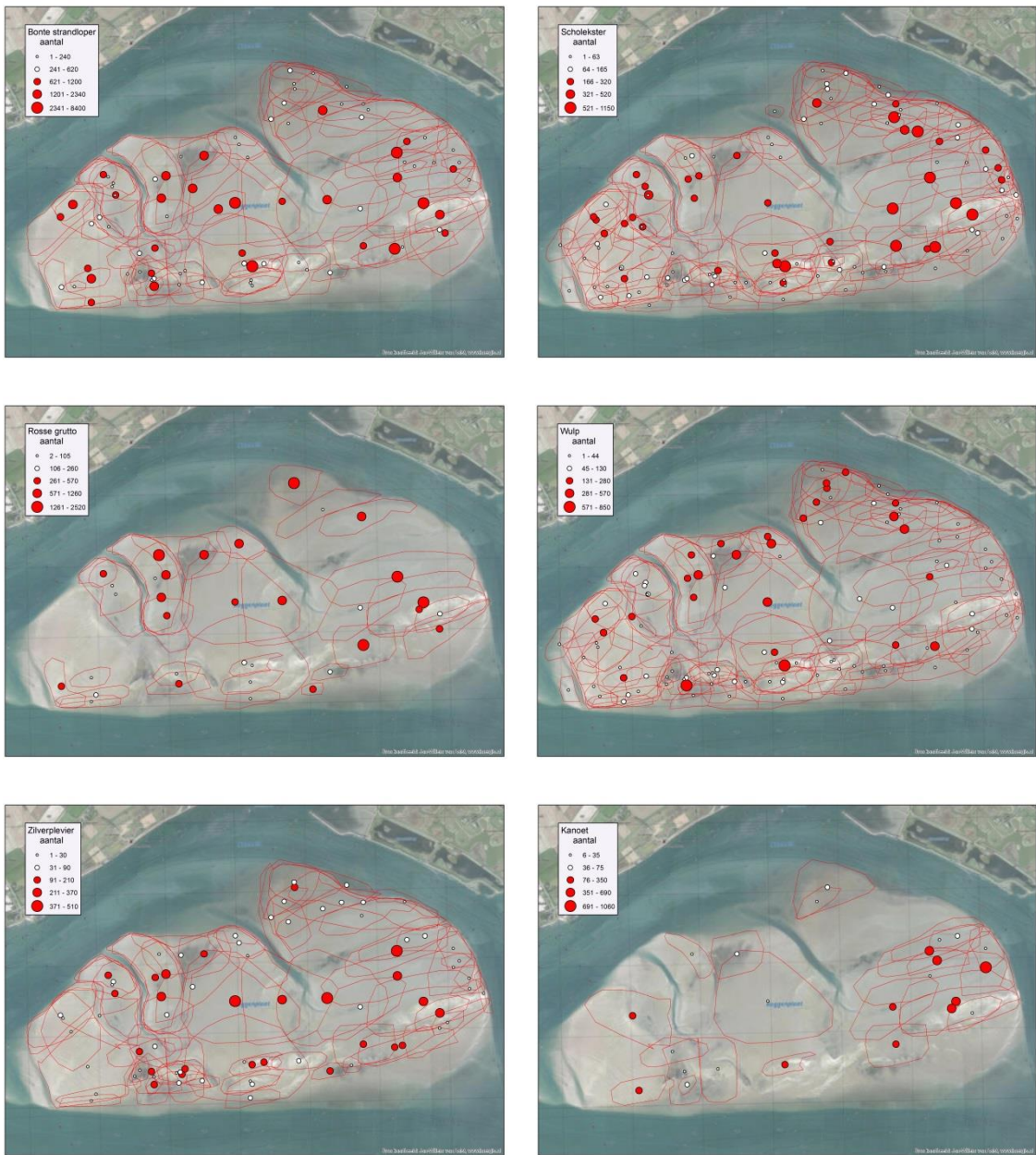
Tabel 2.5 Maximale aantallen watervogels waargenomen op de Roggenplaat in de maanden november en december 2015, en januari en februari 2016.

	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 westelijk deelgebied en in mindere mate in het oostelijk deelgebied en 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 westelijke deelgebied voor, in het gebied waar ook kokkels voorkomen (zie boven).

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



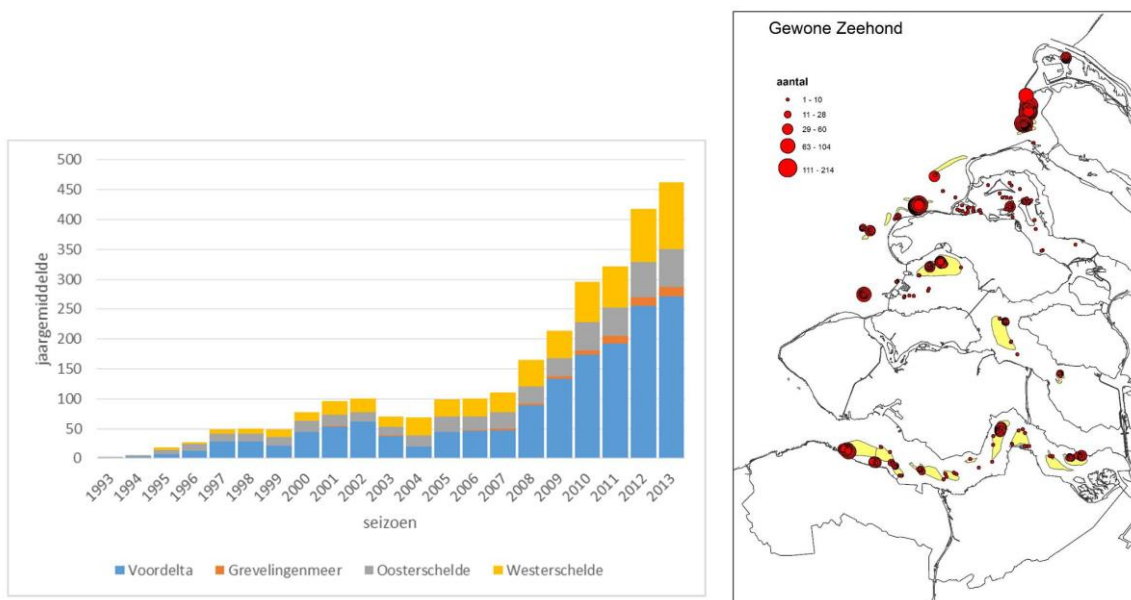
Figuur 2.22 *Verspreiding van foeragerende steltlopers in de periode november 2015 – februari 2016 op de Roggenplaat.*



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).



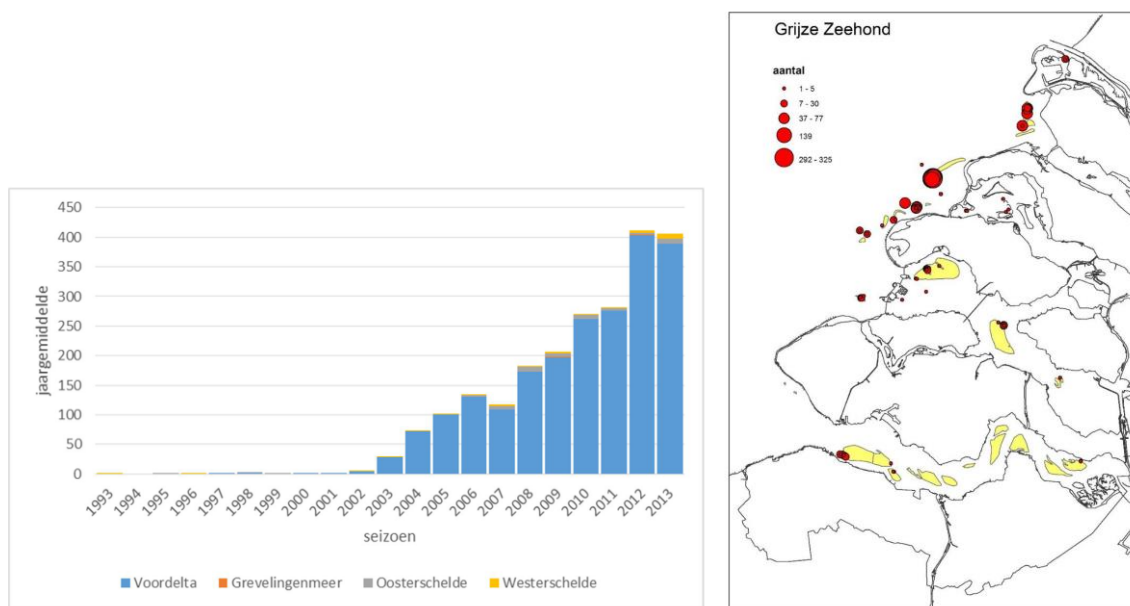
Figuur 2.24 *Links: trend van het jaargemiddelde van de Gewone Zeehond in het Deltagebied in de seizoenen 1993/1994 – 2013/2014. Rechts: ligplaatsen van Gewone Zeehond, gebaseerd op alle tellingen in seizoen 2013/2014 (in november 2013 werden de Oosterschelde en Westerschelde niet geteld). Overgenomen 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 suppletievarianten (Hoofdstuk 5).

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

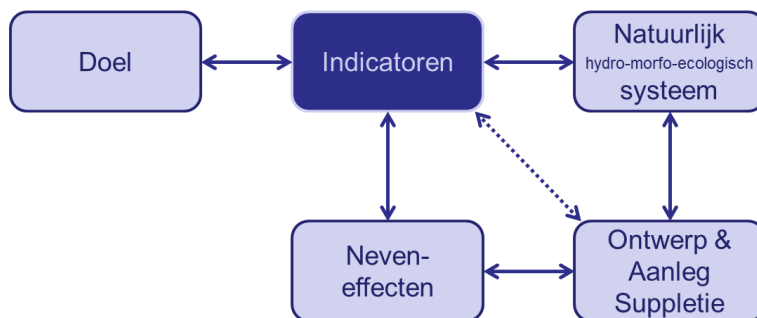
- De indicator gekoppeld is aan het doel van de suppletie, *of wanneer*
- De indicator van toepassing is om een neveneffect van de suppletie aan te geven.
 - Een neveneffect kan zowel positief (bijvoorbeeld het creëren van broedplaatsen voor kustbroedvogels) als negatief (bijvoorbeeld aanzanding bij 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 nog 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*)

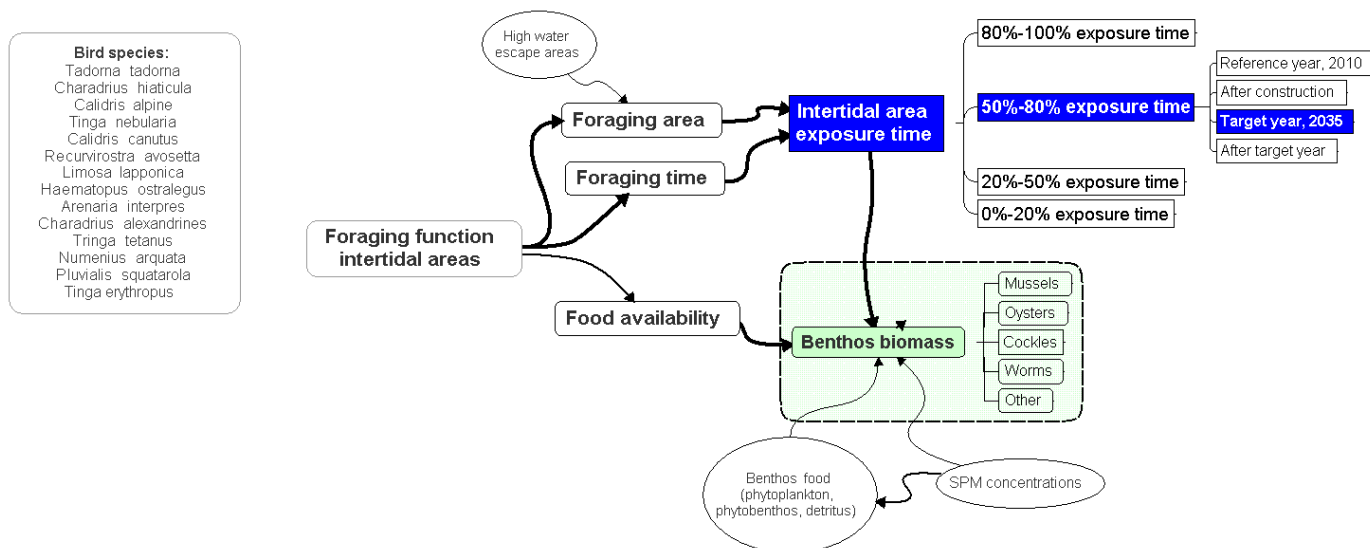
De foerageerfunctie is gedefinieerd als het aantal vogels dat *in potentie*² gebruik maakt van de Roggenplaat en valt uiteen in drie variabelen: 1) Het areaal intergetijdengebied, 2) De foerageertijd, ofwel hoeveel tijd per dag de vogels op het intergetijdengebied kunnen foerageren, en 3) de voedselbeschikbaarheid, 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 §7.2).

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

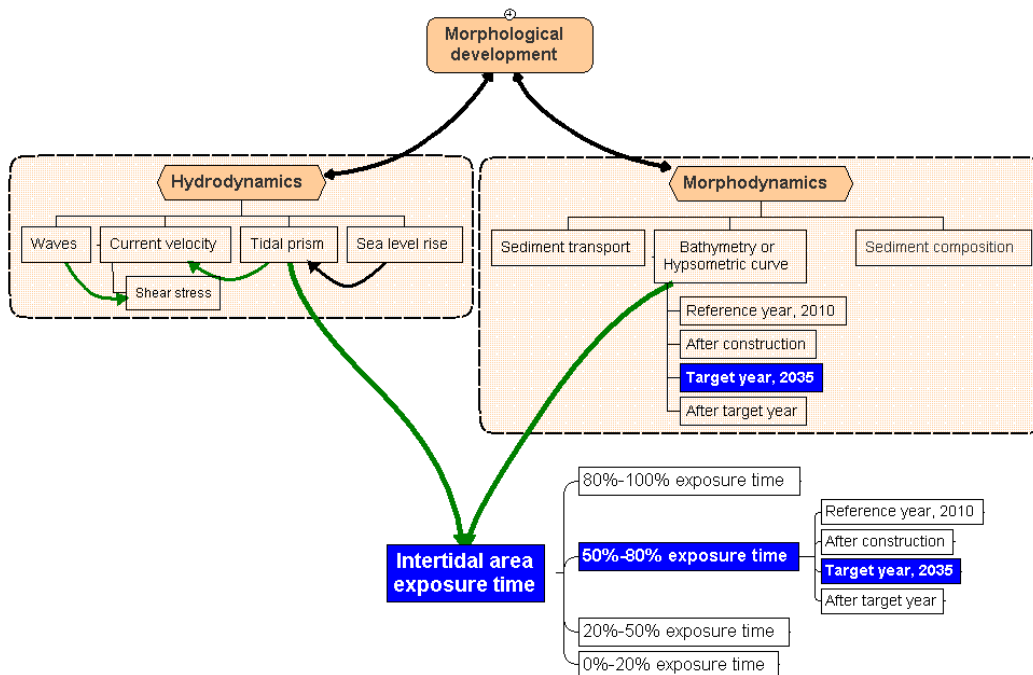
Uitgaande van de doelindicator Areeal droogvalduur zijn de waterbeweging (waterstand en stroming), golven en morfologie de meest relevante processen in het natuurlijk ecosysteem. De hydrodynamica, golven en morfologie van de Roggenplaat zijn beschreven in §2.2. Hoe deze in algemene zin elkaar beïnvloeden, 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 in deze fase op basis van een eenvoudige methode bepaald (zie Hoofdstuk 5) en in de volgende fase met numerieke modelberekeningen getoetst.

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.

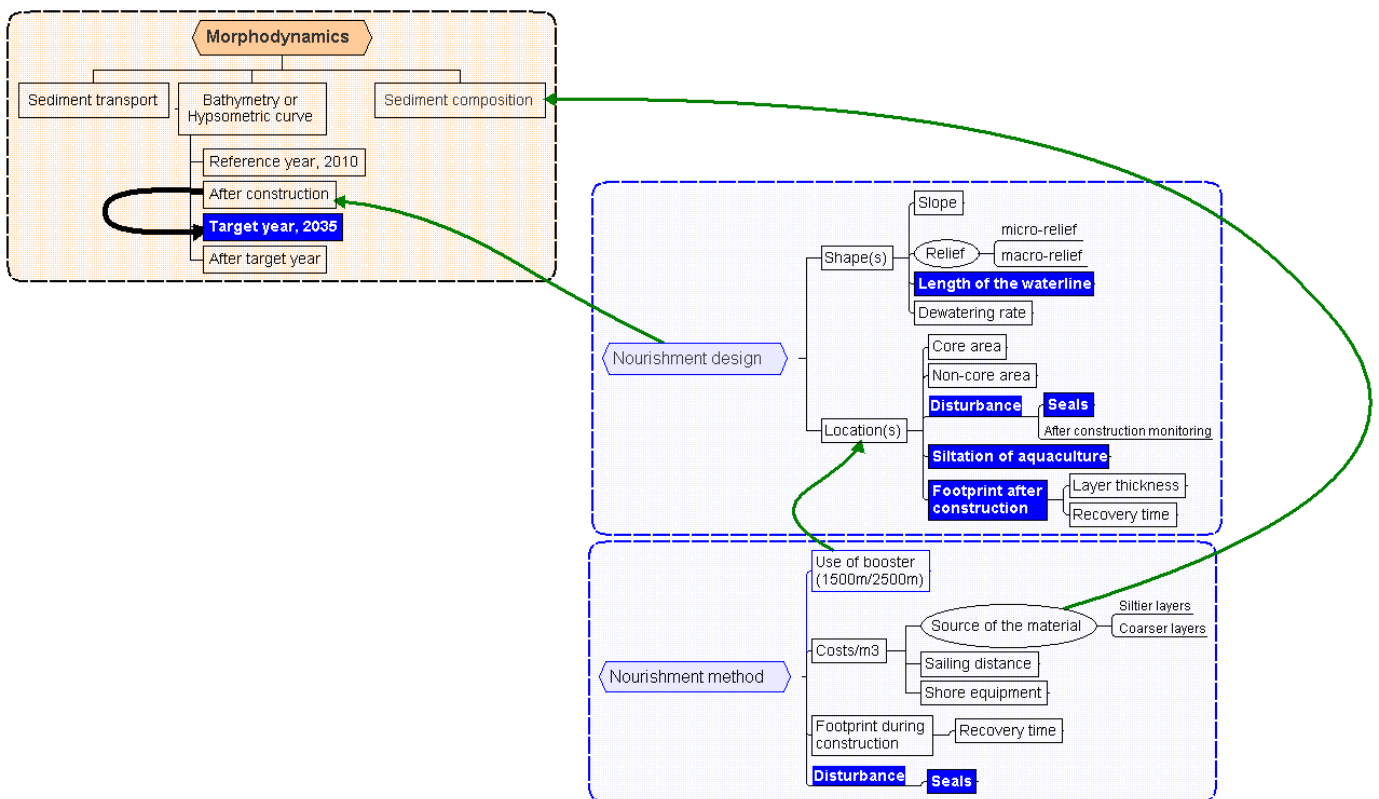
De locatie hangt af van randvoorwaarden, waaronder de verstoring van zeehonden en de aanzanding van mosselpercelen, en van mogelijkheden en beperkingen van de wijze van aanleg, waaronder de bereikbare aanlegpunten van de Roggenplaat en de afstand van aanlegpunten tot de suppletielocatie met of zonder 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 meegenomen in de volgende fase van het ontwerp.
- 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:

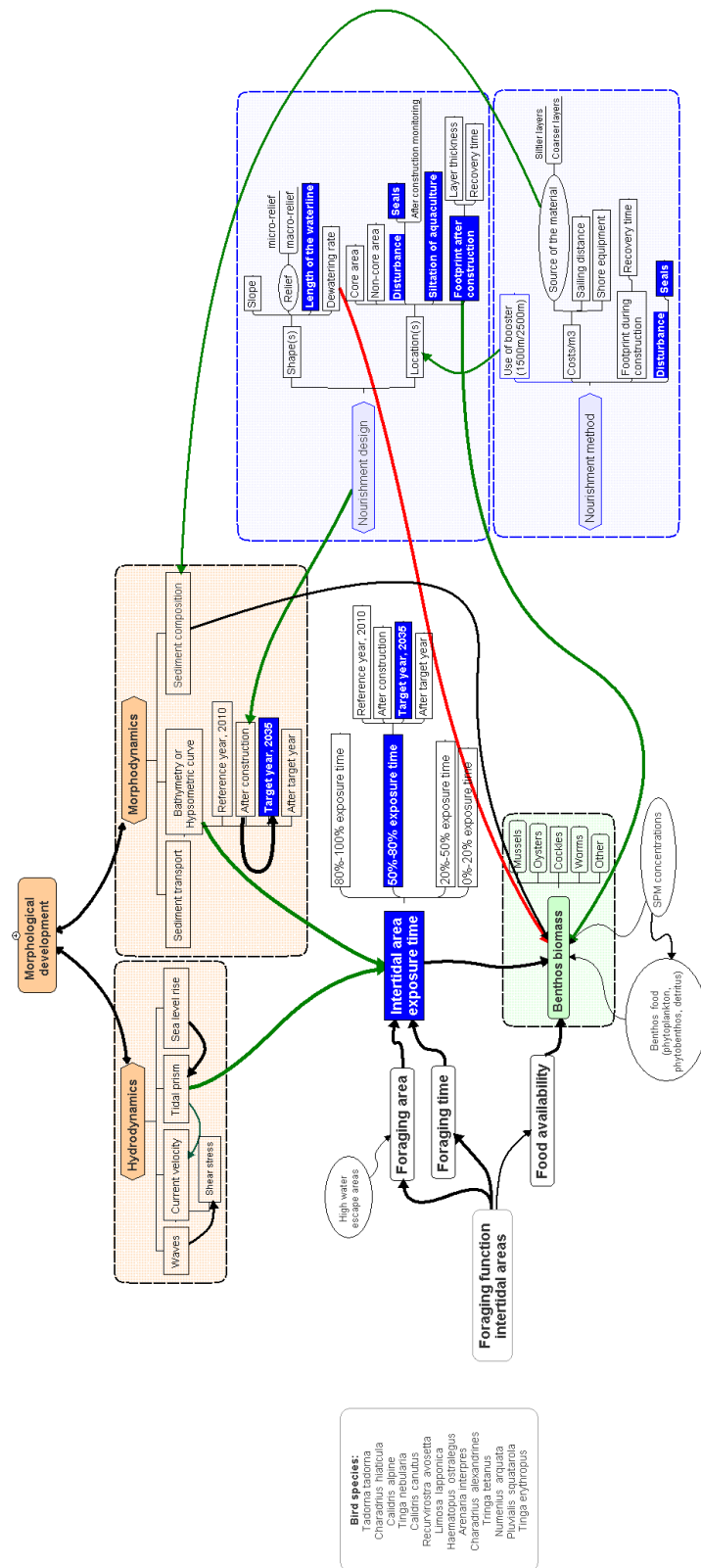
1. Indicatoren gerelateerd aan het doel "In 2035 is de foerageerfunctie van de Roggenplaat gelijk of vergelijkbaar met de foerageerfunctie van de Roggenplaat in 2010"
2. Indicatoren gerelateerd aan (positieve en negatieve) neveneffecten
3. Deskundigenoordeel en -overwegingen die niet in kwantitatieve indicatoren zijn opgenomen, maar wel van belang zijn voor de selectie. Deze komen in Hoofdstuk 5 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	<i>Afweging met huidige biomassa en/of rekolonisatietijd</i>		
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

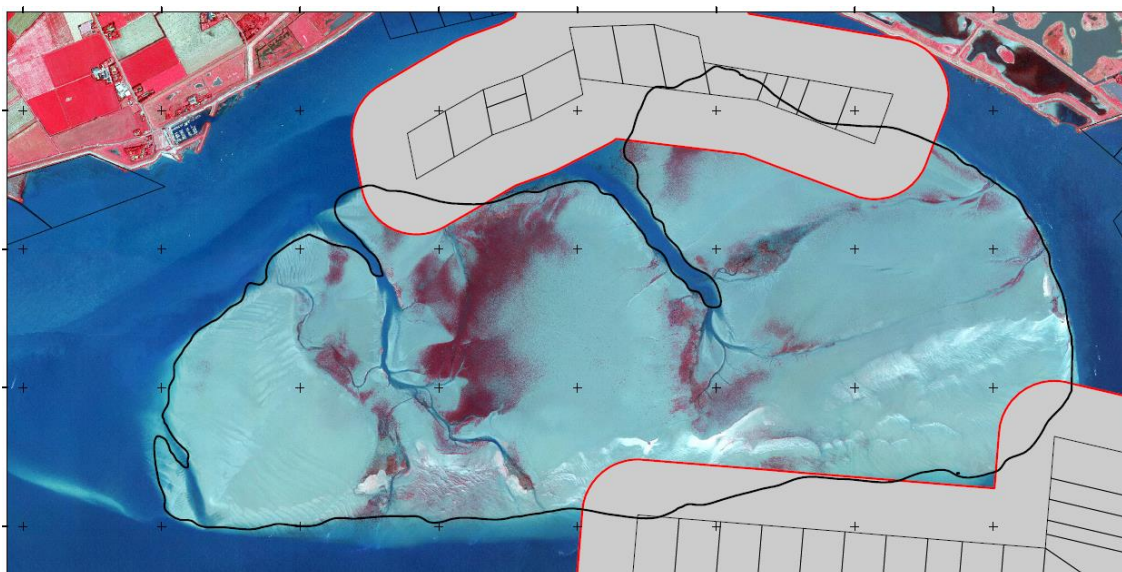
Niet het volledige oppervlak van de Roggenplaat is geschikt om te suppleren. Daar zijn verschillende redenen voor, zowel economisch, ecologisch, morfologisch als technisch van aard. Er zijn gebieden die afvallen om te voorkomen dat het suppletiezand nabijgelegen mosselpercelen verstoort, met economische 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.

Van de hierboven vermelde aspecten zijn criteria opgesteld die in kaartvorm aangeven of er wél of níet 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 is een buffer van 400 m opgesteld door Rijkswaterstaat. Deze buffer geldt ook tijdens de aanleg, dus baggerschepen blijven op minimaal 400 m afstand van de percelen.

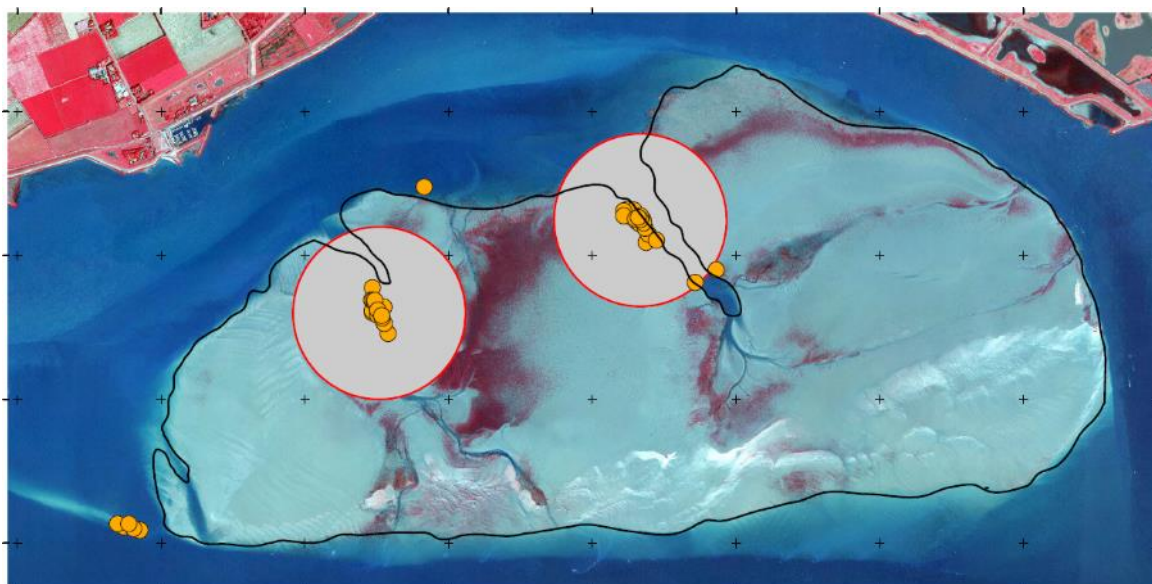


Figuur 4.1 Mosselpercelen (grijze vakken) en een zone van 400 meter rond de percelen (rode lijnen); binnen deze grens wordt niet gesuppleerd. De laagwaterlijn is weergegeven in zwart.

4.3 ECOLOGISCH BELANG

4.3.1 ZEEHONDEN (CRITERIUM 2)

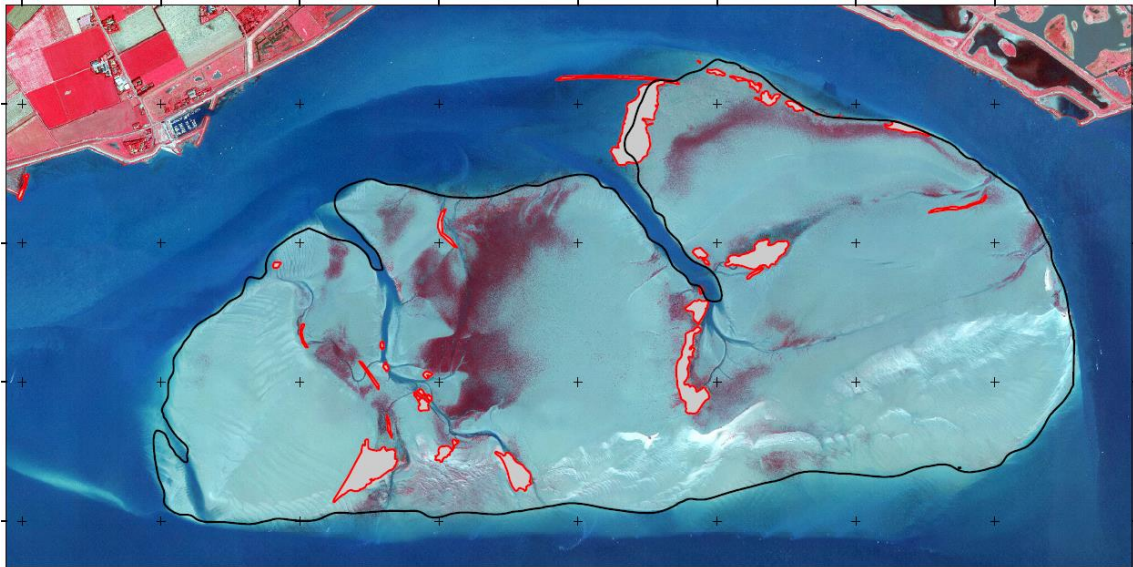
De Roggenplaat vervult een belangrijke functie voor zeehonden (gewone zeehond en grijze zeehond). Op de randen van de plaat, langs de twee drainagegeulen komen vaak zeehonden rusten en worden jongen geworpen. In het onderstaande figuur zijn de locaties aangegeven waar de zeehonden zijn waargenomen (Arts 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. Op basis van een deskundigenoordeel gebaseerd op veldwaarnemingen (Edwin Parea RWS-CIV/HZ) is een afstand van 600 m gehanteerd rond het punt waar de zeehonden het vaakst zijn waargenomen (Figuur 4.2). Deze waarnemingen zijn uitgevoerd door Rijkswaterstaat Centrale Informatievoorziening.



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 Hoofdstuk 6), 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

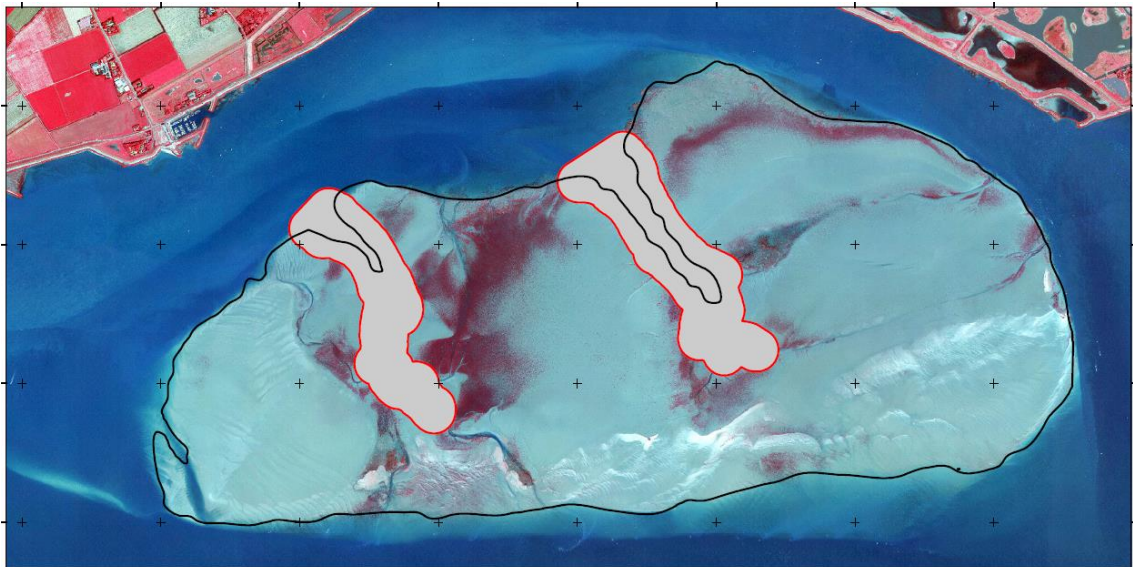
Op de Roggenplaat komt veel bodemleven voor, sommige gebieden zijn rijker dan andere (zie paragraaf 2.3.2). Het bodemleven is niet opgenomen als criterium in de geschiktheidskaart omdat grote delen van de Roggenplaat bestempeld kunnen worden als 'rijk bodemleven' en dit beperkt de ontwerpvrijheid te zeer. Wel wordt de aanwezigheid van het bodemleven gebruikt om de ecologische footprint van de suppletie te bepalen en meegenomen binnen het afwegingskader van de verschillende suppletievarianten (paragraaf 5.4).

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)

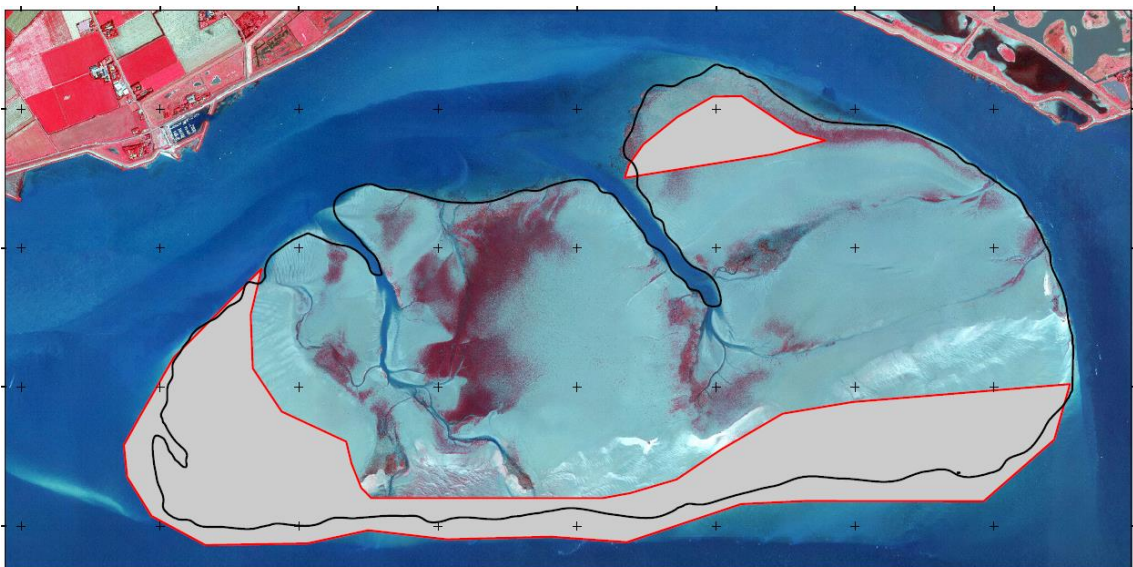
De Roggenplaat kent twee grote afwateringsgeulen. Deze geulen zorgen voor de aan- en afvoer van het water tijdens opkomend- en afgaand water. Het lijkt niet verstandig om suppletiezand dicht bij deze geulen te leggen, omdat er dan een risico ontstaat voor een ongewenste morfologische ontwikkeling, een 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 geschikt 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 suppletie locatie (Figuur 4.5).

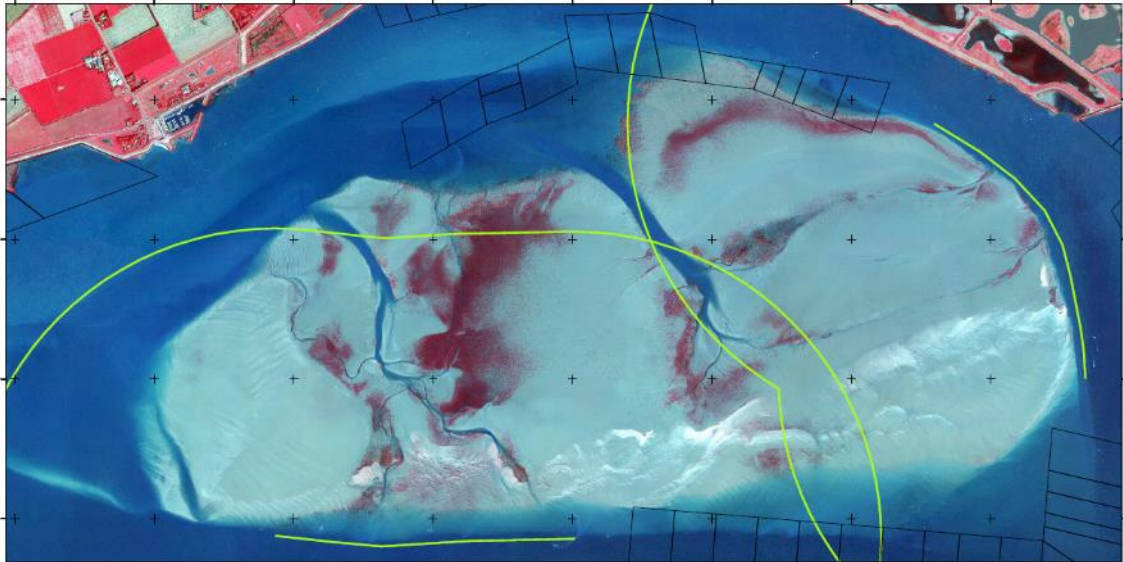


Figuur 4.5 Sterk erosieve gebieden langs de rand van de Roggenplaat worden uitgesloten als suppletie locatie. De laagwaterlijn is weergegeven in zwart.

4.5 UITVOERING

De zone waar een baggerschip kan aanleggen is 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 ongeschikt voor aanleggen van baggerschepen, gezien de ligging van de mosselpercelen en de geringe

waterdiepte. De aanleglocaties houden rekening met de 400 m buffer 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 hiervandaan (2000 m zonder pompstation). De ligging van de mosselpercelen is aangegeven met de zwarte lijnen.

