Deltares

Pilotsuppletie Schelde-monding: suppletievarianten

Pilotsuppletie Schelde-monding: suppletievarianten

Auteur(s)
Jebbe van der Werf
Roy van Weerdenburg
Luuk van der Heijden

Deze rapportage is mede tot stand gekomen door IMMERSE (Implementing Measures for Sustainable Estuaries), onderdeel van het Noordzeeprogramma van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling van de Europese Unie.

Pilotsuppletie Schelde-monding: suppletievarianten

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Zee en Delta locatie Middelburg
Contactpersoon	Marco Schrijver
Referenties	Referenties
Trefwoorden	Schelde-monding, morfologie, ecologie, pilotsuppletie, suppletievarianten

Documentgegevens	
Versie	1.0
Datum	22-11-2021
Projectnummer	11206823-000
Document ID	11206823-000-ZKS-0017
Pagina's	55
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)		
	Jebbe van der Werf	
	Roy van Weerdenburg	
	Luuk van der Heijden	

Doc. Versie	**Auteur**	**Controle**	**Akkoord**	**Publicatie**
1.0	Jebbe van der Werf	Arno Nolte	Toon Segeren	
	Roy van Weerdenburg			
	Luuk van der Heijden			

Samenvatting

Rijkswaterstaat is voornemens om een pilotsuppletie in de monding van het Schelde-estuarium aan te leggen om 1) de kennis van suppleren in buitendelta's te vergroten, 2) kennis te ontwikkelen van de lokale effecten op waterbeweging, morfologie en ecologie als gevolg van een suppletie, 3) deze kennis te gebruiken om grootschalige modellen te verbeteren om vraagstukken zoals de effecten van zeespiegelstijging beter te kunnen beantwoorden.

Uit de eerdere studie van Van der Werf et al. (2021) kwam het gebied langs de zuidelijke rand van de Vlakte van de Raan, ten noorden van de getijgeul Wielingen, naar voren als de voorkeurzone.

In dit rapport worden suppletievarianten in dit gebied gepresenteerd, onderzocht en onderling vergeleken met behulp van een afwegingskader.

De tien varianten bestaan uit een combinatie van vier verschillende locaties, twee diktes (1 m en 2 m) en één of twee suppletie-elementen. Alle hebben een totaal zandvolume van 1,5 miljoen m^3.

De suppletievarianten zijn doorgerekend met een morfodynamisch Delft3D model. De modelresultaten en systeemkennis zijn gebruikt om een inschatting te maken van de potentiële morfologische en ecologische kennisopbrengst en om de effecten van de suppleties op de hoofdfuncties van de Schelde-monding (veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid) te bepalen. De uitvoeringsaspecten zijn op basis van een deskundigenoordeel bepaald, in nauwe samenwerking met Rijkswaterstaat.

Op basis van deze informatie is het afwegingskader ingevuld. Dit leidt tot de voorkeur voor twee ronde suppleties langs de zuidelijke rand van de Vlakte van de Raan, waarvan één in het westen van de geul Spleet en één in de ebschaar. Elke suppletie heeft een oppervlakte van 38 ha en een dikte van 2 m. Deze suppleties zijn goed aan te leggen en te monitoren, het effect op de hoofdfuncties (veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid) is naar verwachting beperkt, en de potentiële bijdrage aan de kennisdoelstellingen is groot.

Summary

Rijkswaterstaat is planning a pilot nourishment in the mouth of the Scheldt estuary in order to 1) increase the knowledge of nourishing at ebb-tidal deltas, ii) develop knowledge of the nourishment effect on local hydrodynamics, morphodynamics and ecology, iii) to use this knowledge to improve large-scale models to improve our capabilities to answer questions such as the impact of sea-level rise.

The previous study by Van der Werf et al. (2021) presented the area on the southern edge of the Vlakte van de Raan, north of the Wielingen tidal channel, as the preferential nourishment zone.

In this report several nourishments alternatives for this area are presented, discussed and assessed.

The ten alternatives consist of a combination of four different locations, two thicknesses (1 m and 2 m) and one or two nourishment elements. All have a total sand volume of 1.5 million m^3.

The nourishments alternatives are simulated using a morphodynamic Delft3D model. The model results and system knowledge are used to estimate the potential contribution to the morphological and ecological knowledge objectives, as well as the effects of the nourishments on the main functions of the mouth of the Scheldt estuary: safety, nature and navigation. The construction and monitoring aspects of the nourishments are based on expert judgment, with an important input from Rijkswaterstaat.

The evaluation framework is filled in based on this information. This results in the preference for two round-shaped nourishments, one in the western part of the tidal channel Spleet and one in the ebb chute. Each nourishment element has a surface are of 38 ha and a thickness of 2 m. These nourishments are relatively easy to construct and monitor, the impact on the main functions (safety, nature and navigation) is expected to be limited and the potential contribution to the knowledge objectives is large.

Inhoud

	Samenvatting	**4**
	Summary	**5**
1	**Inleiding**	**8**
1.1	Achtergrond	8
1.2	Doelstelling	8
1.3	Aanpak	8
1.4	Afwegingskader	9
1.5	Leeswijzer	10
2	**Beschrijving van de morfodynamiek en ecologie van Vlakte van de Raan – Zuid**	**11**
2.1	Inleiding	11
2.2	Morfodynamiek	12
2.2.1	Bodemontwikkeling 1964-2020	12
2.2.2	Moeilijk-erodeerbare lagen in de ondergrond	12
2.2.3	Zandtransport	15
2.2.4	Synthese	16
2.3	Ecologie	16
2.3.1	Kennis en kennisleemtes	16
2.3.2	Bodemdiergemeenschappen	17
2.3.2.1	Algemeen	17
2.3.2.2	Bodemdiergemeenschappen Vlakte van de Raan - Zuid	17
2.3.2.3	Relevante abiotische parameters	19
3	**Suppletievarianten**	**21**
3.1	Uitgangspunten en vrijheidsgraden	21
3.2	Overwegingen	21
3.3	Varianten	21
4	**Berekende effecten van de suppletievarianten op hydro- en morfodynamiek**	**23**
4.1	Inleiding	23
4.2	Waterbeweging	24
4.2.1	Waterstanden	24
4.2.2	Debieten en stroomsnelheden	25
4.2.3	Golven	28
4.2.4	Bodemschuifspanningen	29
4.3	Sedimenttransport en morfodynamiek	31
4.3.1	Ontwikkeling van suppletie-elementen met een dikte van 1 m	31
4.3.2	Ontwikkeling van suppletie-elementen met een dikte van 2 m	36
4.3.3	Combinaties van suppletie-elementen	37
4.4	Conclusies	38