Vanuit de aanlegplaatsen 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 baggermateriaal. Een eerste inschatting van de uitvoeringsmogelijkheden en kosten staan beschreven in Bijlage A.

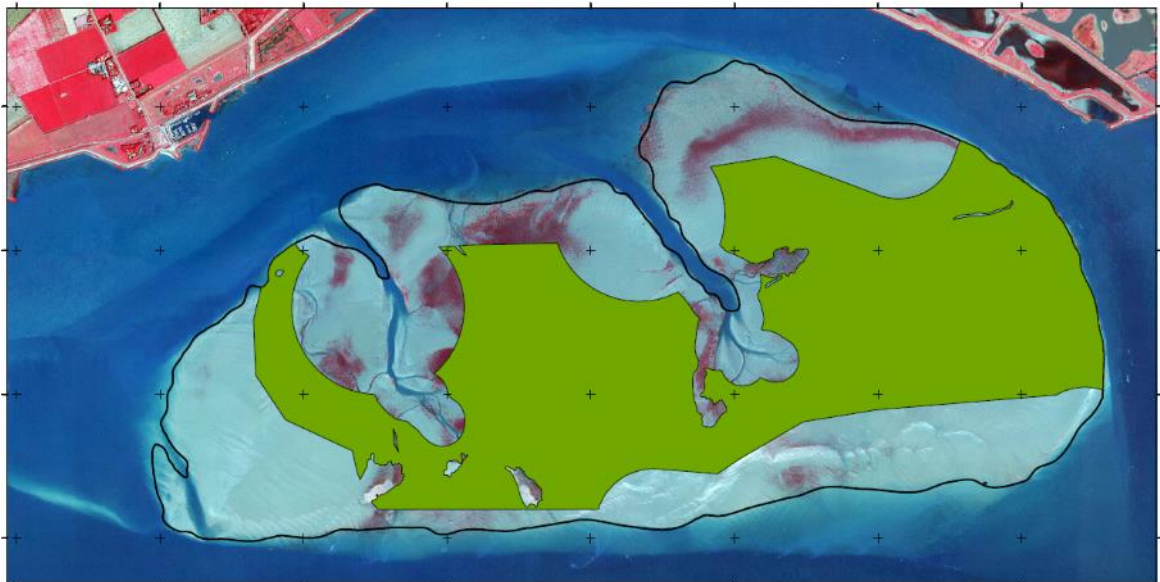
Hieruit blijkt dat voor een baggerschip dat gebruikt gaat worden voor het suppleren van de Roggenplaat een persafstand van ca. 2200 m haalbaar is. Met een inzet van een pompstation (*booster*) kan een grotere afstand bereikt worden. De extra kosten van een pompstation bedragen ca. 25%, die deels gecompenseerd worden door een hogere productie. Zonder pompstation kan bijna de gehele Roggenplaat bereikt worden, en daarom houden we de 2200 m persafstand vanaf de aanlegzones aan (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 pompstation)



Figuur 4.7 Geschiktheidskaart Roggenplaat; gebieden waar suppleren mogelijk is.

5 SUPPLETIEVARIANTEN

5.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk beschrijft de suppletievarianten. Op basis van ontwerpprincipes beschreven in paragraaf 5.2, worden drie suppletievarianten ontwikkeld en uitgewerkt (paragraaf 5.3). In paragraaf 5.4 wordt een afweging tussen de drie varianten gemaakt op basis van het afwegingskader.

5.2 ONTWERPPRINCIPES SUPPLETIE

De belangrijkste variabelen voor de Roggenplaat suppletie zijn de locatie, hoogte en vorm. De locatie wordt in belangrijke mate bepaald door de geschiktheidskaarten, maar ook de huidige bodemligging speelt een rol. Een belangrijk onderscheid hierin zijn gebieden die momenteel al in de 50-80% DVD (droogvalduur) klasse liggen, en lagere zones. In het licht van deze variabelen zijn door Rijkswaterstaat drie suppletievarianten bedacht volgens drie verschillende ontwerpprincipes:

1. **Zandrug.** Het zand wordt op twee of drie locaties neergelegd zodat het areaal 50-80% DVD direct toeneemt. De aanleghoogte is maximaal NAP +1,0 m, ongeveer het niveau dat momenteel 80% van de tijd droogvalt.
2. **Zandreliëf.** Net zoals de zandrug-variant wordt suppletiezand aangebracht zodat het areaal in de 50-80% DVD klasse toeneemt, maar dan in meerdere bulten om lokale luwtes te creëren om het ecologisch herstel te bevorderen.
3. **Zandbron.** Het betreft suppleties op twee locaties met een relatief grote aanleghoogte. Het verstoorde areaal is relatief klein en de Roggenplaat wordt vanaf de suppletie op een natuurlijke wijze gevoed. De gekozen maximale aanleghoogte is NAP +1.7 m, ongeveer het niveau dat momenteel 99% van de tijd droogvalt.

We gaan uit van een conversiefactor van 0,8 om beunkuubs om te rekenen naar in-situ kuubs⁴. Dit betekent dat het geplande beunvolume van 1,65 miljoen m³ correspondeert met een suppletievolume van 1,32 miljoen m³ op de Roggenplaat.

In onderstaande uitwerking van de suppletievarianten zijn we uitgegaan van een ruimtelijk-uniforme aanleghoogte en een vaste helling van de suppletierand van 1:50. Voor deze eerste beschouwing van de varianten maken deze keuzes niet uit; in een later stadium zal de Roggenplaat suppletie gedetailleerder worden ontworpen.

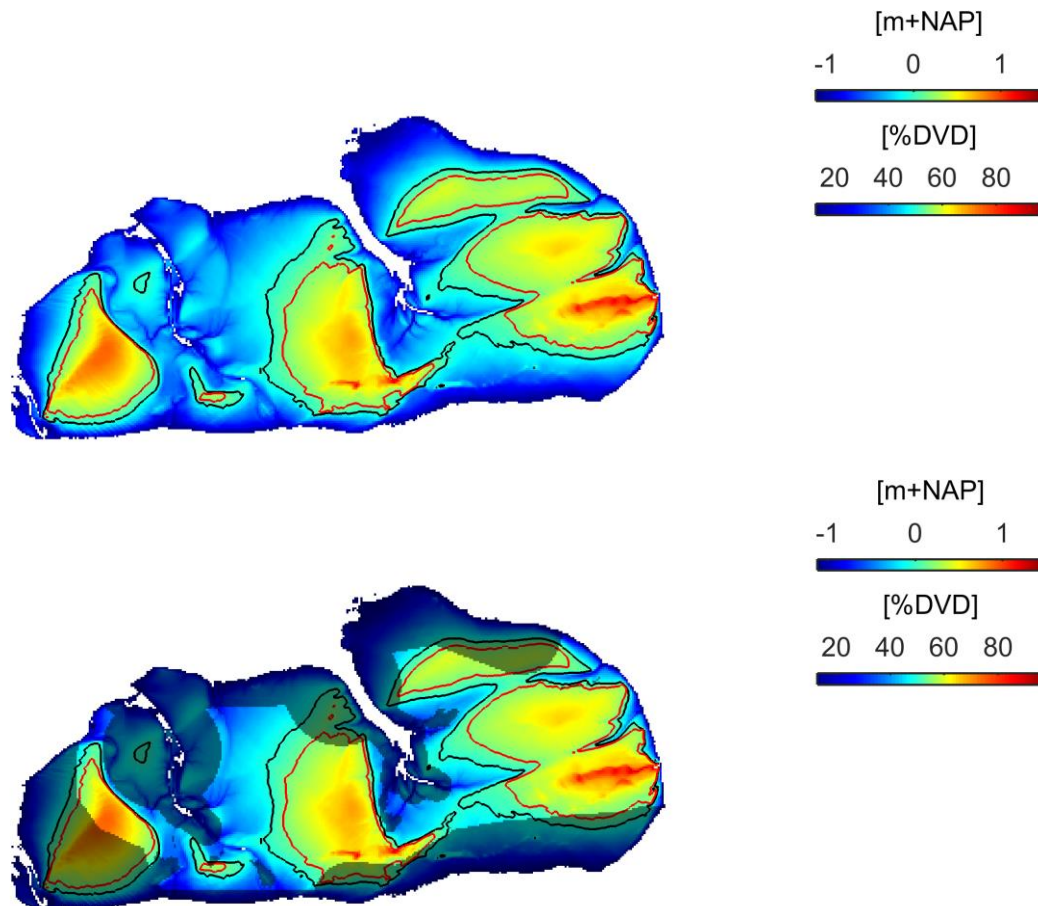
5.3 UITWERKING SUPPLETIEVARIANTEN

5.3.1 INLEIDING

Het belangrijkste doel van de Roggenplaat suppletie 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 in beschouwing. In onderstaande analyse gaan we uit 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 jaar x (0,5 cm/jaar + 0,4 cm/jaar) = ~20 cm.

⁴ In het Wittenveen + Bos memo (Bijlage A) wordt een omrekenfactor van 0,9 gehanteerd. Een conversiefactor van 0,8 lijkt dus aan de conservatieve kant.

Figuur 5.1 toont de Roggenplaat met en zonder 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 suppletievarianten gaan daarom uit van locaties waarbij de bodem momenteel lager ligt dan de DVD 50% + 0,2 m (NAP +0,16 m).

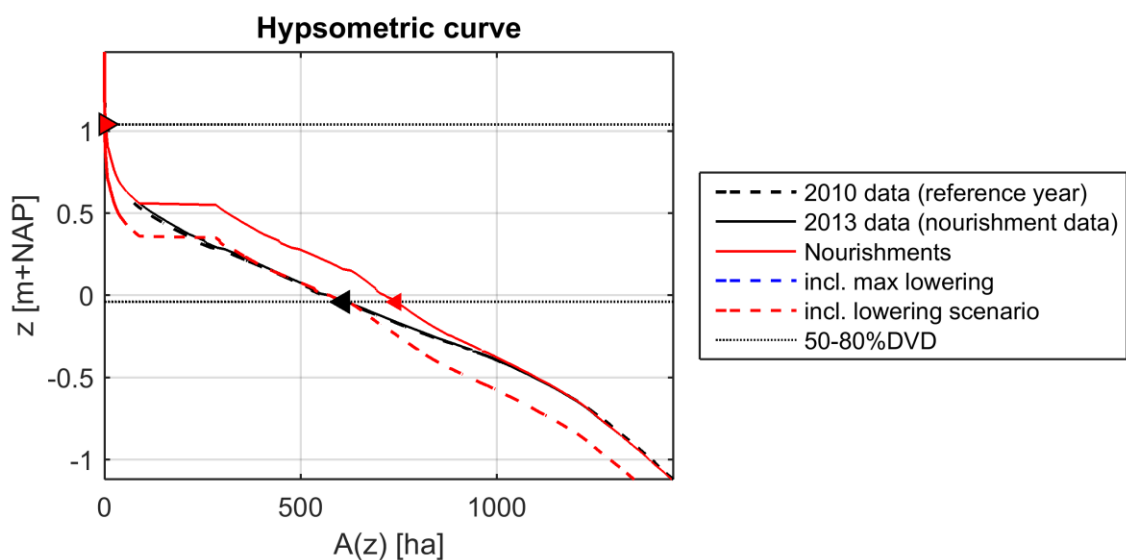
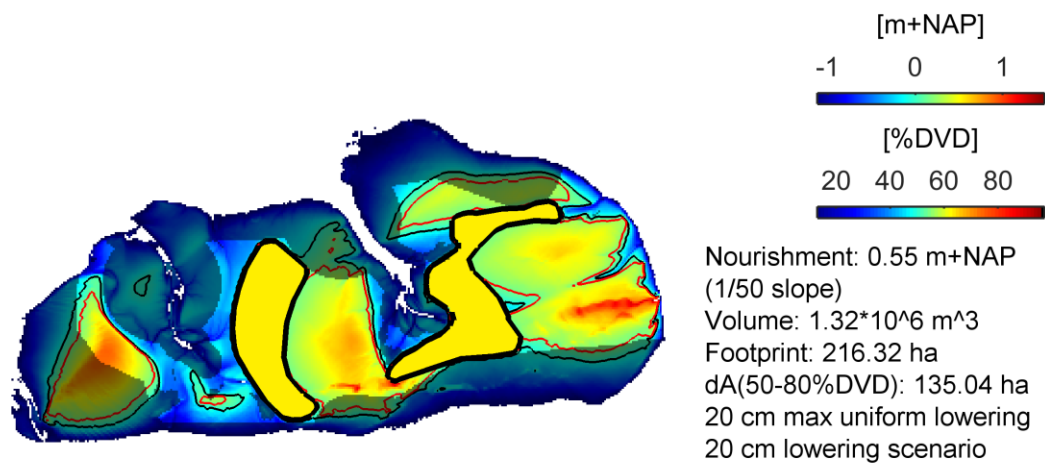


Figuur 5.1 2013 bodemligging Roggenplaat met DVD 50% (zwarte) en DVD 50% + 0,2 m (rood) contourlijn zonder (bovenste paneel) en met geschiktheidskaart (onderste paneel).

5.3.2 ZANDRUG

Figuur 5.2 toont de uitwerking van de zandrug suppletievariant. De suppletie wordt tot een hoogte van NAP+0,55 m gelegd. Het gesuppleerde oppervlakte (*footprint*) is 216 ha. Het onderste deel van deze figuur toont de hypsometrische curve voor 2010 (referentiejaar), 2013 (meest recente bodem, zeer vergelijkbaar met 2010) en voor de 2013 bodem + de suppletievariante (*Nourishments*). De initiële winst 50-80% DVD areaal (ten opzichte van het doeljaar 2010) is 135 ha. Dit 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.

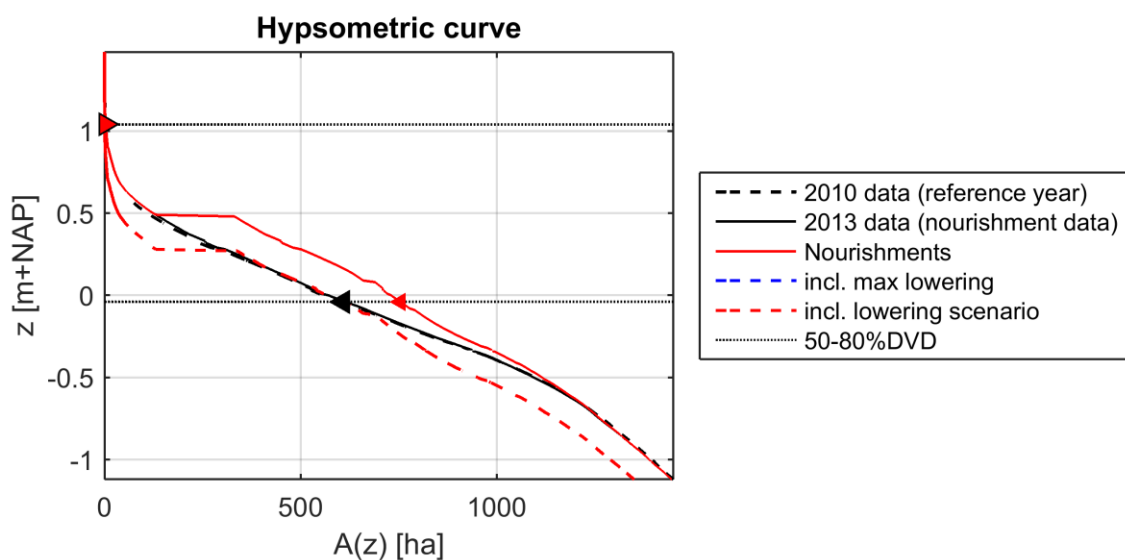
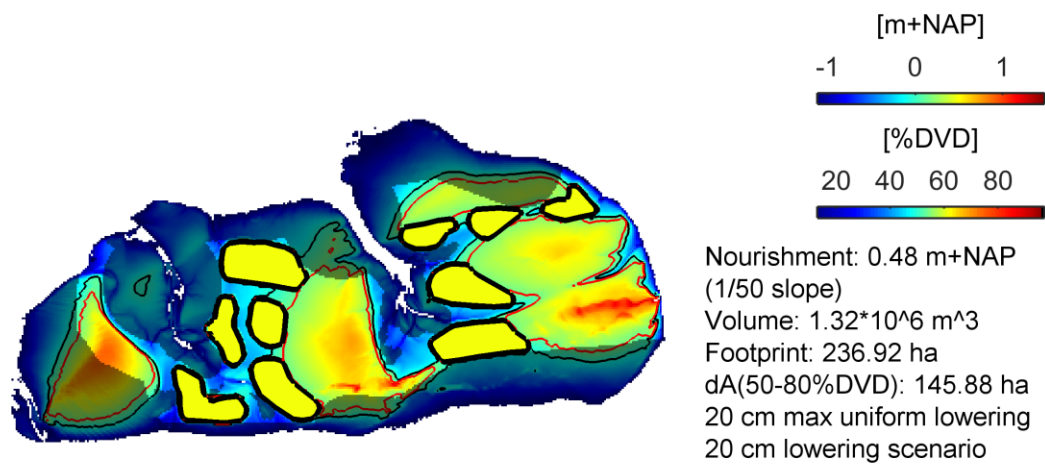
Max uniform lowering is een parameter die aangeeft na hoeveel uniform relatieve plaatverlaging er niet meer wordt voldaan aan het criterium dat het areaal 50-80% DVD groter of gelijk is aan de situatie in 2010. In dit geval is dit 20 cm, wat overeenkomt met de verwachte verticale erosie tussen 2013 en 2035 (*lowering scenario*). Het onderste paneel toont de corresponderende hypsometrische curves. Deze suppletievariant voldoet dus naar verwachting aan het belangrijkste criterium, nl. dat het 50-80% DVD areaal in 2035 gelijk of groter is dan in 2010. Niet het gehele zoekgebied is opgevuld; dit ontwerp biedt dus een zekere vrijheid voor (ecologische) optimalisatie.



Figuur 5.2 *Uitwerking zandrug suppletievariant.*

5.3.3 **ZANDRELIËF**

Er is een zandreliëf variant uitgewerkt met 5 kleinere suppleties aan weerszijde van het hogere gedeelte op het midden van de Roggenplaat (Figuur 5.3). De suppleties zijn tot op een hoogte van NAP+0,48 m gelegd, de footprint is 237 ha en de initiële winst in 50-80% areaal DVD is 146 ha (ten opzichte van het doeljaar 2010). Hypsometrisch is de zandreliëfvariant vergelijkbaar met de zandrugvariant. De Roggenplaat inclusief suppleties mag 20 cm zakken voordat het areaal DVD 50-80% op hetzelfde niveau ligt als is 2010. Naar verwachting voldoet deze variant dus. Er kan geschoven worden met het aantal suppleties en hun vorm en locaties (mits in zoekgebied), b.v. ten behoeve van de ecologie cq. uitvoering (kosten).

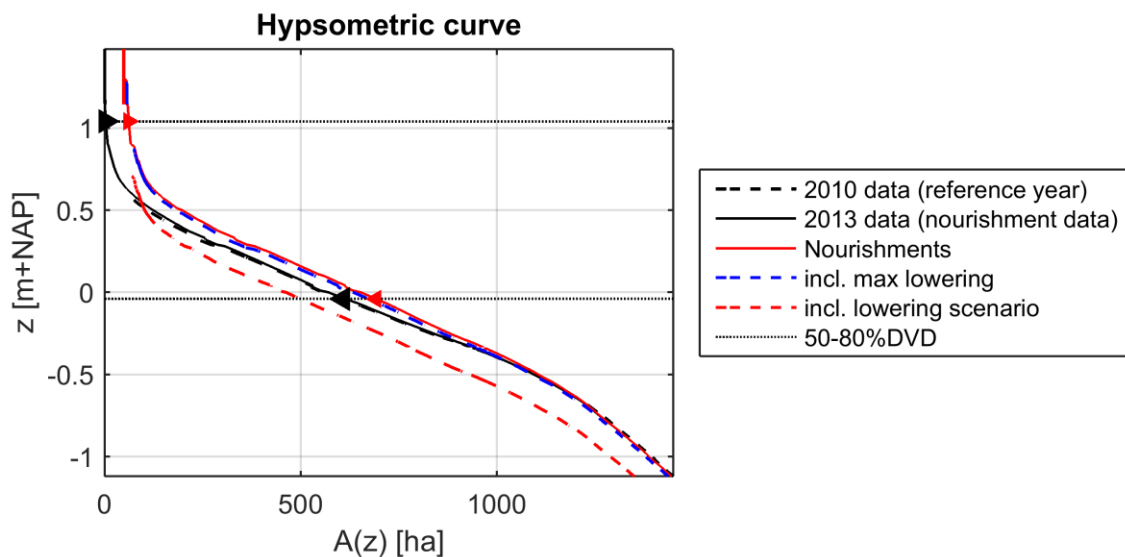
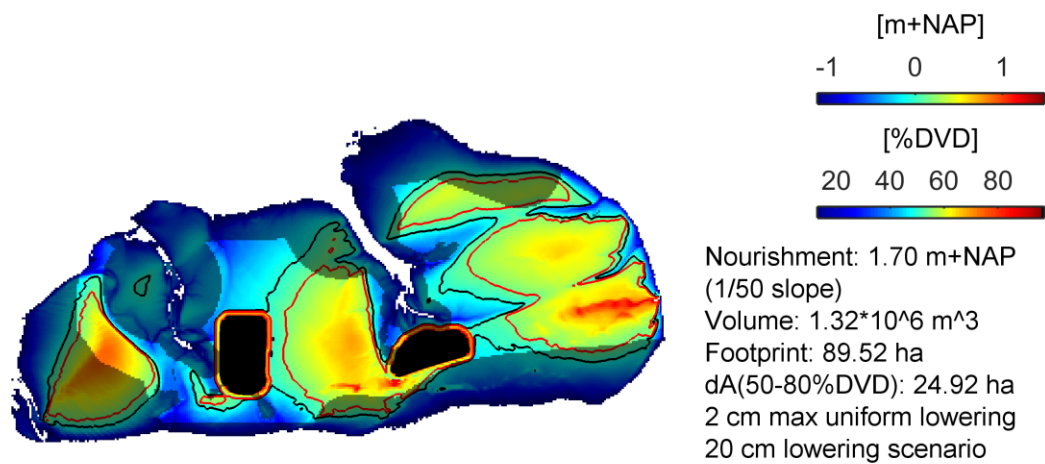


Figuur 5.3 *Uitwerking zandrelief suppletievariant.*

5.3.4 ZANDBRON

Figuur 5.4 toont een mogelijke uitwerking van de suppletievariant volgen het zandbronprincipe. Aangezien dit ontwerp principe vraagt om een relatief hoge suppletieaanleg, is het gewenst de zandbron zo veel mogelijk aan te leggen in gebieden die nu lager liggen dan het 50% DVD niveau. Anders gaat er initieel waardevol 50-80% DVD areaal verloren, want er komt door deze hoge suppletie areaal bij dat meer dan 80% van de tijd droogvalt. Er zijn niet veel aaneengesloten gebieden die aan dit criterium voldoen, wat de zoekruimte beperkt. De suppleties zijn zo ver mogelijk zuidelijk op de plaat gelegd, in lijn met de verwachte dominant noordelijke zandtransportrichting.

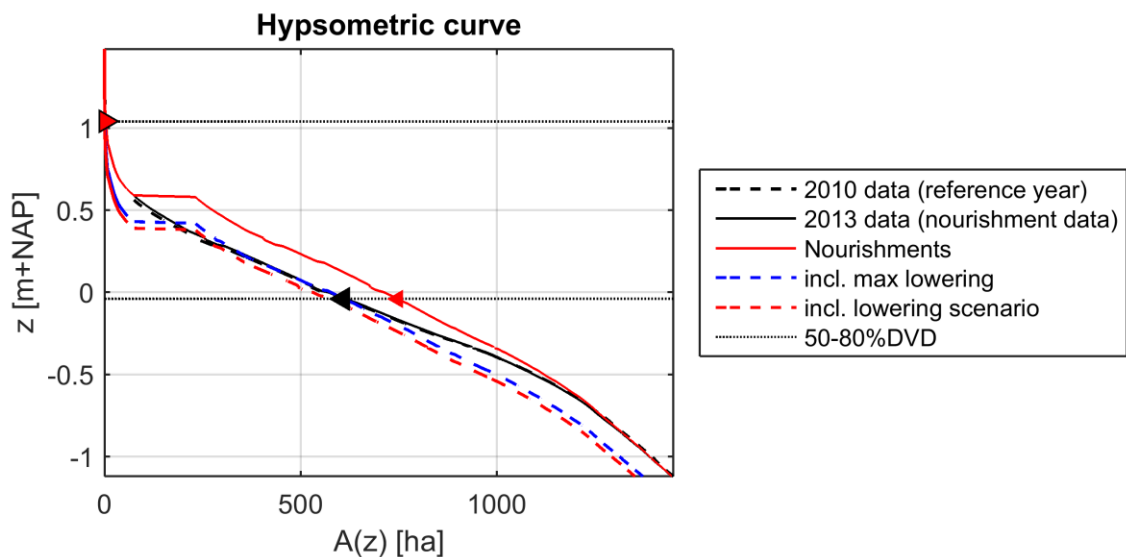
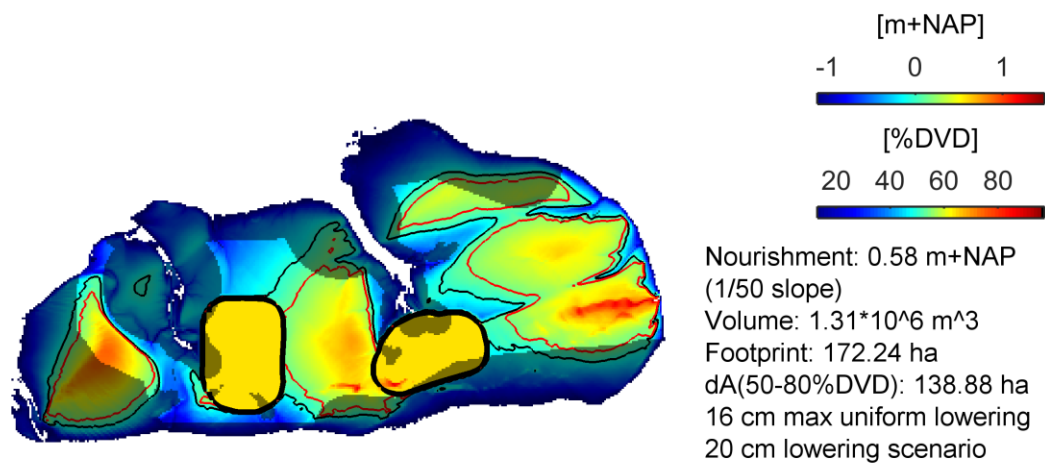
De aanleghoogte van de suppletie is NAP+1,7 m. Dit uit zich in de hypsometrische curve na suppletieaanleg; er is initieel een toename is van het >80% DVD areaal. Het areaal dat meer dan 50% van de tijd droogvalt neemt ook toe en deze toename is sterker, zodanig dat het areaal 50-80% DVD initieel iets toeneemt met 25 ha. Dit is 5-6x minder dan de zandrug- en zandreliefvariant. De footprint is met 90 ha dan ook ~3x kleiner. Vanwege de beperkte areaalwinst, voldoet de zandbronvariant niet aan het 50-80% DVD areaal criterium in 2035, uitgaande van een verticale erosie van 0,2 m in de periode tot 2035.



Figuur 5.4 *Uitwerking zandbron suppletievariant.*

De zandbronvariant is bedoeld om de Roggenplaat vanaf de suppletie op een natuurlijk wijze te voeden. Deze horizontale verspreiding hebben we in bovenstaande analyse niet meegenomen. Op basis van de ervaring met de Galgeplaat suppletie, de gemeten verplaatsing van beddingvormen op de Roggenplaat en berekende zandtransporten op de Roggenplaat, schatten we dat de suppletie zich met 1-10 m/jaar zal verplaatsen in de dominante transportrichting (zie Bijlage C). In de andere richtingen zal dit minder zijn. Een radiale verplaatsing van het suppletiezand van 200 m is dus waarschijnlijk een schatting van de bovengrens van de horizontale uitspreiding.

Figuur 5.5 laat zien dat de zandbronvariant nog steeds niet voldoet als deze uitspreiding in acht wordt genomen. Hierbij is aangenomen dat de suppletie ruimtelijk uniform blijft. In werkelijkheid zal er ook sediment verder weg worden getransporteerd, maar dit volume bleek voor de Galgeplaat suppletie beperkt te zijn. We hebben met deze verspreiding geen rekening gehouden bij de anderen varianten. De verspreiding zal bij de zandrug- en zandreliefvariant nog verwachting positief uitpakken (zolang de suppletie niet te veel “verdund” wordt), omdat zand van hoge naar lagere delen zal worden getransporteerd, waardoor extra 50-80% areaal zal ontstaan.



Figuur 5.5 *Uitwerking zandbron suppletievariant met 200 m horizontale verspreiding van het suppletiezand.*

5.4 **AFWEGING**

Tabel 5.2 tot en met Tabel 5.4 tonen voor de drie suppletievarianten het ingevulde afwegingskader. Hierbij is de toekomstige areaalontwikkeling bepaald 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 5.1 de 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.

We concluderen dat de zandbronvariant waarschijnlijk niet voldoet aan het 50-80% DVD criterium, en daarom niet de voorkeur geniet. De zandrug- en zandreliëfvariant voldoen hier waarschijnlijk wel aan. Deze varianten verschillen licht op de onderdelen morfologie, ecologie en uitvoering. De zandreliëf-variant heeft een lichte voorkeur vanwege de langere suppletie-omtrek die naar verwachting bevorderlijk is voor het ecologische herstel en de natuurlijke morfodynamiek.

Tabel 5.1 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 5.2 Afwegingskader Zandrugvariant.

Suppletiekenmerken				
V_{suppl} ($\times 10^6 m^3$)	$Z_{b,suppl}$ (m NAP)	A_{suppl} (ha)	#suppleties	Omtrek (km)
1,32	+0,55	216	2	11,5
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	622	741	3
Doeljaar (2035)	328	655	607	0
Type 2 indicatoren: Neveneffecten				
Footprint na aanleg	Kwantitatief (ha)	216		
Suppletieomtrek (km)		11,5		
Deskundigenoordeel en -overwegingen				
Oordeel t.a.v. morfologie		De zandrug variant voldoet aan het 50-80% DVD areaal criterium. De horizontale uitspreiding van de suppletie zal hier waarschijnlijk een positief effect op hebben. Naar verwachting is deze verplaatsing minder sterk dan bij de zandreliëfvariant, omdat deze laatste een langere omtrek heeft.		
Oordeel t.a.v. ecologie		Naar verwachting zal het behoud van het areaal 50-80% DVD in deze variant de foerageerfunctie van de Roggenplaat voor steltlopers in stand houden. De footprint bestaat uit twee grote suppletiezones. In hoeverre rekolonisatie door bodemdieren trager zal verlopen dan de zandreliëfvariant (meerdere, kleinere suppleties) is onzeker.		
Oordeel t.a.v. wijze van aanleg		De kosten van de aanleg van deze variant liggen waarschijnlijk tussen de kosten van de andere varianten in (zie Bijlage A). In vergelijking met de zandbronvariant moet het zand meer in-situ uitgespreid worden en zal meer gebruik gemaakt moeten worden van de oostelijke aanlegplaats (langere vaarafstand), wat hogere kosten met zich mee brengt. De zandrug is goedkoper dan de zandreliëfvariant, omdat het zand daar over meerdere hopen verspreid moet worden.		

Tabel 5.3 Afwegingskader Zandreliefvariant.

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	De grootschalige morfologische impact en ontwikkeling van de zandreliefvariant is naar verwachting vergelijkbaar met de zandrugvariant. Hij voldoet aan het 50-80% DVD areaal criterium en de horizontale uitspreiding van de suppletie zal hier waarschijnlijk een positief effect op hebben. Naar verwachting is de verplaatsing sterker dan bij de zandrug variant, omdat deze laatste een korter omtrek heeft.			
Oordeel t.a.v. ecologie	Naar verwachting zal het behoud van het areaal 50-80% DVD in deze variant de foerageerfunctie van de Roggenplaat voor steltlopers in stand houden. De footprint bestaat uit meerdere, kleinere suppleties wat rekolonisatie mogelijk sneller doet verlopen. Een snellere drainage van deze kleinere eenheden kan leiden tot uitdroging van de hogere delen. Dit kan de rekolonisatie negatief beïnvloeden. Hoe de gebieden tussen de suppletie-eenheden zich ontwikkelen is onzeker; hogere dynamiek kan hier leiden tot lagere bodemdierbiomassa's? En wordt het zicht beperkt van steltlopers door de vele suppleties?			
Oordeel t.a.v. wijze van aanleg	Dit is waarschijnlijk de duurste variant, ca. 10% duurder dan de zandbron.			

Tabel 5.4 Afwegingskader Zandbronvariant.

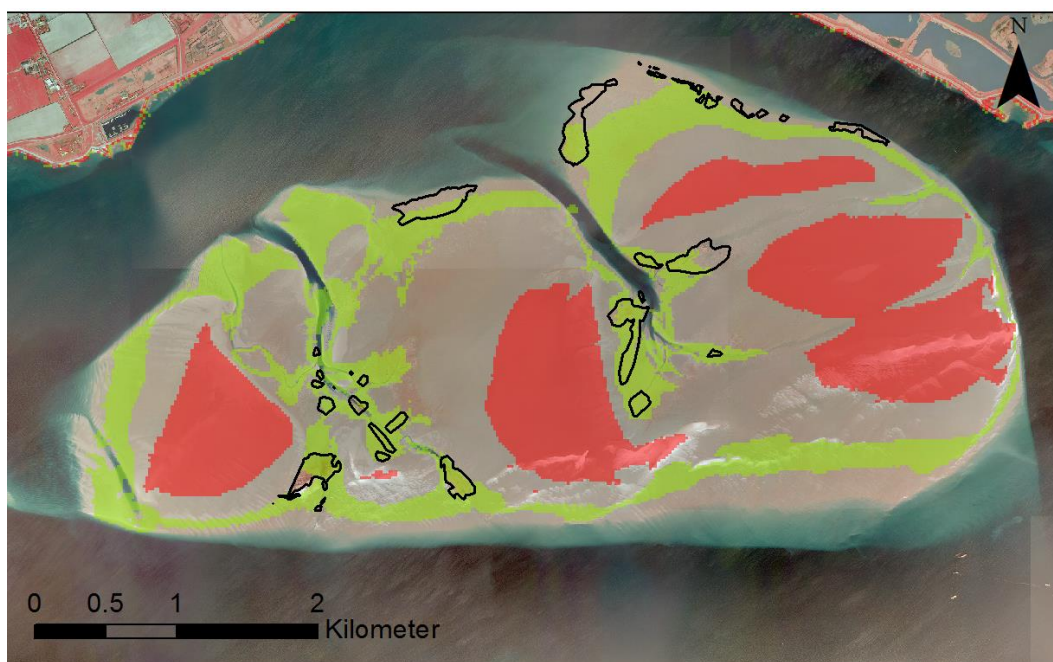
Suppletiekenmerken				
V_{suppl} ($\times 10^6 m^3$)	$Z_{b,suppl}$ (m NAP)	A_{suppl} (ha)	#suppleties	Omtrek (km)
1,32	+1,70	90	2	4,1
Type 1 indicatoren: Onderscheidend per variant				
Areaal droogvalduur (ha)	0-20%	20-50%	50-80%	80-100%
Referentiejaar (2010)	268	763	606	2
Vlak voor aanleg	283	752	611	3
Na aanleg	282	674	631	62
Doeljaar (2035)	327	764	442	57
Type 2 indicatoren: Neveneffecten				
Footprint na aanleg	Kwantitatief (ha)	90		
Suppletieomtrek (km)		4,1		

Deskundigenoordeel en –overwegingen	
Oordeel t.a.v. morfologie	De zandbronvariant voldoet niet aan het 50-80% DVD areaal criterium, ook niet bij een 200 m radiale uitspreiding van suppletiezand.
Oordeel t.a.v. ecologie	Omdat deze variant het areaal 50-80% DVD niet volledig in stand kan houden wordt verwacht dat de foerageerfunctie van de Roggenplaat voor steltlopers mogelijk zal afnemen. De footprint van de zandbron is minimaal, waardoor het bodemleven minimaal bedolven geraakt. Naar verwachting zal door de hogere aanleghoogte de rekolonisatie trager verlopen, en zal mogelijk aanvankelijk ook een andere bodemdiergemeenschap zich vestigen.
Oordeel t.a.v. wijze van aanleg	Dit is waarschijnlijk de gemakkelijkste en goedkoopste variant.

6 OESTERRIFFEN

6.1 INLEIDING

De in 1964 geïntroduceerde Japanse oester *Crassostrea gigas* is een rifvormend oester die zich natuurlijk verspreid heeft door het Oosterschelde estuarium sinds de jaren 1970 (Drinkwaard, 1999). Momenteel bedekken oesters 8% (900 ha) van het intergetijden areaal in de Oosterschelde met dichte riffen (Smaal et al., 2009). Op de Roggenplaat is 3% (45 ha) van het intergetijden areaal (1460 ha) bedekt met natuurlijke oesterriffen, Figuur 6.1.



Figuur 6.1 Kansenkaart voor rifontwikkeling op de Roggenplaat. De groene gebieden geven gebieden aan met een droogvalduur tussen de 20 en 40%, waar optimale rifgroei wordt verwacht. Rood duidt de gebieden aan boven 55% droogvalduur waar rifgroei gelimiteerd is door lage vestigingsaantallen en verminderde schelpgroei. In het tussengebied is rifgroei mogelijk, maar niet optimaal. De zwarte lijnen geven de natuurlijke Japanse oester (*Crassostrea gigas*) riffen weer in 2011.

Oesters vormen complexe driedimensionale riffen die de hydrodynamiek beïnvloeden, de bodem stabiliseren en de sedimentsamenstelling veranderen door depositie van feces en pseudo-feces. Door hun golfdempende en sedimentstabiliserende werking vormen ze interessante structuren om erosie van intergetijdengebieden tegen te gaan.