5 Effectbepaling en afweging suppletievarianten 39

5.1 Criterium 1: bijdrage aan de kennisdoelstelling 39
5.1.1 Morfologie 39
5.1.2 Ecologie 39

5.2 Criterium 2: effecten op hoofdfuncties 40
5.2.1 Veiligheid 40
5.2.2 Natuurlijkheid 40
5.2.3 Toegankelijkheid 41

5.3 Criterium 3: uitvoering 41
5.3.1 Aanleg 41
5.3.2 Monitoring 43

5.4 Integrale afweging 43

5.5 Hybride variant 44

6 Synthese 46

6.1 Discussie 46

6.2 Conclusies 47

6.3 Vervolg en aanbevelingen 48

Referenties 49

A Bespreekverslag expertworkshop 23 oktober 2020 50

B Bespreekverslag expertworkshop 23 februari 2021 51

C Gemeenschapsanalyse WOT-data 52

D Morfodynamische berekeningen hybride variant 53

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Rijkswaterstaat is voornemens om een pilotsuppletie in de monding van het Schelde-estuarium aan te leggen met de volgende doelstellingen:

1. Vergroten van de kennis van suppleren in buitendelta's.
2. Kennisontwikkeling van de lokale effecten op waterbeweging, morfologie en ecologie als gevolg van een suppletie.
3. Gebruik van deze kennis om grootschalige modellen te verbeteren. Hierdoor kunnen vraagstukken zoals de effecten van zeespiegelstijging beter worden beantwoord.

Ten behoeve van het suppletieontwerp en het bijbehorende monitoringsplan hebben Deltares en Wageningen Marine Research (WMR) in opdracht van Rijkswaterstaat een aantal studies uitgevoerd. Het betreft een gebiedsbeschrijving (Van Weerdenburg & Holzhauer, 2019), een literatuurstudie (Van der Werf et al., 2020), een studie naar de sedimenttransportpaden (Van Weerdenburg & Van der Werf, 2021), een kartering van erosie-resistente lagen in de ondergrond (Van der Vegt et al., 2021), een ecologische studie (Escaravage & Van der Heijden, 2021) en een gedetailleerde beschrijving van het zuidelijk gedeelte van de Vlakte van de Raan (Van der Werf et al., 2021).

In Van der Werf et al. (2021) zijn de randvoorwaarden van en het afwegingskader voor de pilotsuppletie in de Schelde-monding vastgelegd waarmee vijf mogelijke suppletiezones gedefinieerd en afgewogen zijn. Hieruit volgde dat de zone langs de zuidelijke rand van de Vlakte van de Raan, ten noorden van de getijgeul Wielingen, het beste scoort. Een suppletie in deze zone is goed aan te leggen en te monitoren, het effect op de hoofdfuncties (veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid) is naar verwachting beperkt, en de potentiële bijdrage aan de kennisdoelstellingen is groot.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van dit rapport is: *het genereren en afwegen van varianten voor een pilotsuppletie in het gebied Vlakte van de Raan – Zuid*.

Dit gebeurt op basis van de beschikbare informatie en kennisbasis. Het is nog niet zeker waar het suppletiezand vandaan zal komen, wat implicaties heeft voor hoe een suppletielocatie scoort op het criterium “uitvoering”. Dit wordt verder beschreven in paragraaf 5.3.

Daarnaast is er beperkte data en kennis van de ecologie in de Schelde-monding om een inschatting te maken van de potentiële bijdrage van een suppletie aan de ecologische kennisdoelstelling, en van het effect van een suppletie op de hoofdfunctie “natuurlijkheid”. Hier wordt in paragrafen 2.3, 5.1.2 en 5.2.2 nader bij stil gestaan.

1.3 Aanpak

Er zijn suppletievarianten gegenereerd op basis van a) de kennis van de ecologie en morfologie van de Schelde-monding, in het bijzonder van de zone Vlakte van de Raan - Zuid, b) een geschiktheidskaart die onwenselijke gebieden uitsluit en c) het afwegingskader.

Deze zijn vervolgens doorgerekend met een Delft3D numeriek model. Dit geeft een beeld van het effect van de suppletievarianten op de waterbeweging, de zandtransporten en de morfologische ontwikkeling voor een periode van 4 jaar.

De modelresultaten en systeemkennis zijn gebruikt om een inschatting te maken van de potentiële kennisopbrengst van de verschillende varianten, alsook van de effecten van de suppleties op de hoofdfuncties van de Schelde-monding: veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid. De uitvoeringsaspecten zijn op basis van deskundigenoordeel bepaald, met een belangrijke input van mensen van Rijkswaterstaat die in het programma Kustlijnzorg ervaring hebben met het ontwerpen en aanleggen van suppleties.

Op basis van bovenstaande informatie is het afwegingskader ingevuld wat leidt tot een voorkeursvariant.

Tijdens het ontwerpproces zijn de resultaten gedeeld en getoetst met experts door middel van workshops op 23 oktober 2020 en 23 februari 2021 waarvan de verslagen in Bijlagen A en B zijn te vinden.

1.4 Afwegingskader

Het afwegingskader voor de pilotsuppletie (Tabel 1.1) is door Van der Werf et al. (2021) afgeleid. Het is opgebouwd uit:

1. de bijdrage aan de doelstelling van de pilotsuppletie
2. de effecten van de suppletie op de functies van de Schelde-monding en een beoordeling van de risico's die ermee samenhangen
3. de risico's en de milieubelasting die samenhangen met de uitvoering van de suppletie, zowel de aanleg als de monitoring.