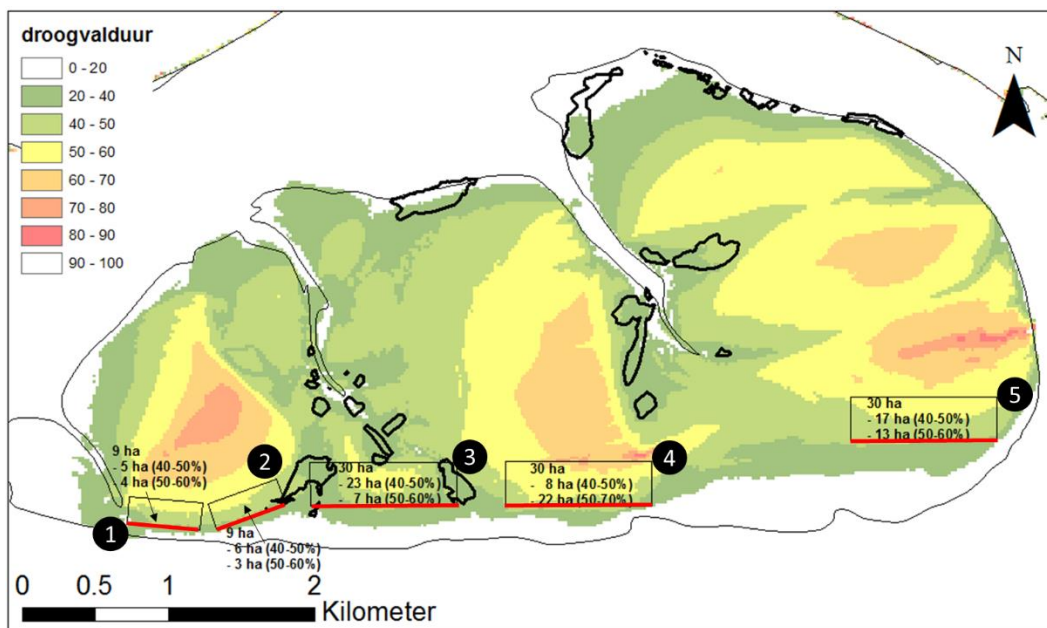
De werking van Oesterriffen is te vergelijken met (onderwater)golfbrekers. Hun eigenschap om mee te groeien met zeespiegelstijging (Rodriguez et al., 2014; Walles et al. 2015a) onderscheidt hen van traditionele golfbrekers. Aan de hand van kennis gebaseerd op natuurlijke en kunstmatige riffen weten we dat riffen niet overal in staat zijn zich te ontwikkelen tot zelfvoorzienende riffen (Walles et al., 2016b). Van nature komen de meeste oesterriffen tot een droogvalduur van 55% voor. Bij een grotere droogvalduur is rifgroei gelimiteerd door lage vestigingsaantallen en verminderde schelpgroei. Studies wijzen uit dat optimale rifgroei plaatsvindt rond de 20-40% droogvalduur (Ridge et al., 2015; Walles et al., 2016a). Op basis van deze relatie kunnen kunstmatige riffen zich ontwikkelen tot zelfvoorzienende riffen aan de randen van de Roggenplaat en rondom bestaande geulen, Figuur 6.1.

6.2 STABILISEREND EFFECT

Sedimenttransport is afhankelijk van de bodemschuifspanning, welke een functie is van onder andere golfhoogte en waterdiepte. De periode in het getij waarin (golfgedreven) erosie plaatsvindt tijdens rustige golfcondities overlapt met de periode waarin een rif zorgt voor golfdissipatie. Door deze golfdissipatie verminderen oesterriffen de bodemschuifspanning aan hun lijkzijde, wat lokaal resulteert in een verminderde erosie van het intergetijdengebied. Hierdoor stabiliseren ze niet alleen het gebied binnen de contouren van het rif, maar ook een groter gebied in de directe omgeving van het rif (Wallès et al., 2015b). Gebaseerd op metingen rondom kunstmatige oesterriffen binnen het *Building with Nature* project (nog niet gepubliceerd) kunnen we aan de hand van de helling van het gebied en de hoogte van het rif berekenen tot hoe ver golfdissipatie optreedt. Bij een gemiddelde significante golfhoogte van 0,2 m en een bodemhelling van 0,003 (~1/300), beschermt een rif van 25 cm hoogte een gebied tot 300 m achter het rif (Figuur 6.2) volgens de formule:

$$L_{invl} = \frac{h_{rif} + \frac{H_s}{\gamma}}{i_b} \quad (6.1)$$

met $\gamma = 0,3$ een empirische constante gebaseerd op de oesterriffen bij De Val en Viane West. Dit is in de orde van grootte van het gebied waarin stabilisatie en ophoging geobserveerd is bij een van de kunstmatige riffen op de slikken van Viane.



Figuur 6.2 Stabiliserend effect van riffen. Bij een gemiddelde significante golfhoogte van 0,2 m en een helling van 0,003 beschermt een rif (rode lijn) van 25 cm hoogte een gebied tot 300 m achter het rif (rif 3, 4 en 5). Dit komt voor een rif met een lengte van 1 km overeen met 30 ha. Bij een helling van 0,005 beschermt een rif een gebied tot 180 m achter het rif (rif 1 en 2). Het aantal hectare dat een rif beschermt binnen een droogvalduur van 50 tot 80% is locatie afhankelijk.

De hoeveelheid sediment gestabiliseerd door het rif is afhankelijk van de riflengte. Bij korte riffen hebben randeffecten, zoals directionele spreiding en golfdiffractie, een grote rol (Wallès et al., 2015b) en is het tegen golven beschermde gebied te vergelijken met een driehoek. Bij lange riffen is het beschermde gebied vergelijkbaar met een rechthoek. Ter illustratie, een rif van 500 m beschermt een gebied tussen de 6 ha (driehoek) en 15 ha (rechthoek) achter het rif. Vanuit dit oogpunt is het interessanter om lange riffen

(>500m) aan te leggen in tegenstelling tot korte riffen. In de hier gepresenteerde analyse rekenen we verder met een rechthoekig invloedsgebied, wat een optimistische inschatting is.

6.3 OESTERRIFFEN OP DE ROGGENPLAAT

In het gebied geschikt voor zelfvoorzienende oesterriffen aan de zuidzijde van de Roggenplaat vond in de periode 1990-2010 een gemiddelde erosie van 2,5 cm/jaar plaats (De Ronde et al., 2013). Voor een rif van 1 km lengte treedt golfdissipatie op in een gebied van 30 ha, Figuur 6.2. Wanneer dit rif zijn directe omgeving stabiliseert is $128 \times 10^3 \text{ m}^3$ sediment beschermd tegen de hier heersende erosie over een periode van 2018 tot 2035, ervan uitgaande dat de huidige erosietrend zich doorzet. Wanneer dit rif de erosie halveert met 1,3 cm per jaar beschermt het rif $64 \times 10^3 \text{ m}^3$ sediment tegen erosie.

Door vestiging en groei zal het rif verticaal in hoogte toenemen met ~ 1 cm/jaar (Wallis et al., 2015a). Dit resulteert in een ~ 20 cm toename in rifhoogte in 2035. Door de toename in rifhoogte neemt het gebied waarin golfdissipatie optreedt toe met 5-10 ha.

Figuur 6.2 geeft een voorbeeld van het gebied waarin golfdissipatie optreedt voor verschillende riffen weer. De grootte van het gebied in de range van 50 tot 80% droogvalduur, beschermd door deze riffen, is afhankelijk van de gekozen locatie. Van de 30 ha beschermt door rif 4 valt 73% (22 ha) binnen een droogvalduur van 50-70%, terwijl voor rif 3 maar 23% (7 ha) binnen deze range valt.

Rif 4 zou 10% (22 ha) van het bedreigde 225 ha (zie paragraaf 5.3.1), binnen de range van 50 tot 80% droogvalduur, kunnen beschermen tegen erosie. Dit is omgerekend $47 \times 10^3 \text{ m}^3$ (gehalveerde erosie) tot $94 \times 10^3 \text{ m}^3$ (stabilisatie) sediment over een periode van 2018 tot 2035. De koste voor de aanleg van dit rif (1000 m x 8 m x 0,25 m) is in de orde van €360.000,- (€45,- per m^2). De kosten bedragen dus 4-8 € per beschermde m^3 50-80% DVD, wat van dezelfde orde van grootte is als de kuubprijs van een suppletie op de Roggenplaat (Bijlage A).

6.4 RELATIE MET DE VOGELS

Oesterriffen leveren verschillende ecosystemendiensten. Naast de bescherming die ze bieden tegen erosie, veranderen ze het foerageergebied voor vogels. Een studie door Zee et al. (2012) laat een verhoogde organisch stofgehalte zien in de directe omgeving van riffen. Ook de benthische samenstelling is anders in de nabijheid van riffen. Hun studie toont aan dat soorten zoals de scholekster (*Haematopus ostralegus*), wulp (*Numenius arquata*) en rosse grutto (*Limosa lapponica*) gebruik maken van deze, door oesters aangepaste, gebieden. Ook soorten zoals lepelaar en kleine zilverreiger zoeken naar voedsel in oesterriffen (eigen observatie). Een studie door Donadi et al. (2013) laat zien dat de aanwezigheid van riffen de vestiging van andere benthische soorten faciliteert. Kokkel dichtheiden waren hoog aan de lijszijde van het rif, door de bescherming die het rif biedt tegen golven. Riffen bieden dus niet alleen bescherming tegen erosie, maar hebben ook een effect op de kwaliteit van het gebied als foerageergrond voor vogels.

6.5 DISCUSSIE

Tijdens rustige golfcondities overlapt de periode waarin erosie plaatsvindt met de periode van golfdissipatie. Erosie kan echter nog steeds optreden tijdens stormachtige condities wanneer erosie over een grotere waterdiepte plaatsvindt. Riffen bieden onder deze omstandigheden minder bescherming. Ondanks de verminderde bescherming tijdens extreme golfcondities, vindt er tijdens een volledig getijdencyclus onder normale golfcondities minder erosie plaats aan de lijszijde van een rif in vergelijking tot een onbeschermd intergetijdengebied.

Oesterriffen kunnen potentiële bescherming bieden in het laag intertidaal. Het is nog onduidelijk hoe het laag intertidaal het midden en hoog intertidaal beïnvloedt. De interactie tussen het laag, midden en hoog intertidaal en de mogelijke rol van oesters hierin verdient nader aandacht.

Door kunstmatige riffen aan te leggen neemt het aantal filtrerende schelpdieren in de Oosterschelde toe. Hierdoor zou de draagkracht van de Oosterschelde minder kunnen worden. In de Oosterschelde is 900 ha

intergetijdengebied bedekt met natuurlijke Japanse oesterriffen. Een kunstmatig rif van 1000 m lang en 8 m breed heeft een oppervlak van 0,8 ha. Dit zorgt echter voor een toename van 0,1% van het huidige areaal aan oesterriffen. Met betrekking tot nabij gelegen mosselpercelen kan gekeken worden naar het effect van extra filtercapaciteit op de lokale draagkracht.

Predatoren en ziektes zijn een onzekere factor met betrekking tot de ontwikkeling van riffen. Op subtidale kweekpercelen in de kom van de Oosterschelde vindt een verhoogde sterfte plaats door predatie van de invasieve Japanse oesterborder *Ocenebrellus inornatus* op oesters. Deze slak komt in grote getallen voor in de kom. Er is echter nog weinig bekend over de verspreiding van deze slak en zijn effect op intertidale oesterriffen. Verder komt de Herpes virus voor in de Oosterschelde. Echter, we weten niet wat het effect van dit virus op rifontwikkeling is en hoe dit virus de populatie gaat beïnvloeden in de toekomst wanneer de temperatuur van het zeewater toeneemt.

De kennis van kunstmatige oesterriffen is met name gebaseerd op waarnemingen bij de Slikken van Viane. De hydro-morfologische omstandigheden op de zuidrand van de Roggenplaat zijn mogelijk dusdanig anders dat de oesterriffen anders functioneren.

Oesterriffen beïnvloeden de afwatering, waardoor lokaal ontgroning kan ontstaan. Bij het ontwerp kan hier mogelijk rekening mee worden gehouden om dit lokale, negatieve effect van oesterriffen te minimaliseren.

Bij het intekenen van de oesterriffen is nog geen rekening gehouden met de geschiktheidskaarten. Zo ligt rif 5 waarschijnlijk te dicht bij de mosselpercelen. Er lijkt ruimte te zijn om riffen te verplaatsen om dit te vermijden. Bovendien kan de locatie van de oesterriffen en suppleties op elkaar afgestemd worden, zodat het suppletiezand zo veel mogelijk beschermd wordt tegen erosie.

6.6 CONCLUSIE

Oesterriffen kunnen op de Roggenplaat, door hun goldempende en sedimentstabiliserende werking, lokaal bescherming bieden tegen erosie en tevens de ecologie bevorderen. De mate van bescherming die een rif biedt is locatieafhankelijk, en daarmee is de toepassing van riffen locatie specifiek. Op de juiste locatie kunnen riffen bescherming bieden aan het 50-80% DVD areaal. De zuidrand van de Roggenplaat is de meest geschikte locatie voor de oesterriffen.

7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 CONCLUSIES

De doelstelling van dit rapport is:

Het genereren van verschillende varianten voor het suppleren van de Roggenplaat en het maken van een onderbouwde en objectieve keuze voor een voorkeursvariant op basis van een afwegingskader afgeleid van de Rijkwaterstaat doelstellingen.

De belangrijkste conclusies zijn:

1. De stroming op de Roggenplaat wordt bepaald door getij en wind, 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. Op basis van drie ontwerpprincipes zijn drie suppletievarianten uitgewerkt: zandrug, zandrelief en zandbron. Er is uitgegaan van een suppletievolumen van 1,32 miljoen m³. Bij de zandrug-variant wordt het zand in twee zones neergelegd zodat het 50-80% DVD areaal direct toeneemt. De aanleghoogte is NAP+0,55 m, het suppletieoppervlak is 216 ha en de suppletieomtrek is 11,5 km. Ook bij de zandreliefvariant wordt het zand direct op de goede plek gelegd, maar dan op 10 verschillende locaties: aanleghoogte is NAP+0,48 m, oppervlak is 237 ha en omtrek 18,3 km. De zandbronvariant betreft twee hoge suppleties: aanleghoogte is NAP+1,70 m, oppervlak is 90 ha en omtrek 4,1 km.
7. De zandbronvariant voldoet waarschijnlijk niet aan het 50-80% DVD criterium, omdat het zand te hoog wordt aangelegd waardoor er te weinig areaalwinst is. De zandrug- en zandreliefvariant voldoen hier waarschijnlijk wel aan. Voordeel van de zandreliefvariant ten opzicht van de zandrugvariant is de langere suppletieomtrek, de meer natuurlijke morfologische dynamiek en het verwachte positieve effect van een wat sterkere uitspreiding van suppletiezand. Aandachtspunten zijn de mogelijke snellere uitdroging, wat de rekolonisatie negatief kan beïnvloeden, en de mogelijke toename van dynamiek tussen de suppletie-eenheden, wat zou kunnen leiden tot een lagere benthosbiomassa.

8. De zandreliëfvariant is waarschijnlijk wat duurder dan de andere varianten, de zandbron waarschijnlijk de goedkoopste.
9. Kunstmatige oesterriffen kunnen langs de zuidrand van de Roggenplaat worden aangelegd. Deze kunnen lokaal bescherming bieden tegen erosie en tevens de ecologie bevorderen.

7.2 AANBEVELINGEN

De belangrijkste aanbevelingen zijn:

1. De zandbron niet verder meenemen als suppletievariant.
2. De geopperde zandrug- en zandreliëf suppletievariant verschillen licht op de onderdelen morfologie, ecologie en uitvoering. De zandreliëf-variant heeft een lichte voorkeur vanwege de langere suppletie-omtrek die naar verwachting bevorderlijk is voor het ecologische herstel en de natuurlijke morfodynamiek.
3. Het lijkt mogelijk om oesterriffen op de Roggenplaat aan te leggen op plaaterosie tegen te gaan. In principe zijn deze riffen rendabel als de baten (beschermd sedimentvolume) groter zijn dan de kosten (en hieraan gekoppeld een reductie van het suppletievolume). Om een afweging te maken, dienen het ontwerp, de baten en de kosten van oesterriffen verder uitgewerkt te worden.
4. Het maken van het definitieve suppletieontwerp betekent het bepalen van suppletievorm, suppletielocatie en uitvoering om zo goed mogelijk aan de doelstellingen te voldoen. Er is met name ruimte voor een optimalisatie ten behoeve van ecologie (ondere andere het eventuele sturen van benthosontwikkeling door middel van *priming*) en kosten.
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.
6. Hiernaast is het gewenst om de relaties tussen bodemdieren, droogvalduur en verspreiding van verschillende soorten steltlopers nader te bestuderen.
7. De sedimentsamenstelling van het suppletiezand is anders dan het huidige sediment op de Roggenplaat. Er moet een uitspraak gedaan worden wat het effect hiervan is op de bodemdierontwikkeling.
8. Een belangrijke rol in het maken van het definitieve ontwerp is weggelegd voor het te ontwikkelen Delft3D model. Hierbij kan het effect van de suppletie en oesterriffen op de waterbeweging, zandtransporten en korte-termijn morfologische ontwikkeling (b.v. verspreiding suppletiezand) bepaald worden.
9. Een tweede doel van het suppleren van de Roggenplaat is het reduceren van de golfaanval op de kust van Schouwen. In principe, zal een suppletie hier een bijdrage aanleveren zolang het zand op de plaat ligt. Met het Delft3D model kan de impact van de suppletie op de golfwerking kunnen worden gekwantificeerd.

8 REFERENTIES

- Arts, F.A., Lillipaly S., Strucker, R.C.W., 2015. Watervogels en zeezoogdieren in de Zoute Delta 2013/2014. RWS Centrale Informatievoorziening BM 15.08.
- Bailard, J.A., 1981. An energetics total load sediment transport model for a plane sloping beach. *J. Geophys. Res.* 86, 10938. doi:10.1029/JC086iC11p10938.
- 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.
- Donadi, S., T. van der Heide, E. M. van der Zee, J. S. Eklöf, J. v. de Koppel, E. J. Weerman, T. Piersma, H. Olf, and B. K. Eriksson. 2013. Cross-habitat interactions among bivalve species control community structure on intertidal flats. *Ecology* **94**:489-498.
- Drinkwaard, A. C. 1999. History of cupped oyster in european coastal waters. *Aquaculture Europe* **15**:7-14.
- Eelkema, M., 2013. Eastern Scheldt inlet morphodynamics. PhD thesis. Delft University of Technology.
- KNMI, 2015. Brochure KNMI klimaatscenario's '14, Herziene uitgave 2015.
- MH Poly Consultants & Engineers B.V, (2015); Verkennend waterbodemonderzoek Roggenplaat Oosterschelde, projectnummer: 15063V1
- Ridge, J. T., A. B. Rodriguez, F. Joel Fodrie, N. L. Lindquist, M. C. Brodeur, S. E. Coleman, J. H. Grabowski, and E. J. Theuerkauf. 2015. Maximizing oyster-reef growth supports green infrastructure with accelerating sea-level rise. *Scientific Reports* **5**:14785.
- Rijkswaterstaat, 2015, Natura 2000 Deltawateren, Ontwerpbeheerplan 2015-2021, Oosterschelde
- Rodriguez, A. B., F. J. Fodrie, J. T. Ridge, N. L. Lindquist, E. J. Theuerkauf, S. E. Coleman, J. H. Grabowski, M. C. Brodeur, R. K. Gittman, D. A. Keller, and M. D. Kenworthy. 2014. Oyster reefs can outpace sea-level rise. *Nature Climate Change* **4**:493-497.
- Smaal, A., B. Kater, and J. Wijsman. 2009. Introduction, establishment and expansion of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in the Oosterschelde (SW Netherlands). *Helgoland Marine Research* **63**:75-83.
- 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
- 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 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 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.
- Walles, B., R. Mann, T. Ysebaert, K. Troost, P. M. J. Herman, and A. C. Smaal. 2015a. Demography of the ecosystem engineer *Crassostrea gigas*, related to vertical reef accretion and reef persistence. *Estuarine Coastal and Shelf Science* **154**:224-233.
- Walles, B., J. Salvador de Paiva, B. C. van Prooijen, T. Ysebaert, and A. C. Smaal. 2015b. The ecosystem engineer *Crassostrea gigas* affects tidal flat morphology beyond the boundary of their reef structures. *Estuaries and Coasts* **38**:941-950.
- Walles, B., F. J. Fodrie, S. Nieuwhof, O. J. D. Jewell, P. M. J. Herman, and T. Ysebaert. 2016a. Guidelines for evaluating performance of oyster habitat restoration should include tidal emersion: reply to Baggett et al. *Restoration Ecology* **24**:4-7.
- Walles, B., K. Troost, D. van den Ende, S. Nieuwhof, A. C. Smaal, and T. Ysebaert. 2016b. From artificial structures to self-sustaining oyster reefs. *Journal of Sea Research* **108**:1-9.
- Witteveen+Bos, 2011. MIRT-Verkenning Zandhonger Oosterschelde. Ontwerp-structuurvisie, Witteveen+Bos rapport RW1809-28/torm/231.
- Zee, E., T. Heide, S. Donadi, J. Eklöf, B. Eriksson, H. Olf, H. Veer, and T. Piersma. 2012. Spatially extended habitat modification by intertidal reef-building bivalves has implications for consumer-resource interactions. *Ecosystems* **15**:664-673

APPENDIX A UITVOERINGSASPECTEN

NOTITIE

Onderwerp Persafstanden
Project Zandsuppletie Roggeplaat
Opdrachtgever Centre Of Expertise
Projectcode VS94-1
Status Ongecontroleerd (aan dit document kunnen geen rechten worden ontleend) V2
Datum 13 april 2016
Referentie -
Auteur(s) Niels Borgers

Gecontroleerd door Marijn Huijsmans
Goedgekeurd door
Paraaf

Bijlage(n) I Grafische weergave ontwerpvarianten
 II Persafstanden
Aan Centre Of Expertise, Dhr. J. Stronkhorst
Kopie

1 INLEIDING

In de Oosterschelde liggen verschillende zandplaten welke van belangrijke ecologische betekenis zijn. Een van deze zandplaten is de Roggeplaat, welke door getijdewerking aan erosie onderhevig is. Rijkswaterstaat beoogd zandsuppleties uit te voeren teneinde de ecologische waarde van de Roggeplaat te herstellen.