Ten opzichte van het oorspronkelijk afwegingskader is "waterdiepte t.o.v. laagwater" toegevoegd als indicator bij de uitvoeringsaspecten.

Tabel 1.1 Afwegingskader voor een pilotsuppletie in de Schelde-monding.

Criterium	Indicatoren
1. Bijdrage aan doelstelling	
Morfologische kennis	• mate waarin proefsuppletie bijdraagt aan het vergroten van het inzicht in het morfologisch en ecologisch functioneren van de Schelde-monding, in het bijzonder de interactie tussen de Westerschelde en de monding • afstemming met lopende/aankomende projecten en onderzoeksprogramma's
Ecologie kennis	
2. Effecten op functies	
Veiligheid	• getijslag • golfhoogte en waterstanden tijdens maatgevende condities • MKL[1] positie
Natuurlijkheid	• mate van ecologische verstoring en herstelduur als gevolg van de aanleg • mate van verstoring en herstelduur Natura2000 habitattype (H1110b: permanent overstroomde zandbanken)
Toegankelijkheid	• stromingen in vaargeulen • onderhoudsvolume vaargeulen • hinder scheepvaartverkeer in vaargeulen tijdens aanleg en monitoring
Visserij, infrastructuur, recreatie	
3. Uitvoering	• vaarafstand tot winlocatie(s) • vaarafstand tot de monitoringslocaties gerekend vanaf Vlissingen • waterdiepte t.o.v. laagwater • hydrodynamische omstandigheden
Aanleg	
Monitoring	

Ieder criterium is waar mogelijk vertaald in kwantificeerbare indicatoren en waar nodig gebaseerd op een kwalitatief deskundigenoordeel. De indicatoren volgen grotendeels uit de

[1] Momentane Kustlijn positie. Belangrijke indicator voor de toestand van de kust.

modelresultaten (beschreven in Hoofdstuk 4). Voor het berekenen van de waterdieptes en vaarafstanden (Criterium #3) is gebruik gemaakt van de Rijkswaterstaat Vaklodingen data (bodemligging), opgenomen in 2020.

De modelresultaten en systeemkennis zijn gebruikt voor de inschatting van de kennisopbrengst, het effect op de hoofdfuncties (veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid) en de uitvoeringenaspecten door experts van Deltares, WMR en Rijkswaterstaat.

Dit rapport gaat niet in op het effect van de suppletie op andere functies dan veiligheid, natuurlijkheid en toegankelijkheid. Het is de verwachting dat het effect op deze andere functies (b.v. recreatie en visserij) beperkt is, mede omdat de geschiktheidskaart op voorhand bepaalde ongewenste locaties uitsluit, zoals de VIBEG visserijgebieden. Ook werden er tijdens een door Rijkswaterstaat georganiseerde stakeholderbijeenkomst in juli 2020 weinig bezwaren genoemd (Projectteam pilot monding Westerschelde, 2020). Dat wil overigens niet zeggen dat er geen effecten op andere functies zouden kunnen optreden. Dit zal in een later stadium onderzocht kunnen worden en mogelijk kunnen eventuele negatieve effecten in het detail suppletie-ontwerp ondervangen worden.

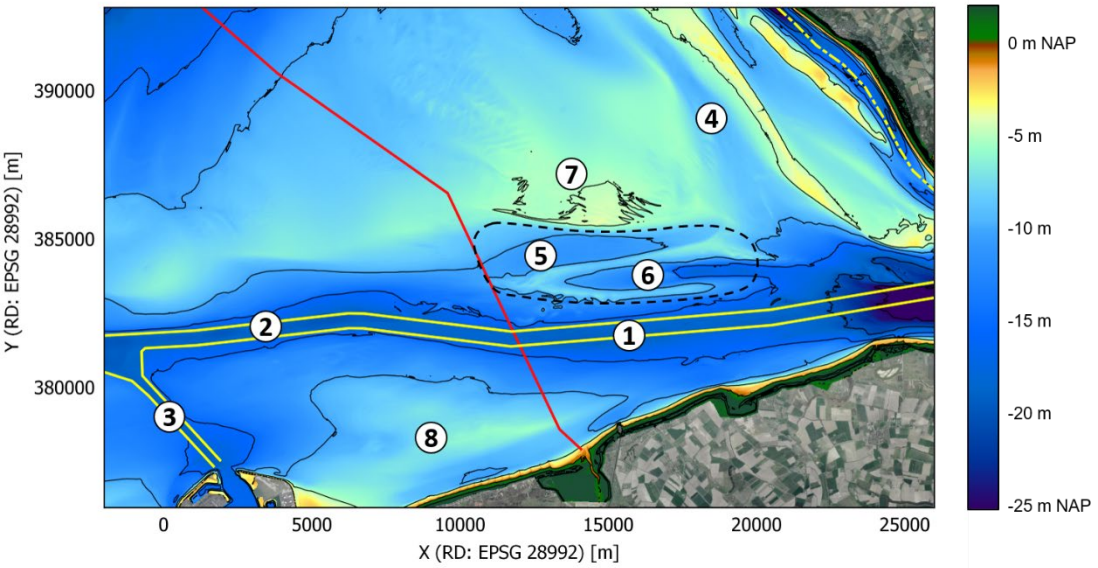
1.5 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd. In Hoofdstuk 2 wordt een korte beschrijving van de morfodynamiek en ecologie van de voorkeurszone, Vlakte van de Raan – Zuid, gegeven op basis van de eerdere rapporten. Dit dient mede als achtergrond voor de suppletievarianten die worden besproken in Hoofdstuk 3. De berekende effecten van suppletievarianten op de hydro- en morfodynamiek staan in Hoofdstuk 4. Het afwegingskader wordt ingevuld in Hoofdstuk 5, wat leidt tot de voorkeursvariant. Tot slot worden in Hoofdstuk 6 de resultaten bediscussieerd, de conclusies getrokken en aanbevelingen voor het vervolg gegeven.