Rijkswaterstaat heeft drie ontwerpvarianten bepaald voor de voorgenomen suppletie (zie bijlage 1, afkomstig van ref. 2).

De meest gangbare methodiek voor de uitvoering van de suppleties, is middels een walpersoperatie door een sleehopperzuiger. Wanneer de persafstanden te groot zijn voor de ingezette sleehopperzuiger, kan een opjaagstation (booster station) worden ingezet op grotere persafstanden te overbruggen.

In deze memo zijn de haalbare persafstand van een sleehopperzuiger, en de meerkosten bij inzet van een opjaagstation beschouwd.

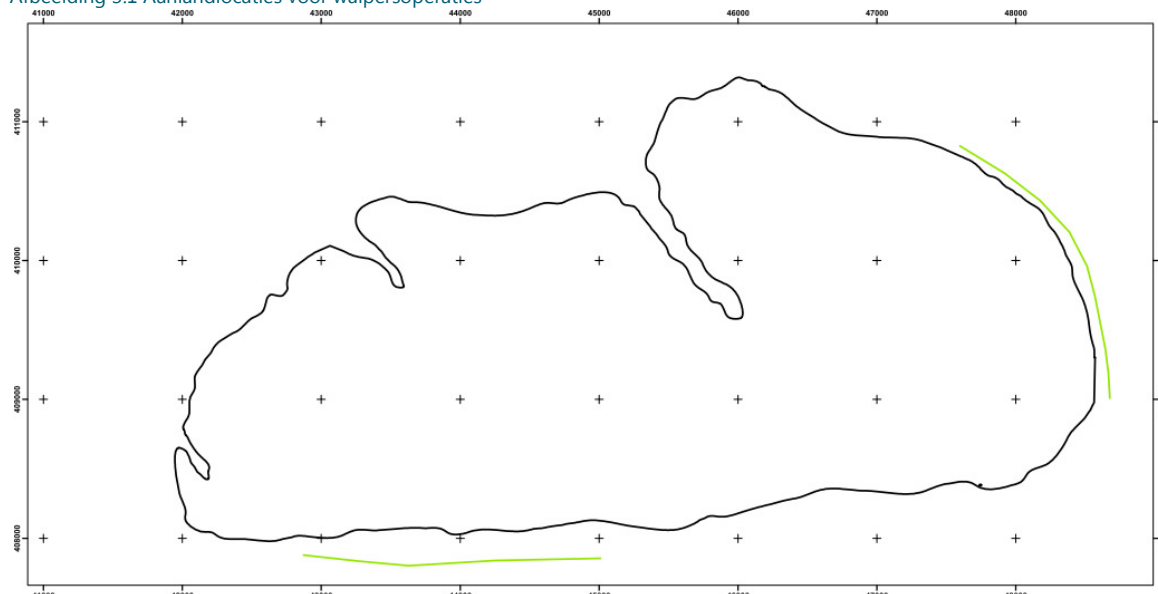
2 REFERENTIES

- 1 Deltares, "Verkenning zandwinning Oosterschelde", nr. 1205505-000, d.d. januari 2012;
- 2 Deltares, Powerpoint bestand "Drie varianten Bespreking_2016-03-29";
- 3 Building with Nature Research group, "Suitabilitymap_Roggenplaat_v3_20160401_DVD.pdf", d.d. 1-4-2016;
- 4 Nortier, ir. I.W., De Koning, ir. P., "Toegepaste Vloeistofmechanica", 7^e druk, 1998;
- 5 Vereniging van Waterbouwers, "Voortgezette opleiding Uitvoering Baggerwerken", uitgave 2010.

3 UITGANGSPUNTEN

- Suppletie zal worden uitgevoerd door een sleephopperzuiger van een grootte klasse / type vergelijkbaar met de "Taccola", welke enkele jaren geleden is ingezet bij een pilot-project tbv de zandsuppletie Schelphoek. Relevante specificaties representatief voor een dergelijke sleephopperzuiger, welke zijn gebruikt in de berekening zijn de volgende:
 - beuninhoud: 4400m³;
 - walpersvermogen: 3000kW;
 - diameter zuigleiding: 800mm;
 - diameter persleiding: 800mm;
- relevante specificaties van de in overweging genomen opjaagpompstation zijn de volgende:
 - pompvermogen: 3000kW;
 - diameter persleiding: 800mm;
- vaarafstand tot winlocatie 'Roompot' bedraagt 8km (zuid-west) 10km (oost);
- Maatgevende korreldiameter 'D_{mf}' = 300µm (matig / zeer grof zand).
- Walpersoperaties worden uitgevoerd vanaf de aanlandlocaties, zoals aangegeven met de lichtgroene lijnen in figuur Afbeelding 3.1 (ref. 3).

Afbeelding 3.1 Aanlandlocaties voor walpersoperaties



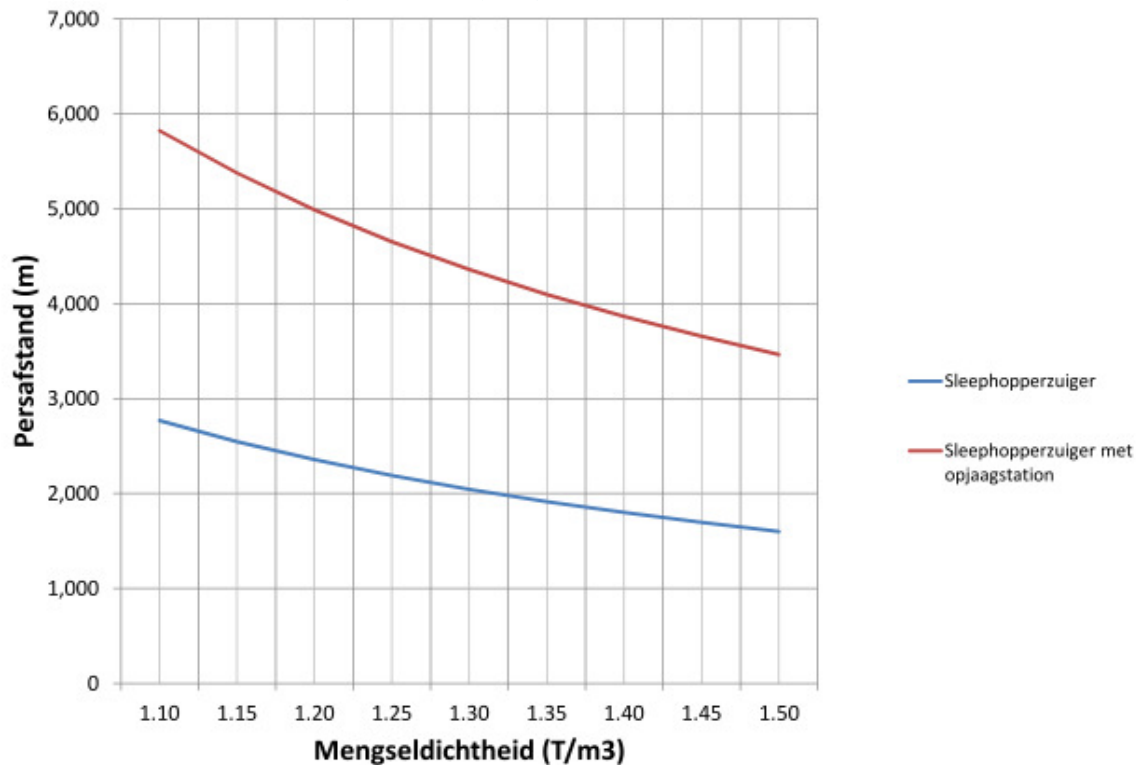
4 AANPAK

Haalbaarheid van de persafstanden behorende bij de 3 ontwerp-varianten is gecontroleerd volgens onderstaande stappen:

- 1 De persafstanden die moeten worden overwonnen teneinde de ontwerpvarianten voor de suppletie te kunnen maken, zijn grofweg af te lezen uit de plaatjes van de 3 varianten achter bijlage I, welke de ontwerpcontouren weergeven in combinatie met het 1000m grid en de aanlandlocaties (dun groene lijnen). De grootste persafstanden zijn voor alle 3 de varianten ongeveer gelijk en liggen grofweg op 2200m;
- 2 Voor walpersoperaties door de sleephopperzuiger met en zonder opjaagstation zijn de maximale persafstanden bepaald voor verschillende debieten en verschillende mengseldichtheden (zie bijlage II);
- 3 De kritieke snelheid is bepaald voor de aangenomen representatieve korreldiameter (ref. 4, paragraaf 5.13);
- 4 Met toepassing van een veiligheidsfactor van 1,1 is een minimale debietsnelheid bepaald van 5,3 m/s;

- 5 De maximale persafstanden voor verschillende mengsel­dich­te­den bij ver­schil­len­de meng­sel­snel­he­den zijn ge­ge­ven in bij­lage II. De gra­fiek in Af­beel­ding 4.1 geeft de re­la­tie weer tus­sen de ma­xi­ma­le persaf­stan­den bij ver­schil­len­de meng­sel­dich­te­den bij een meng­sel­snel­heid van 5,5m/s.

Af­beel­ding 4.1 Re­la­tie Persaf­stand / Meng­sel­dich­theid bij meng­sel­snel­heid = 5,5m/s.



5 KOSTEN

Alvorens de kosten te kunnen berekenen is er een inschatting gemaakt van de te verwachte (week)productie. De (week)productie is verschillend voor de twee koppelplaatsen.

De producties voor het baggeren en het opspuitwerk zijn berekend voor de volgende vier situaties:

- walpersen bij de koppelplaats aan de zuidwest kant van de roggeplaat, zonder tussen-/opjaagstation
- walpersen bij de koppelplaats aan de zuidwest kant van de roggeplaat, met tussenstation
- walpersen bij de koppelplaats aan de oost kant van de roggeplaat, zonder tussenstation
- walpersen bij de koppelplaats aan de oost kant van de roggeplaat, met tussenstation

In de onderstaande tabel is allereerst een indicatieve productie berekend, daarna zijn de (week)kosten aangegeven per variant. De berekende kosten zijn indicatieve kosten (+/- 30%) en zijn exclusief BTW. Bij de inzet van een tussenstation is er vanuit gegaan dat de inzet van leiding werk en stortmaterieel gelijk blijft. Het lijkt namelijk dat de inzet van het tussenstation niet perse noodzakelijk is, het is optioneel. Kosten zijn berekend voor een situatie zonder en met booster.

produktie berekening		aanlandplaats zuid-west		aanlandplaats oost	
		met booster	zonder booster	met booster	zonder booster
main equipment:		TSHD	TSHD	TSHD	TSHD
	unit	overflow	overflow	overflow	overflow
tot. Install power	kW	6,330	6,330	6,330	6,330
hopper size	m3	4,400	4,400	4,400	4,400
vaarafstand	km	8	8	10	10
average sailing speed	kn	10	10	10	10
cycle time					
loading (with overflow)	min	91	91	91	91
sailing full	min	26	26	32	32
discharging + manoeuvring	min	82	105	82	105
sailing empty	min	26	26	32	32
tot cycle	min	225	248	238	261
hopper load per trip, in situ m3	m3	3,168	3,168	3,168	3,168
hopper load per trip, in beun	m3	3,520	3,520	3,520	3,520
production (situ en op site)	m3/hr	844	766	798	728
gross hrs / week	hrs	168	168	168	168
delay / week	hrs	35	35	35	35
nett hrs / week	hrs	133	133	133	133
no. Loads	# / week	35	32	33	31
production (in-situ)	m3/week	112,213	101,819	106,104	96,763
duration	weken	14.3	15.7	15.1	16.5

Kostenindicatie

zonder booster		variant 1	variant 2	variant 3
via aanlandplaats zuid west		50%	40%	100%
via aanlandplaats oost		50%	60%	0%
gemiddelde productie	m3/wk	99,291	98,785	101,819
total direct costs		320,482	332,557	302,268
unforeseen	10%	32,048	33,256	30,227
Contractor's overhead	25%	88,132	91,453	83,124
total weekly costs		440,662	457,265	415,619
cost per m3		4.40	4.60	4.10
met booster		variant 1	variant 2	variant 3
via aanlandplaats zuid west		50%	40%	100%
via aanlandplaats oost		50%	60%	0%
gemiddelde productie	m3/wk	109,158	108,547	112,213
total direct costs		394,558	406,633	376,344
unforeseen	10%	39,456	40,663	37,634
Contractor's overhead	25%	108,503	111,824	103,495
total weekly costs		542,517	559,120	517,474
cost per m3		5.00	5.20	4.60

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Uit de tabel van bijlage II blijkt dat de benodigde persafstanden (max. 2200m) kunnen worden gerealiseerd door een sleephopperzuiger volgens de aangenomen grootteklasse. Belangrijk is te onderkennen dat de mengseldichtheid en daardoor de productie afneemt bij toenemende persafstand. Hoewel de persafstanden dus kunnen worden overbrugt, zou inzet van extra pompcapaciteit dus nog steeds zinvol kunnen zijn omdat de productiecapaciteit daarmee kan worden vergroot (bij grote persafstanden).

De extra kosten (meerkosten) voor de inzet van een tussenstation bedragen ca. 25%. Deze extra kosten zouden gecompenseerd moeten worden door een hogere productie als gevolg van de inzet van een tussenstation. De productie (van het walpersen alleen) zal zeker stijgen bij de inzet van het tussenstation. De verhoogde productie zal zichtbaar/significant worden boven een persafstand van 1000m. Echter, dit productievoordeel zal niet de extra kosten van een tussenstation kunnen compenseren. Dit heeft ook vooral te maken met het feit dat alleen bij het walpersen een productievoordeel te halen is, bij alle andere onderdelen van de cyclus heeft het tussenstation vanzelfsprekend geen effect. De eenheidsprijs met booster (en verhoogde productie) zal ca. EUR 0,50 - 0,60 hoger liggen.

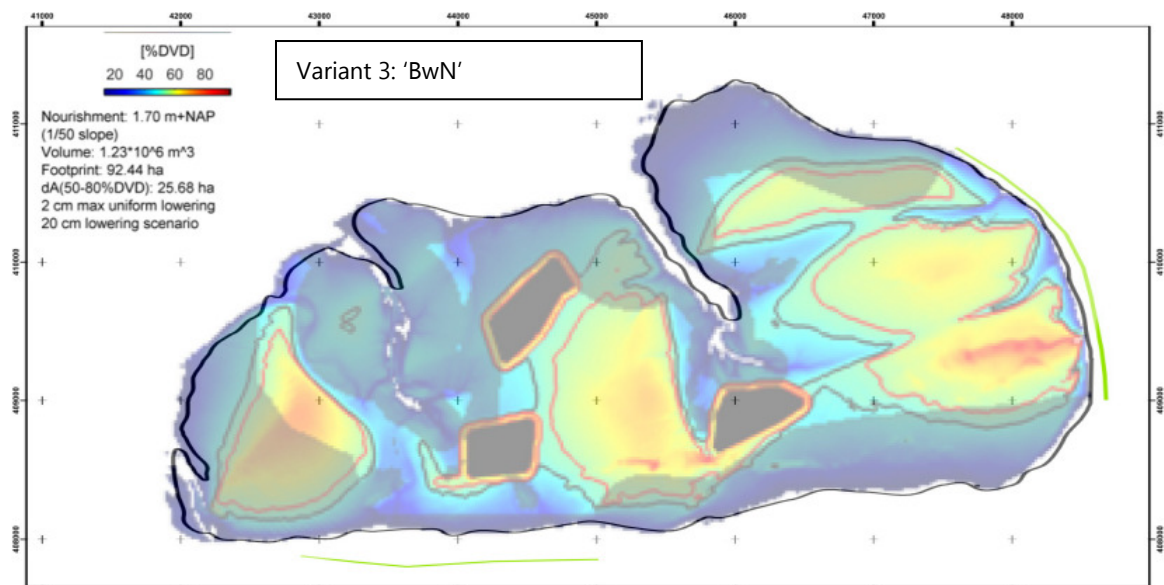
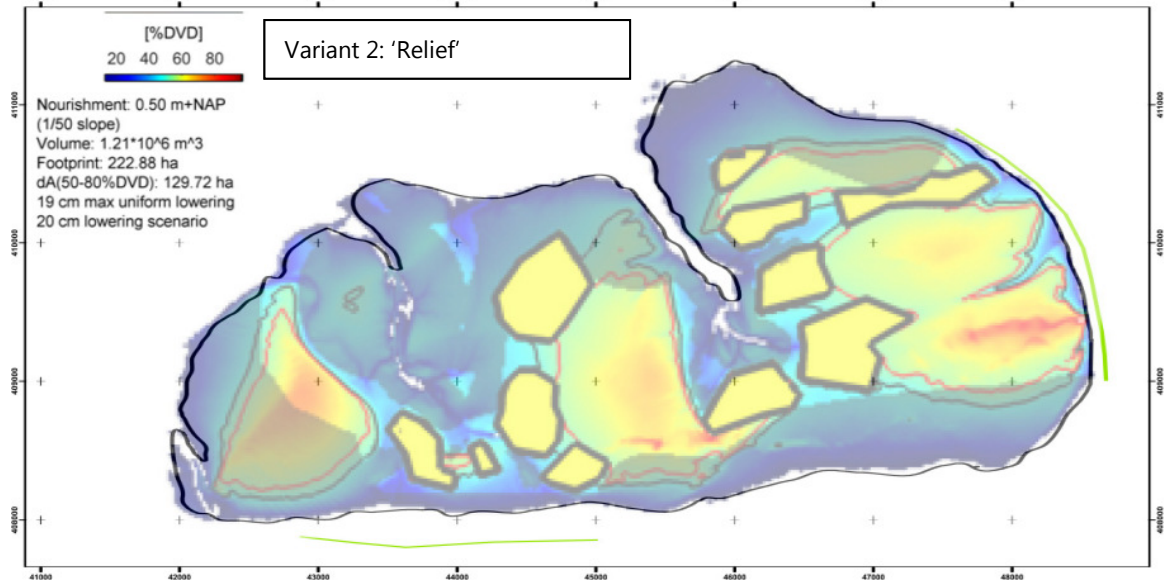
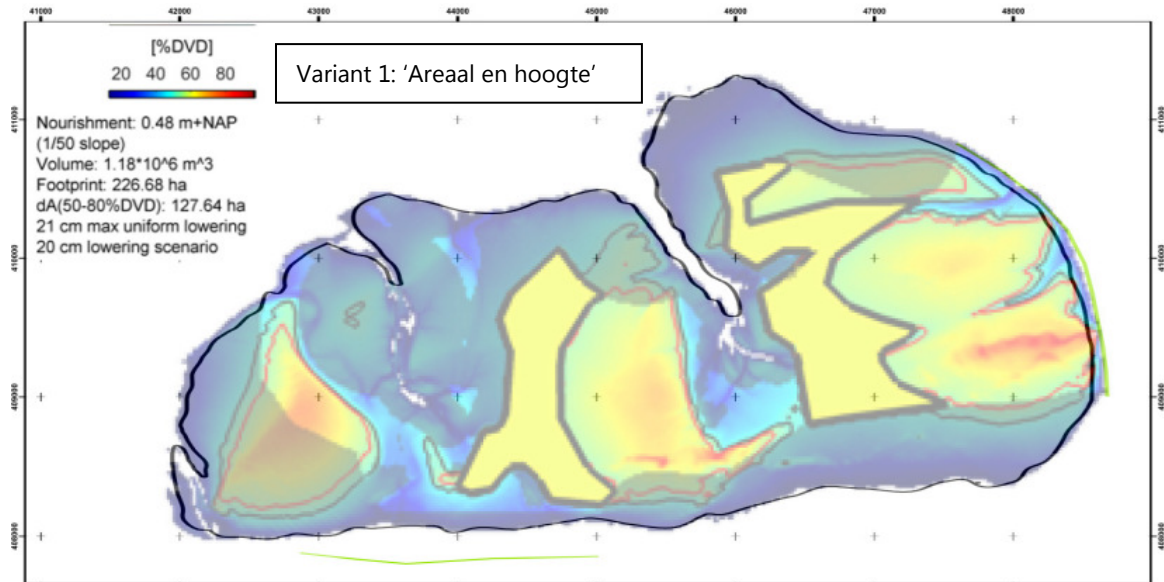
Tussen de verschillende varianten is een prijs verschil te verwachten. Dit heeft te maken met de extra inspanning die nodig is op het "stort". Bij variant 1 en 2 wordt het zand verspreid tot een dunne laag, ca. 0,5m. Dit vraagt veel extra bulldozer capaciteit. Een laagdikte van 0,5m kan niet direct vanuit de persleiding aangebracht worden. Bij variant 2 is het daarnaast zo dat wat extra leidingstelwerk nodig is om de "eilandjes" te kunnen maken. Variant 3 is het gemakkelijkst en goedkoopst te verwezenlijken.

Resumé:

- De inzet van een tussenstation lijkt niet voor de hand liggend
- De maximale persafstand is ca. 2200m en kan door een walpersende TSHD worden overbrugd, tussenstation is niet noodzakelijk.
- Van variant 2 zijn de aanlegkosten ca. 15% hoger dan van variant 3. Variant 1 zit daar tussenin.

I

BIJLAGE: GRAFISCHE WEERGAVE ONTWERPVARIANTEN



II

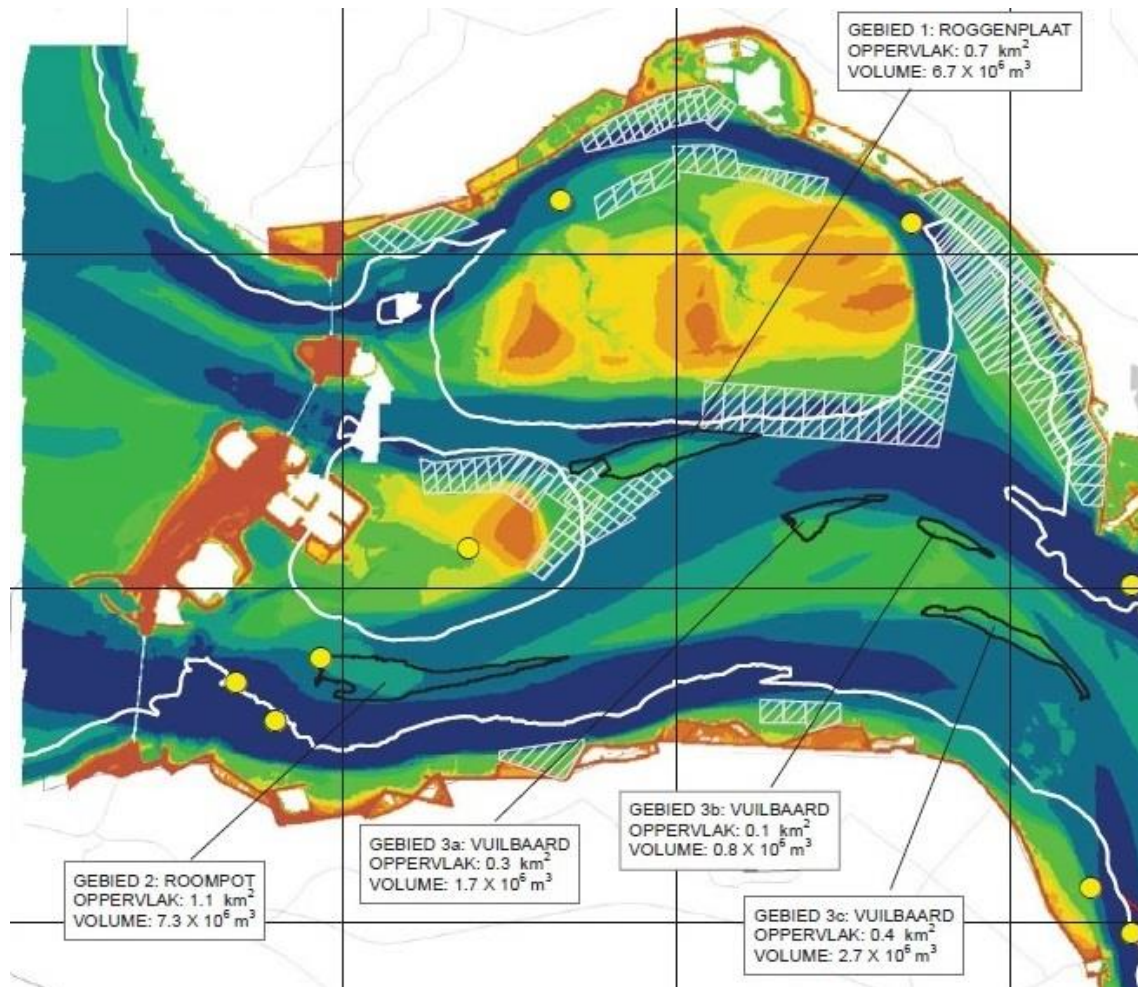
BIJLAGE: PERSAFSTANDEN

Site and dredge material				Dredger				Flow							
Level discharge point	H	m1*	1	Pump power;rep	Pt;rep;1	kW	3000	Transportfactor	Ft	-	0.8				
Gravity	g	m/s2	9.81	efficiency	eta;m	%	75	Vcrit;rep		m/s	4.83				
Water density	rho;w	T/m3	1.015	Pump power; d	Pt;d;2	kW	2250	Safety coefficient		-	1.1				
Grainsize diameter	d _{mf}	m	0.0003	Level suction mouth	Z	m1*	3	Vcrit;d		m/s	5.31				
Particle density	rho;s	T/m3	2.65					Skt		Skt	0.48				
Booster pump				Hopper volume	Vh	m3	4400	Operations							
Pump power;rep	Pt;rep;2	kW	3000	Loading degree		%	0.8	Loading time		min	n.a.				
efficiency	eta;m	%	75		Vh;nett	m3	3520	Sailing time (loaded)		min	n.a.				
Pump power; d	Pt;d;2	kW	2250	Hopper density	rho;hopper	T/m3	1.8	Sailing time (empty)		min	n.a.				
Suction pipe				Pressure line				Assemblies							
Length	L;s	m	2	Length	L;p	m	var		Ksi;s	Ksi;p					
Diameter	D;s	m	0.8	Diameter	D;p	m	0.8	excleration	1	0	0				
Area	A;s	m2	0.50	Area	A;p	m2	0.50	elbow	0.4	0	3				
Entrance loss	alpha	-	0.5	Wall friction	labda;p	-	0.012	valve	0.1	0	3				
Wall friction	labda;s	-	0.012					suction hose	0.25	0	3 +				
										0	2.25				
*) absolute level, relative to water level				Vp (m/s)	4.40	4.25	4.50	4.75	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50
rho;m (T/m3)	Ct (%)			Q (m3/s)	2.01	2.14	2.26	2.39	2.51	2.64	2.76	2.89	3.02	3.14	3.27
DISCHARGE DISTANCE (WITHOUT BOOSTER)				Lp(m)											
1.10	4%			6,253	5,439	4,736	4,130	3,607	3,157	2,769	2,433	2,142	1,889	1,668	
1.15	7%			5,325	4,715	4,170	3,686	3,257	2,880	2,547	2,255	1,997	1,771	1,571	
1.20	9%			4,633	4,158	3,721	3,325	2,966	2,645	2,356	2,099	1,869	1,665	1,483	
1.25	11%			4,097	3,715	3,357	3,026	2,721	2,443	2,190	1,961	1,755	1,569	1,402	
1.30	14%			3,669	3,355	3,056	2,774	2,511	2,267	2,044	1,839	1,652	1,483	1,329	
1.35	16%			3,321	3,057	2,802	2,559	2,329	2,114	1,914	1,729	1,559	1,404	1,261	
1.40	19%			3,031	2,805	2,585	2,373	2,170	1,979	1,799	1,631	1,475	1,331	1,199	
1.45	21%			2,786	2,591	2,398	2,211	2,030	1,858	1,695	1,542	1,398	1,265	1,142	
1.50	24%			2,576	2,405	2,235	2,068	1,906	1,750	1,601	1,460	1,328	1,204	1,088	
DISCHARGE DISTANCE (WITH BOOSTER)				Lp(m)											
1.10	4%			12,779	11,155	9,752	8,541	7,499	6,600	5,824	5,152	4,570	4,064	3,623	
1.15	7%			10,900	9,688	8,604	7,641	6,790	6,038	5,376	4,794	4,281	3,830	3,431	
1.20	9%			9,499	8,559	7,696	6,910	6,200	5,562	4,991	4,480	4,025	3,619	3,257	
1.25	11%			8,414	7,662	6,958	6,304	5,703	5,154	4,655	4,203	3,795	3,428	3,098	
1.30	14%			7,549	6,934	6,347	5,793	5,277	4,799	4,359	3,957	3,589	3,256	2,952	
1.35	16%			6,844	6,329	5,832	5,358	4,909	4,489	4,098	3,736	3,403	3,098	2,819	
1.40	19%			6,257	5,820	5,393	4,981	4,587	4,215	3,864	3,538	3,234	2,954	2,696	
1.45	21%			5,761	5,385	5,015	4,653	4,304	3,971	3,655	3,358	3,080	2,821	2,582	
1.50	24%			5,337	5,010	4,684	4,364	4,052	3,752	3,466	3,194	2,939	2,699	2,476	

APPENDIX B SUPPLETIEZAND

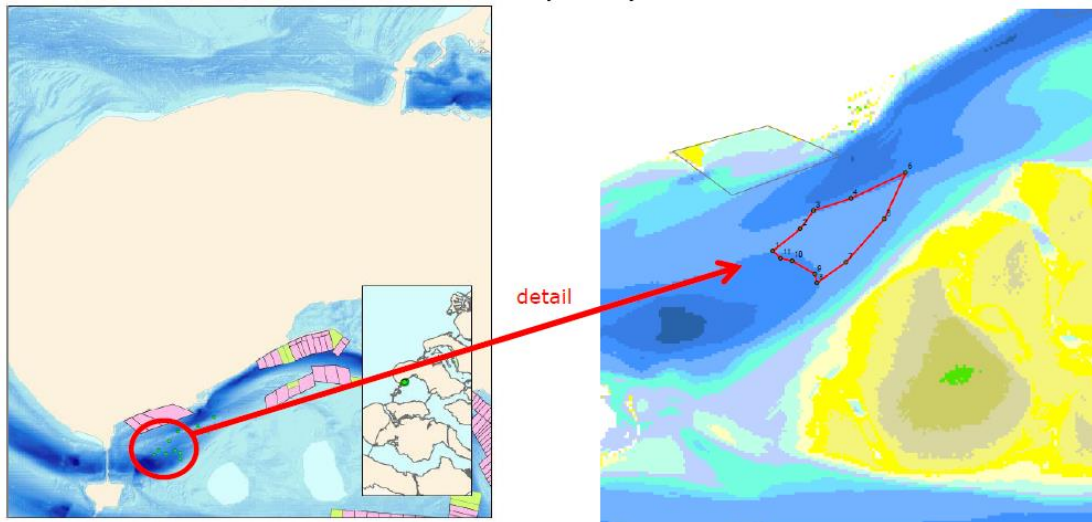
B.1 ZANDWINLOCATIES

Rijkswaterstaat heeft in 2013 onderzoek laten uitvoeren naar potentiële zandwinlocaties in de Oosterschelde (Vönhögen-Peeters et al., 2013). De gebieden rond de Roggenplaat zijn weer gegeven in Figuur B.1. Van deze winlocaties is alleen de Roompot geschikt bevonden, de locaties op de Vuilbaard en Neeltje Jans liggen te dicht bij de mosselpercelen en zijn om die reden afgevalen.



Figuur B.1 Zandwinlocaties in het westelijke deel van de Oosterschelde (Vönhögen-Peeters et al., 2013).

Naast de reeds vermelde winlocaties heeft Rijkswaterstaat in 2015 onderzoek uitgevoerd naar de zandwinlocatie De Hammen (MH Poly Consultants & Engineers B.V., 2015). Dit gebied ligt direct ten noordwesten van de Roggenplaat (Figuur B.2). Hoewel het gebied dicht bij de mosselpercelen ligt blijft de locatie nog een optie als zandwinlocatie. Dit heeft te maken met de waterverdeling door stormvloedkering. Wanneer alleen de Roompot wordt gebruikt als zandwinlocatie kan dit mogelijk leiden tot een verandering van het stroombeeld.



Figuur B.2 Zandwinlocatie De Hammen (MH Poly Consultants & Engineers B.V, 2015).

B.2 SEDIMENTKARAKTERISTIEKEN

Het sediment bij de zandwinlocatie Roompot heeft de volgende kenmerken (Vönhögen-Peeters et al., 2013):

- Recent gesedimenteerd zand
- Geen toplaag
- Over het algemeen schoon zand
- Gemiddelde dikte zandlaag 7,4 m. In het noordwestelijke deel meer dan 8 m langs de zuidrand gemiddeld 7 m
- Netto volume zand: $5,2 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Er zit een sprong in de korrelgrootte. In het merendeel van het gebied ligt een 2 m dikke laag grof zand bovenop fijn zand, behalve in het oostelijke deel van het gebied.
- Westelijk deel: $D_{50} = 285\text{-}400 \text{ }\mu\text{m}$ bovenop $D_{50} = 285\text{-}360 \text{ }\mu\text{m}$. In het oostelijk deel: $D_{50} = 175\text{-}285 \text{ }\mu\text{m}$.
- Zandfractie >97% (silt 0.5-3%)

Het sediment bij de zandwinlocatie De Hammen heeft de volgende kenmerken (MH Poly Consultants & Engineers B.V, 2015):

- Recent gesedimenteerd zand
- Geen toplaag
- Dikte zandlaag aangetoond: 2 m
- Netto volume zand: $0.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ (2 m onder de waterbodem)
- Matig fijn, zwak tot sterk siltig zand, $D_{50} = 150\text{-}210 \text{ }\mu\text{m}$
- Zandfractie >90%

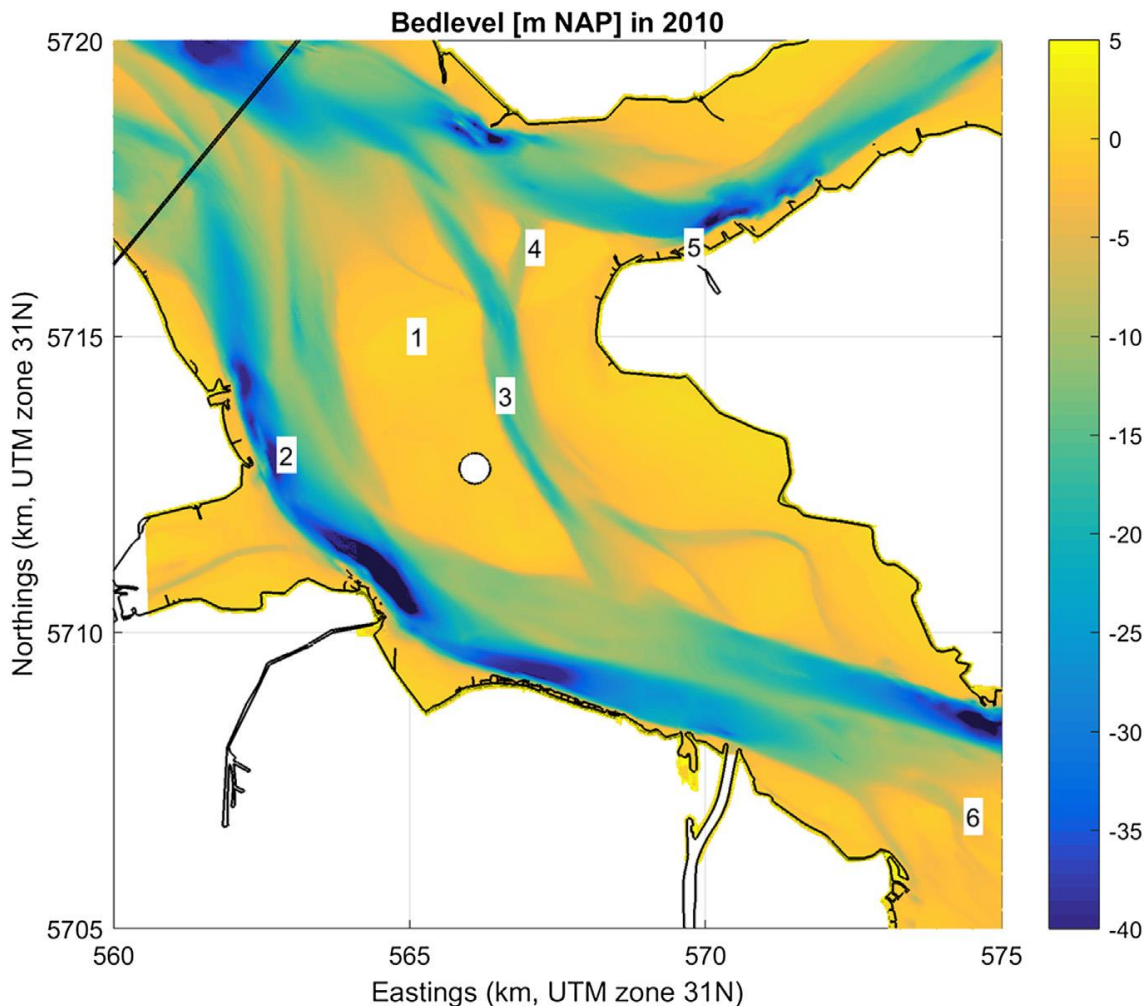
APPENDIX C SCHATTING VERSPREIDING SUPPLETIEZAND

C.1 INLEIDING

De vraag is hoe een suppletie op de Roggenplaat de omliggende plaat voedt om uiteindelijk te kunnen bepalen wat het lange-term (~25 jaar) effect van de suppletie is op de voor de vogels relevante 50-80% droogvalduur klasse. Hiervoor hebben we een schatting nodig van de verspreiding van het gesuppleerde zand. We doen dit op basis van 1) de morfologische ontwikkeling van de Galgeplaat suppletie, 2) verplaatsing van beddingvormen op de Roggenplaat, en 3) afschatting van de loopsnelheid op basis van berekende zandtransporten.