2 Beschrijving van de morfodynamiek en ecologie van Vlakte van de Raan – Zuid

2.1 Inleiding

De voorkeurszone voor de proefsuppletie, Vlakte van de Raan – Zuid (VvdR-Zuid), wordt afgebakend door de Nederlands-Belgische landsgrens in het westen, het deel van de VvdR ondieper dan NAP-5 m in het noorden, het begin van de ebschaar en de Geul van de Walvischstaart in het oosten en de Wielingen geul in het zuiden (Figuur 2.1).



Figuur 2.1 De belangrijkste geulen en platen in de omgeving van de voorkeurszone van de proefsuppletie (gestippelde zwarte lijn) weergegeven in de bodemligging van 2020. De rode lijn is de grens tussen Nederland en België en vaargeulen zijn weergegeven met gele lijnen. 1 = Wielingen, 2 = Scheur, 3 = Pas van het Zand, 4 = Geul van de Walvischstaart, 5 = Spleet, 6 = ebschaar, 7 = Vlakte van de Raan, 8 = Paardenmarkt. Figuur afkomstig uit Van der Werf et al. (2021).

Aan de zuidkant van de Vlakte van de Raan in de Schelde-monding loopt de Wielingen geul (#1 in Figuur 2.1). Vanaf de grens met België heet deze geul Scheur (#2), met de aftakking Pas van het Zand (#3) richting de haven van Zeebrugge. De Wielingen is ongeveer 15 tot 20 m diep. De breedte, bij een dieptecontour van 15 m, varieert tussen ca. 1 km in het westen tot 2 km in het oosten. Juist ten oosten van de VvdR-Zuid takt de Geul van de Walvischstaart (#4) van de Wielingen af naar het noordwesten. De geul Spleet (#5) is in het westen aangesloten op de Scheur en eindigt in het oosten in een ondieper gebied die Spleet scheidt van de Geul van de Walvischstaart. De diepte van Spleet varieert ongeveer tussen de NAP-12 en -8 m. Tussen de Spleet en de Wielingen ligt een ebschaar (#6), in de zin dat deze aan de landwaartse kant open is en een ondiepte heeft aan de zeewaartse kant. Bij de aansluiting met de Wielingen in het oosten is deze meer dan 15 m diep. Tussen de Spleet, deze ebschaar en de Wielingen liggen twee relatief ondiepe banken met een diepte van ~NAP-7 tot -10 m die in het westen bij elkaar komen. Direct ten noorden van VvdR-Zuid ligt het ondiepste gedeelte van de VvdR (#7) met een diepte van ca. NAP-4 m. Ten zuiden van de Wielingen ligt de ondiepte Paardenmarkt (#8).

In de hieronder volgende paragrafen wordt een korte beschrijving gegeven van de morfodynamiek en ecologie van VvdR-Zuid. Deze kennis is gebruikt om de suppletievarianten te genereren (Hoofdstuk 3), om de effecten van de suppleties in te schatten en om een afweging tussen de varianten te maken (Hoofdstuk 5).

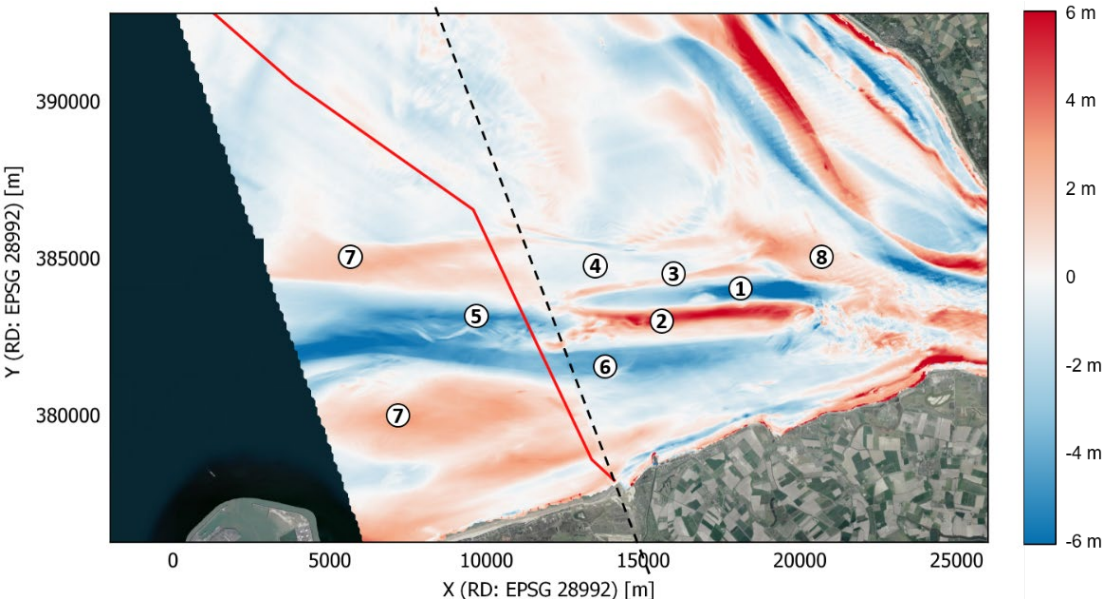
Dit hoofdstuk is met name gebaseerd op de gedetailleerde morfologische beschrijving van VvdR-Zuid zoals gerapporteerd in Van der Werf et al (2021) en de ecologische studie van de Schelde-monding door Escaravage et al. (2021), en onderliggende studies.

2.2 Morfodynamiek

2.2.1 Bodemontwikkeling 1964-2020

De Vaklodingen data van de bodemligging in de Schelde-monding tussen 1964 en 2020 tonen de morfologische ontwikkeling van het interessegebied (Figuur 2.2). De belangrijkste morfologische ontwikkelingen in het zuidelijke gedeelte van de Vlakte van de Raan in de periode 1964-2020 zijn:

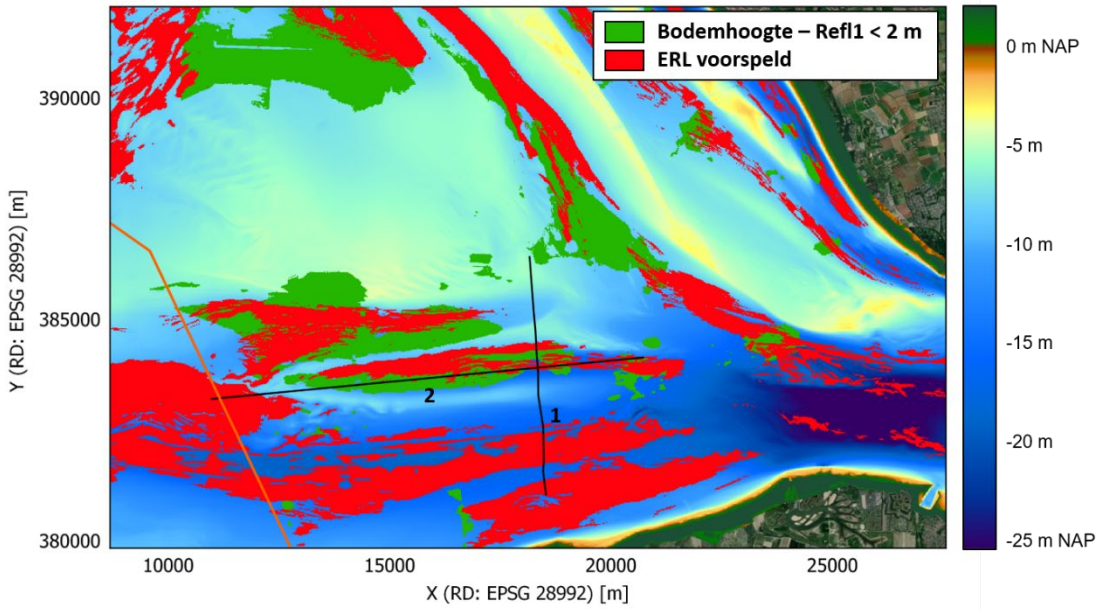
1. Het ontstaan van de ebschaar tussen de Spleet en de Wielingen. De locatie waar nu de ebschaar ligt, was voorheen nog onderdeel van de (brede) Wielingen.
2. De ontwikkeling van een bank die de ebschaar en de Wielingen scheidt. Deze bank heeft zich vanuit het westen richting het oosten opgebouwd.
3. Een versmalling en verhoging van de ondiepte ten noorden van deze ebschaar.



Figuur 2.2 De verandering in bodemhoogte tussen 1964 en 2020. Door een discontinuïteit in de bodemdata van 1964 van verschillende kaartbladen is er langs de zwarte stippellijn een discontinuïteit in de bodemverandering te zien. De rode lijn is de grens tussen Nederland en België. De nummers geven de belangrijkste ontwikkelingen aan, zoals beschreven in de tekst. Figuur afkomstig uit Van der Werf et al. (2021).

2.2.2 Moeilijk-erodeerbare lagen in de ondergrond

In een groot gedeelte van het interessegebied ligt naar verwachting een moeilijk-erodeerbare kleilaag (*reflector1*) binnen 2 m van de bodem (Figuur 2.8). Deze kartering van de moeilijk-erodeerbare ondergrondlagen in de Schelde-monding is gebaseerd op seismisch onderzoek, boringen en bestaande geologische modellen (Van der Vegt et al., 2021). Het voorkomen van deze laag correspondeert goed met de locaties waar een erosie-resistente laag wordt voorspeld op basis van de morfologie en de morfologische ontwikkeling (“ERL voorspeld”).

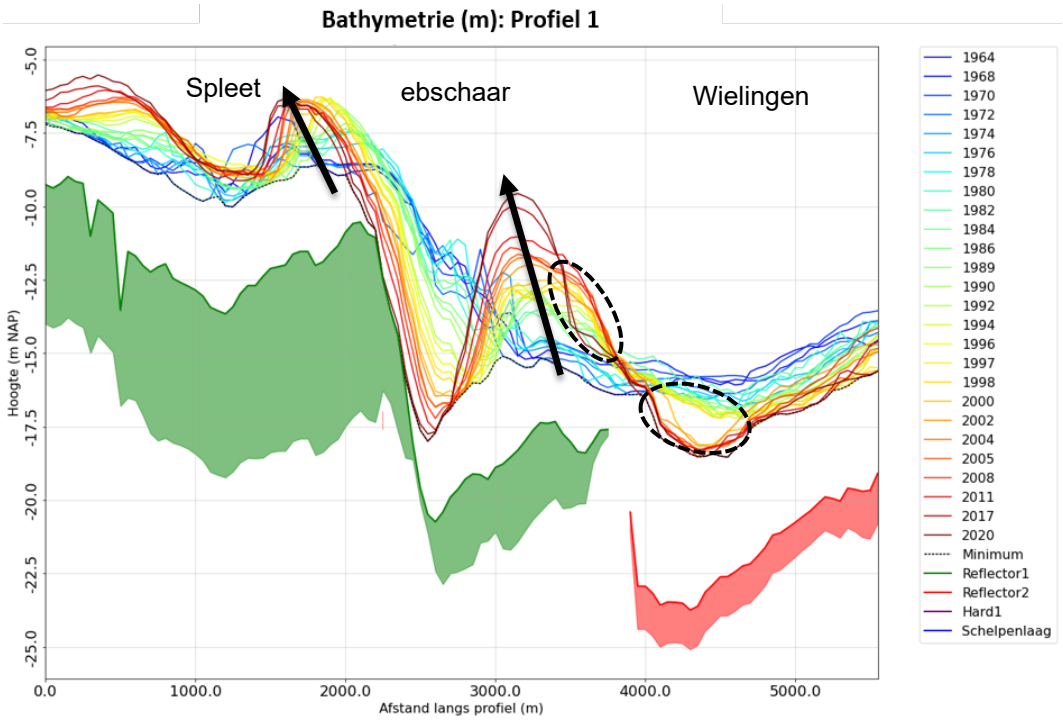


Figuur 2.3 Bodemligging van de Schelde-monding in 2020 met hierin aangegeven locaties waar een moeilijk-erodeerbare kleilaag (reflector1) binnen 2 m van de bodem ligt (groene vlakken) en locaties waar op basis van morfologie en morfologische ontwikkeling een erosie-resistente laag voorspeld wordt (rode vlakken; "ERL voorspeld"). De bodemligging langs raaien 1 en 2 wordt getoond in Figuur 2.4 en Figuur 2.5.