C.2 LESSEN GELEERD VAN DE GALGEPLAAT SUPPLETIE

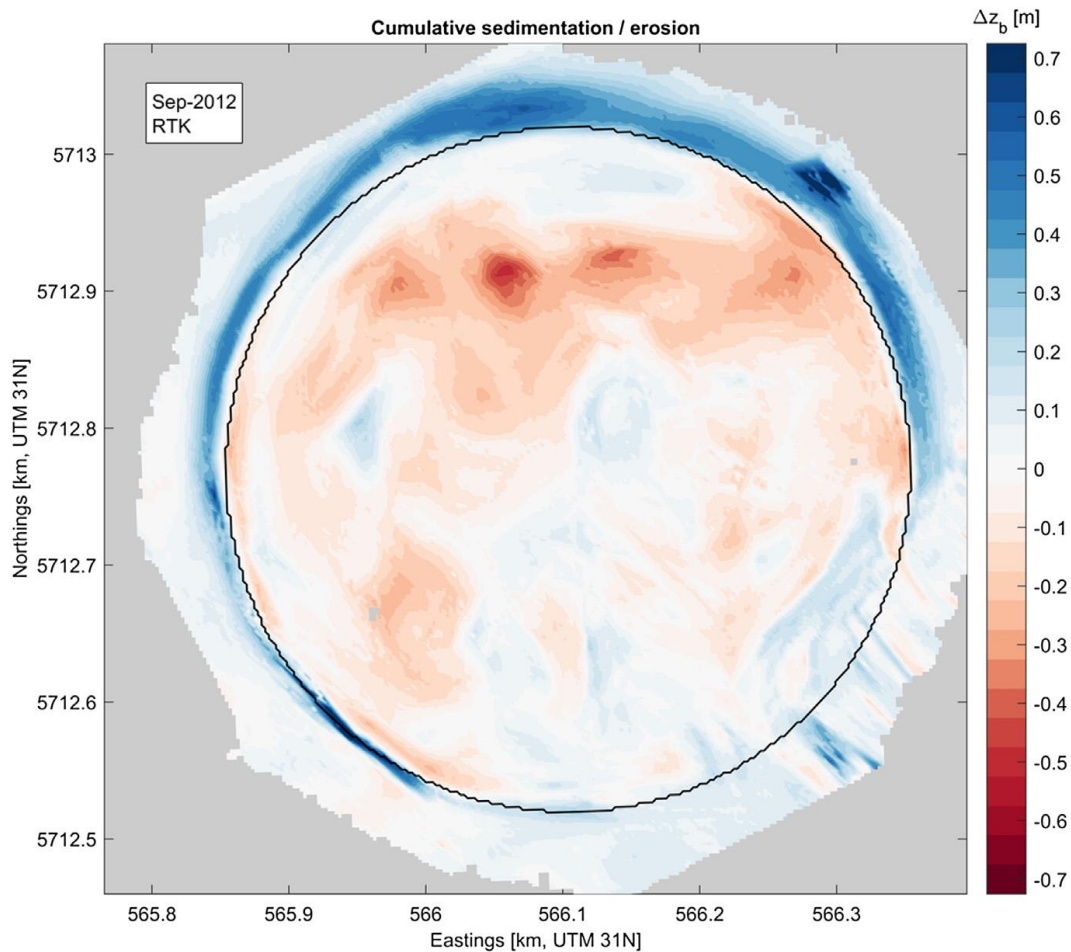
Op de Galgeplaat is in de periode juli-september 2008 ca. $130 \times 10^3 \text{ m}^3$ zand gesuppleerd in een gebied van ca. $200 \times 10^3 \text{ m}^2$ (20 ha), met dus een gemiddelde suppletiedikte van 0.65 m. Voor aanleg lag de lokale bodem tussen de NAP -0.8 en -0.5 m, en na aanleg tussen NAP -0.6 en +0.4 m. De mediane korrelgrote, D_{50} , is door de suppletie licht toegenomen van 0.19 naar 0.22 mm, omdat het sediment afkomstig was uit de getijgeulen. Figuur C.1 toont de ligging van de suppletie.



Figuur C.1 Ligging Galgeplaat suppletie (witte cirkel). *Figuur afkomstig uit Van der Werf et al. (2015).*

In 2012, 4 jaar na aanleg, is ca. 10% van het suppletiezand uit de initiële contour verdwenen. Dit correspondeert met een gemiddelde erosie van 1.5-2.0 cm/jaar, wat hoger is dan de erosie van dit gedeelte van de Galgeplaat die ~0.5 cm/jaar bedroeg voorafgaand aan de suppletie (De Ronde et al., 2013). Het grootste gedeelte van het geërodeerde sediment blijft binnen een afstand van 50 m van de initiële contour (Figuur C.2). Het hoge noordelijk gedeelte van de suppletie erodeert het snelste. Dit

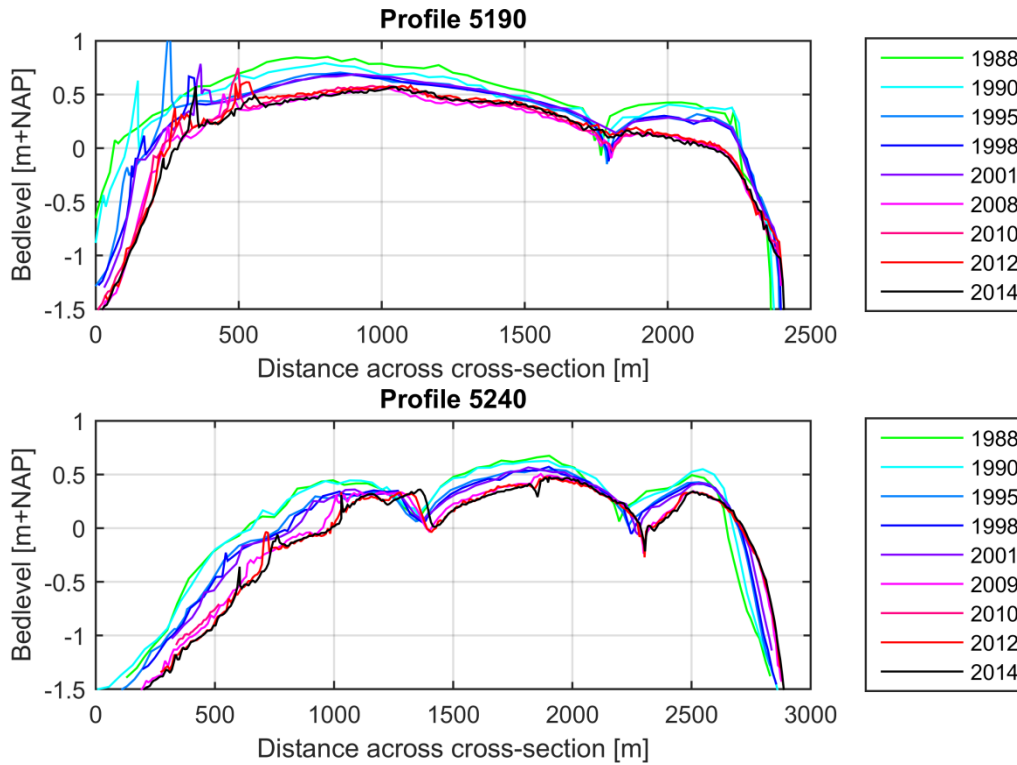
sedimentatie-erosie-patroon suggereert een netto sedimenttransport in noordelijke richting, in lijn met de dominante getijstrooming en windrichting. De verplaatsing van de suppletie bedraagt dus orde 10 m/jaar in de dominante transportrichting.



Figuur C.2 Sedimentatie/erosie Galgeplaat suppletie 4 jaar na aanleg. *Figuur afkomstig uit Van der Werf et al. (2015).*

C.3 VERPLAATSING BEDDINGVORMEN ROGGENPLAAT

Onderstaande figuren tonen de morfologische ontwikkeling langs een raai midden op de Roggenplaat (5190) en meer oostelijk hiervan (5240), van zuid (links) naar noord (rechts). De zuidelijke plaatrand verplaatst ~200 m noordwaarts in 25 jaar, oftewel ~8 m/jaar. Nb: dit sediment kan voor een gedeelte ook in de richting van de getijgeul ten zuiden van de Roggenplaat zijn getransporteerd. De verplaatsing op het midden en aan de noordkant van de plaat lijkt een stuk minder. Bij de oostelijke raai verplaatsen de inkepingen rond $x = 1300$ en 2300 m zich met 50-150 m in 25 jaar, oftewel 2-6 m/jaar.



Figuur C.3 Bodemligging langs RTK raaien 5190 en 5240.

C.4 AFSCHATTIG NETTO ZANDTRANSPORTEN EN LOOPSNELHEID BODEMVERSTORING

Het bodemtransport kan met de Bailard (1981) formule worden berekend (zonder hellingseffecten):

$$\vec{q}_{b0} = m_b \alpha_b^3 |\vec{u}(t)|^2 \vec{u}(t) \tag{8.1}$$

$$m_b = \frac{c_f \varepsilon_b}{\Delta g \tan \varphi} \tag{8.2}$$

$$c_f = \frac{g}{C^2} \tag{8.3}$$

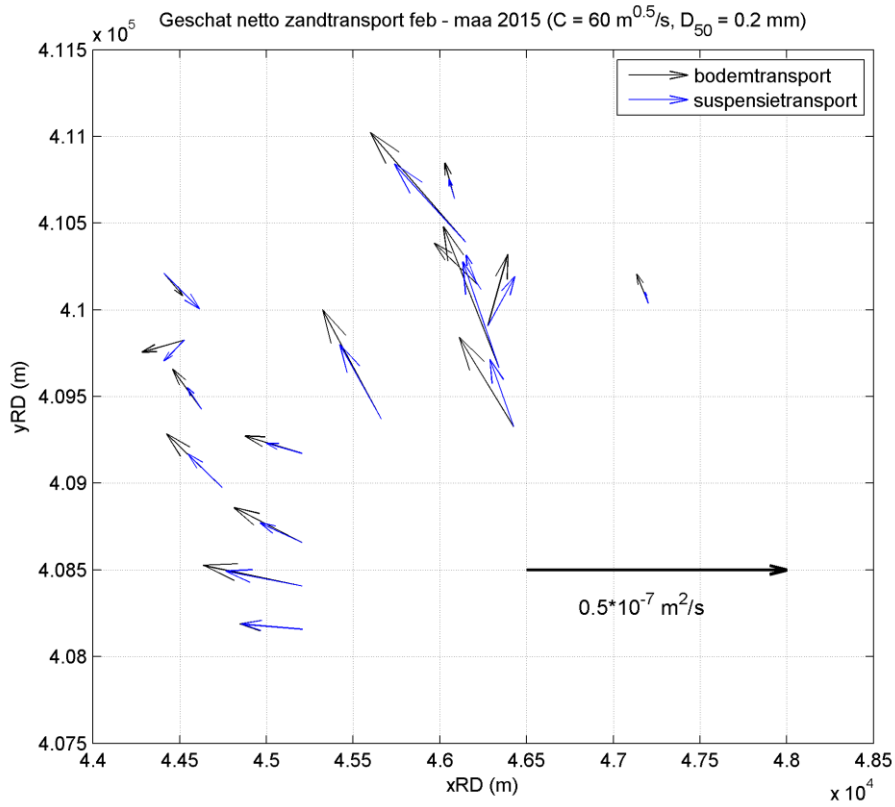
met $\varepsilon_b = 0.1$, $\Delta = 1.65$, $\alpha_b = 0.5$ en $\varphi = 32^\circ$, en het suspensietransport:

$$\vec{q}_{s0} = m_s \alpha_s^4 |\vec{u}(t)|^3 \vec{u}(t) \tag{8.4}$$

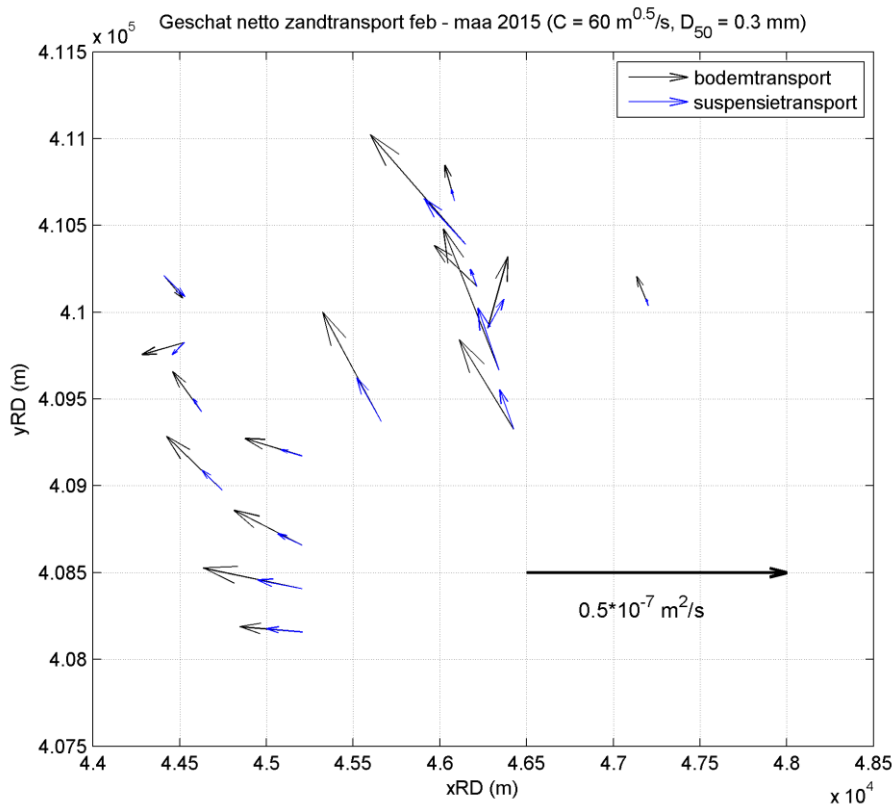
$$m_s = \frac{c_f \varepsilon_s}{\Delta g w_s} \tag{8.5}$$

met $\varepsilon_s = 0.02$ en $\alpha_s = 0.5$.

Een Chézy ruwheid $C = 60 \text{ m}^{0.5}/\text{s}$, $D_{50} = 0,2 \text{ mm}$ (valsnelheid $w_s = 0,026 \text{ m/s}$ volgens Soulsby, 1997) geeft op basis van de T0 stroommetingen op de Roggenplaat de netto zandtransporten zoals getoond in Figuur C.4.



Figuur C.4 Netto zandtransporten berekend met de Bailard (1981) formule op basis van de T0 metingen van de stroomsnelheid met een Chézy ruwheid van $60 \text{ m}^{0.5}/\text{s}$ en een D_{50} van 0,2 mm.



Figuur C.5 Netto zandtransporten berekend met de Bailard (1981) formule op basis van de T0 metingen van de stroomsnelheid met een Chézy ruwheid van $60 \text{ m}^{0.5}/\text{s}$ en een D_{50} van 0,3 mm.

Dee figuur laat zien dat het bodem- en suspensietransport vergelijkbare grootte ($\sim 0.1-0.3 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, excl. poriën) en richting (NW) hebben. In geval van een hogere ruwheid (b.v. door golf-stroom-interactie) worden de transporten groter met een factor $(C_{\text{ref}}/C_{\text{nieuw}})^2$, dus b.v. een factor 1.44 voor een C van 50 in plaats van 60 $\text{m}^{0.5}/\text{s}$.

Met een grovere sedimentkorrel (b.v. in geval van een suppletie met grover sediment) blijft het brekende bodemtransport hetzelfde; het suspensietransport neemt ongeveer omgekeerd evenredig af via de valsnelheid. Het zand uit de beoogde windplaats heeft een D_{50} van $\sim 0,3 \text{ mm}$ (Bijlage B.2); dit geeft de transporten getoond in Figuur C.5, i.e. een reductie van het suspensietransport met $\sim 50\%$.

Ribberink (2004) heeft de volgende uitdrukking afgeleid voor de loopsnelheid en dempingstijd van een kleine bodemverstoring (1DH, Bailard transport formule, geen hellingseffect op suspensie, stationaire stroming):

$$c_{\text{bed}} = c_b + c_s = \frac{1}{(1-\varepsilon)h_0} \left\{ 3q_{b0} + \frac{4q_{s0}}{L_A^2 k^2 + 1} \right\} \quad (8.6)$$

$$T_{\text{bed}} = \left\{ \frac{k^2 h_0}{3 \tan \varphi} |c_b| + L_A k^2 |c_s| \right\}^{-1} \quad (8.7)$$

met ε de porositeit (~ 0.4), h_0 de waterdiepte in de ongestoorde situatie, q_{b0} het bodemtransport in de ongestoorde situatie, q_{s0} het suspensietransport in de ongestoorde situatie, L_A de aanpassingslengte:

$$L_A = \hat{L} \frac{u_0 h_0}{w_s} \quad (8.8)$$

\hat{L} een coëfficiënt (~ 0.5), u_0 de diepte-gemiddelde stroomsnelheid in de ongestoorde situatie, en $k = 2\pi / L$, het golfgetal van de bodemverstoring.

Deze vergelijkingen laten zien dat de morfologische ontwikkeling van een bodemverstoring sterk bepaald wordt door de verhouding tussen de lengte van de bodemverstoring en de suspensie-aanpassingslengte, i.e. kL_A . Kortere bodemverstoringen (grote kL_A) dempen sneller uit dan langere (kleine kL_A) door het toegenomen belang van hellingseffecten. Suspensie verkort de dempingstijd bij langere bodemverstoringen, maar heeft nauwelijks invloed op de demping van kortere bodemverstoringen. Ook de migratie is minimaal bij korte bodemverstoringen, waarbij deze bepaald wordt door het bodemtransport. Bij lange bodemverstoringen draagt suspensietransport bij aan de migratie. In het algemeen kan gesteld worden dat voor korte bodemgolven ($L \ll L_A$) suspensie geen invloed heeft op de morfodynamiek, al kan het wel het totaaltransport domineren.

Met typische waarden $u_0 = 0,2 \text{ m/s}$, $h_0 = 1 \text{ m}$ en $D_{50} = 0,2 \text{ mm}$ is de suspensie-aanpassingslengte $L_A \sim 4 \text{ m}$. Dit wordt korter voor grover sediment. Voor een typische verstoring/suppletie van 400 m speelt suspensie dus wel een rol in de morfodynamiek ($L \gg L_A$). Tegelijkertijd is het effect van de suspensie-aanpassing op de loopsnelheid beperkt, i.e. de factor $L_A^2 k^2$ in Vgl. (8.6) is verwaarloosbaar. De berekende loopsnelheden bedragen $c_b = 1-5 \text{ m/jaar}$, $c_s = 1-4 \text{ m/jaar}$, en de gecombineerde $2-9 \text{ m/jaar}$. Dit komt goed in de buurt met de observatie voor de Galgeplaat. Bij een D_{50} van 0,3 mm wordt dit wat lager met 1-7 m/jaar.

C.5 CONCLUSIE

Op basis van de gemeten ontwikkeling van de Galgeplaat suppletie, de verplaatsing van beddingvormen op de Roggenplaat en de afgeschatte netto zandtransporten en de hiervan afgeleide loopsnelheid van een bodemverstoring, lijkt een verplaatsing van suppletiezand met 1-10 m/jaar in de dominante (NW) transportrichting een goede eerste schatting. Dit betekent niet dat er geen enkele zandkorrel verder dan deze afstand verplaatst. Ook zal de suppletie zich naar verwachting in meerdere dan enkel de dominante richting verspreiden. In een later stadium van het Roggenplaat project kunnen we naar verwachting deze verspreiding van suppletiezand beter inschatten met het proces-gebaseerde numerieke Delft3D model.