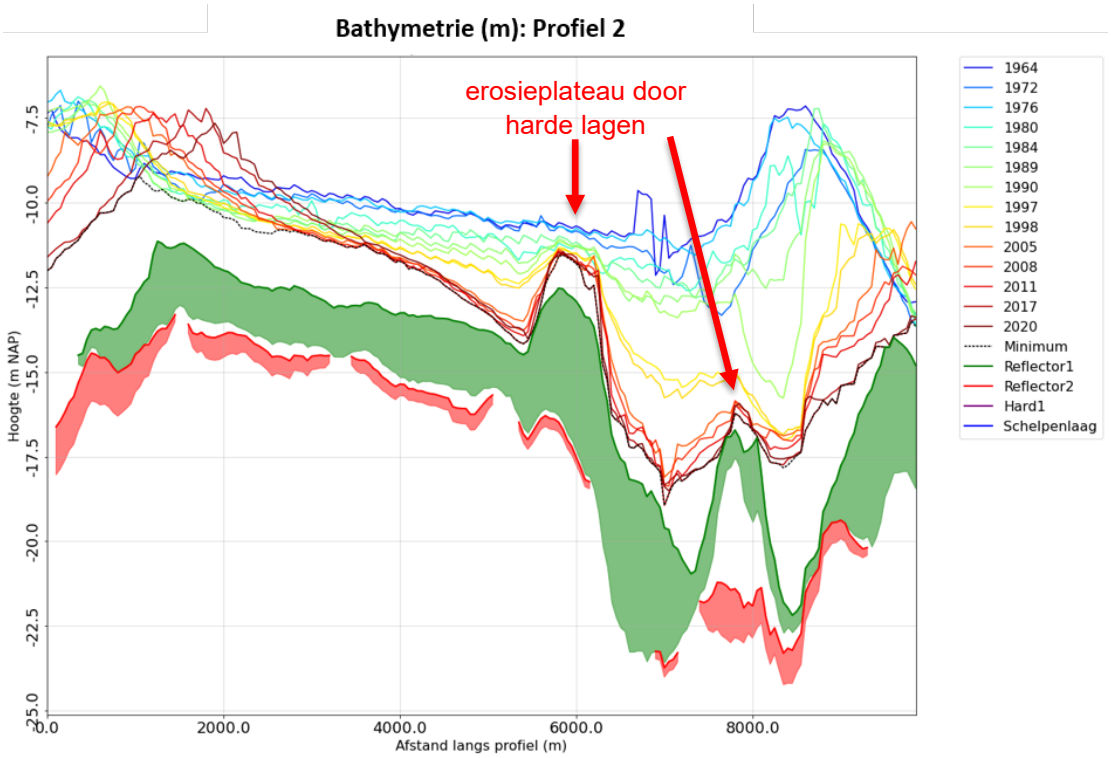
De morfologische ontwikkeling is in meer detail bekeken langs twee profielen die in het interessegebied getrokken zijn (zie voor de ligging Figuur 2.3). Deze figuren bevatten naast de bodemligging tussen 1964 en 2020 ook de omhullende lijn van de minimale bodemligging, en informatie over de ondergrond. De reflectoren 1 en 2 zijn kleilagen, vermoedelijk in de Naaldwijk en/of Eem Formatie, terwijl reflector 'hard 1' een harde kleilaag is uit het Tertiair (ook wel bekend als Boomse Klei).

Uit de profielen blijkt de invloed van de ondergrond op de morfologische ontwikkeling:

- Het vertragen van laterale migratie van de ebschaar na het in contact komen van de geulwand met de kleilaag (Profiel 1).
- Het ontstaan van erosieplateaus in de ebschaar Profiel 2).



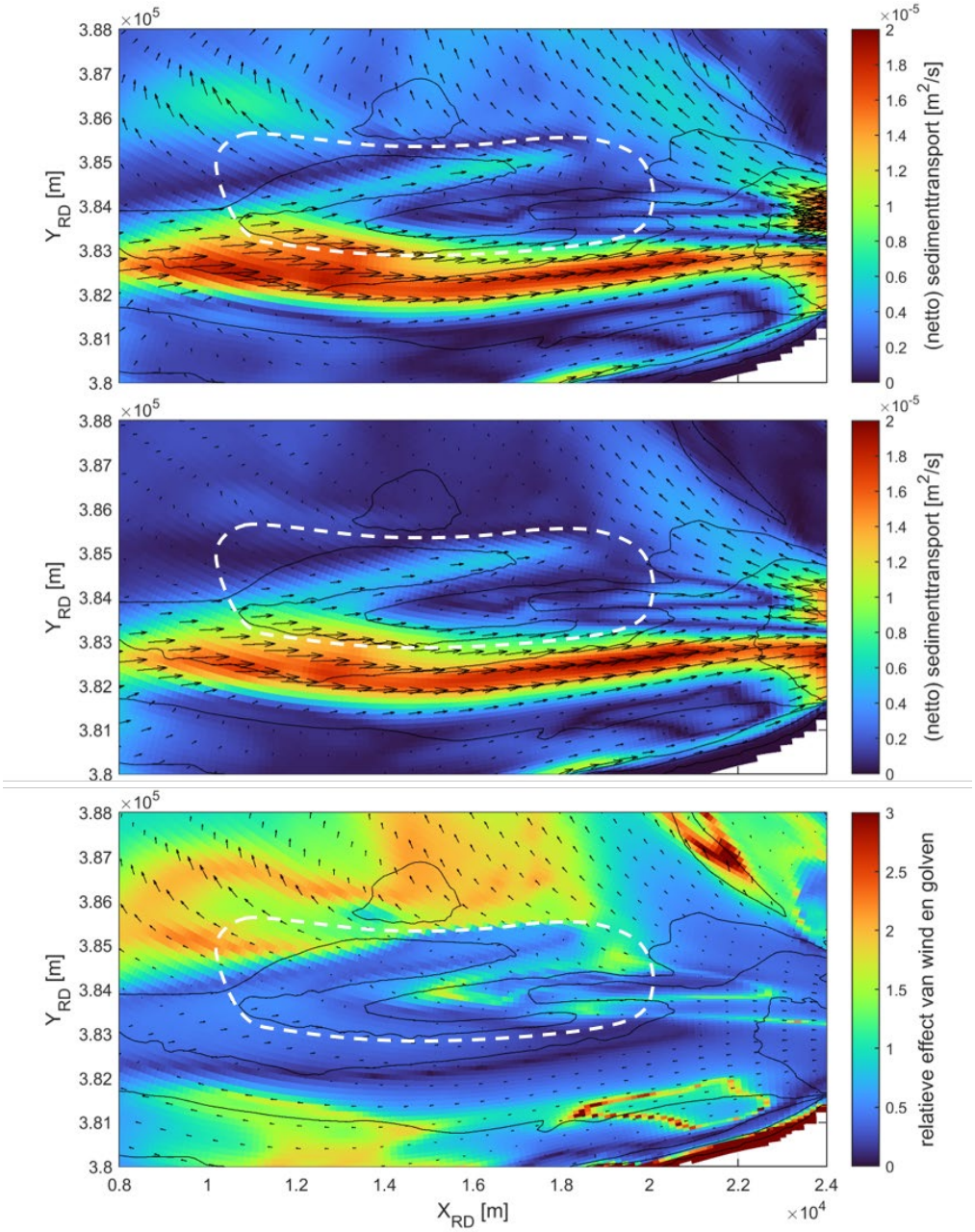
Figuur 2.4 Morfologische ontwikkeling langs profiel 1. Het profiel loopt ongeveer van het noorden (x = 0 m) naar het zuiden. Minimum = omhullende lijn van de laagst opgetreden bodemligging. De reflectors 1 en 2 zijn kleilagen, vermoedelijk in de Naaldwijk en/of Eem Formaties, terwijl reflector 'hard 1' een harde kleilaag is uit het Tertiair. De pijlen geven de ontwikkeling van de ruggen aan weerszijden van de ebschaar weer, en de ovalen vermoedelijke bodemveranderingen door baggerwerkzaamheden. Figuur afkomstig uit Van der Werf et al. (2021).



Figuur 2.5 Morfologische ontwikkeling langs profiel 2. Het profiel loopt ongeveer van het westen (x = 0 m) naar het oosten. Minimum = omhullende lijn van de laagst opgetreden bodemligging. De reflectors 1 en 2 zijn kleilagen, vermoedelijk in de Naaldwijk en/of Eem Formaties, terwijl reflector 'hard 1' een harde kleilaag is uit het Tertiair. Figuur afkomstig uit Van der Werf et al. (2021).

2.2.3 Zandtransport

Het zandtransport is berekend met een diepte-gemiddelde Delft3D model dat de invloed van getij, wind en golven meeneemt (zie Van der Werf et al., 2021). Het netto zandtransport in het gebied is over het algemeen in de vloedrichting door de dominante invloed van getij-asymmetrie met grotere vloedsnelheden (Figuur 2.6). Golven hebben een beperkt effect op het netto zandtransport. In de ondiepere noordelijke gebieden van de voorkeurszone neemt het relatieve belang van golven toe.



Figuur 2.6 Berekend netto zandtransport in modelsimulatie met (boven) en zonder (midden) golven. De kleurenschaal toont de grootte van het netto transport, de pijlen tonen de grootte en de richting. Het onderste paneel toont de bijdrage van wind en golven in het netto zandtransport, weergegeven als de verschilvector tussen het netto zandtransport in berekeningen met wind en golven ten opzichte van het netto zandtransport zonder wind en golven (rood: sterk effect wind en golven; blauw geen effect van wind en golven). De witte stippellijnen tonen de voorkeurszone voor de proefsuppletie.

2.2.4 Synthese

Van der Werf et al. (2021) stellen dat het ontstaan van de ebschaar tussen de Spleet en de Wielingen, en in samenhang hiermee de ophoging van ruggen ten noorden en zuiden hiervan, de belangrijkste recente morfologische ontwikkeling is.

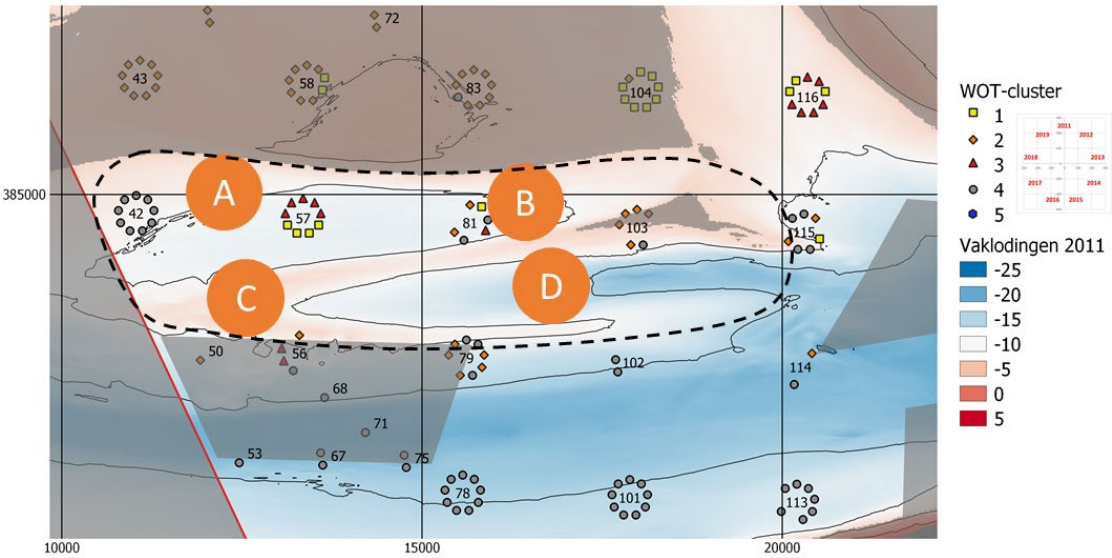
In de huidige bodemligging is de ebschaar te herkennen aan een opening aan de kant waar de ebstroming vandaan komt. De vorm en ontwikkeling van de ebschaar wijkt af van de theorie (Van Veen, 1950). Zo is de ebschaar relatief recht van vorm en stabiel qua ligging. Dit is zeer waarschijnlijk voor een deel gekoppeld aan moeilijk-erodeerbare lagen. Verder is het opvallend dat het netto zandtransport in bepaalde delen van de ebschaar vloeddominant is, omdat zandtransporten in een ebschaar normaal gesproken ebdominant zijn.

Als hypothese stellen Van der Werf et al. (2021) dat de ebschaar niet zozeer ontstaan is door het insnijden door de ebstroming, maar door het opbouwen van een zuidelijk gelegen bank in de vloedrichting.

2.3 Ecologie

2.3.1 Kennis en kennisleemtes

De kennis van de ecologie in het interessegebied, gelegen tussen de ondiepte Raan in het noorden en de geul Wielingen in het zuiden, is relatief beperkt. Deze kennisleemtes worden vooral veroorzaakt door het lage aantal monsterpunten in het zoekgebied (Figuur 2.7). Daar komt bij dat de bodemdiergemeenschappen van deze monsterpunten sterk variëren over ruimte en tijd (Escaravage & van der Heijden, 2021), wellicht deels veroorzaakt door de onzekerheid in plaatsbepaling van genomen monster tijdens de WOT-monitoring (Figuur 2.7).



Figuur 2.7 Overzicht van de bodemdiergemeenschappen (gekleurde symbolen) uit een clusteranalyse van WOT data voor de jaren 2011 t/m 2019 (in chronologische volgorde in een cirkel rondom het monsterpunt met de klok mee; 2011 is het punt direct boven het monsterpunt). De achtergrond betreft de Vaklodingen bodemdata voor het jaar 2011, de gestippelde polygoon betreft het interessegebied, het cijfer is de monsterlocatie en code, en de vier oranje cirkel met letters zijn de mogelijke suppletielocaties (zie Hoofdstuk 3). Figuur afgeleid van de studie van Escaravage & Van der Heijden (2021).

Uit deze analyse (Escaravage & van der Heijden, 2021) en eerdere morfologische studies blijkt dat het interessegebied de overgang van ondiepe wateren (Vlakte van de Raan) naar geulen beschrijft en waarbinnen verschillende (abiotische) factoren zoals slibgehaltes,

bodemschuifspanning en de waterdiepte een rol kunnen spelen in de bepaling van gemeenschappen.

2.3.2 Bodemdiergemeenschappen

Dit rapport is gericht op de voorkeurszone aan de zuidelijke zijde van de Vlakte van de Raan. De eerdere studie van Escaravage & van der Heijden (2021) richtte zich op de gehele Schelde-monding; in dit rapport worden deze resultaten ingezoomd op de voorkeurszone. Er wordt eerst een algemene beschrijving van de bodemdiergemeenschappen gegeven (ook wel clusters genoemd), gebaseerd op de clusteranalyse van de hele Schelde-monding. Daarna worden deze clusters, en ook soortendichtheden en soortenaantallen, beschreven voor het kleinere gebied rond de Vlakte van de Raan – Zuid. Ook worden voor dit gebied de relevante abiotische factoren beschreven, voor zover deze nog niet benoemd zijn in paragraaf 2.2.

2.3.2.1 Algemeen

In cluster 1 ("*Donax*-cluster") zijn veel schelpdieren aanwezig, kensoorten zijn o.a. de rechtsgestreepte platschelp (*Fabulina fabula*), het zaagje (*Donax vitatus*) en de halfgeknotte strandschelp (*Spisula subtruncata*). Dit cluster bevindt zich meer aan de randen van de Vlakte van de Raan. In de Eunis-classificatie, een Europees informatiesysteem en database van Europese habitattypes, wordt de aanwezigheid van de rechtsgestreepte platschelp genoemd als een indicator voor afnemende hydrodynamische stress.

Het ondiepste cluster 2 ("krabben-cluster") wordt gekenmerkt door de breedpootzwemkrab (*Portumnus latipes*) en het kleine heremietkreeftje (*Diogenes pugilator*). Dit cluster bevindt zich vooral op de Vlakte van de Raan wat overeenkomt met de voorkeur van de breedpootzwemkrab voor fijnzandige bodems met een hoge hydrodynamische stress.

Het soortenrijke cluster 3 ("*Abra*-cluster"), duidelijk dieper gelegen dan de eerst twee clusters, is te vinden rondom de Vlakte van de Raan. De aanwezigheid van de witte dunschaal *(Abra alba)* getuigt van het verhoogde slibgehalte op deze locaties. Multivariate analyse gaf aan dat het voorkomen van deze gemeenschap positief correleerde met een toename in diepte, verlaging van de hydrodynamische stress en het fijner worden van het sediment.

Cluster 4 ("*Limecola*-cluster") wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van het nonnetje (*Limecola balthica*) en de strandkrab (*Carcinus maenas)*. Dit cluster bevindt zich op locaties tussen de Wielingen en de kust. De aanwezigheid van *L. balthica* komt, zoals waargenomen binnen de Eunis-classificatie, overeen met het relatief ondiepe en slibrijke karakter van de bodem. Een multivariate analyse toonde aan dat dit cluster positief correleert met de diepte, de getij-gedreven bodemschuifspanning (d.w.z. relatief hogere hydrodynamische stress) en het slibgehalte.

Cluster 5 ("*Spisula*-cluster") omvat de diepste locaties in deze dataset, en is vooral gesitueerd in het noorden van de Vlakte van de Raan, met als typerende soorten de stevige strandschelp (*Spisula solida*) en de ovale strandschelp (*Spisula elliptica).* Dit cluster komt binnen het interessegebied niet voor.

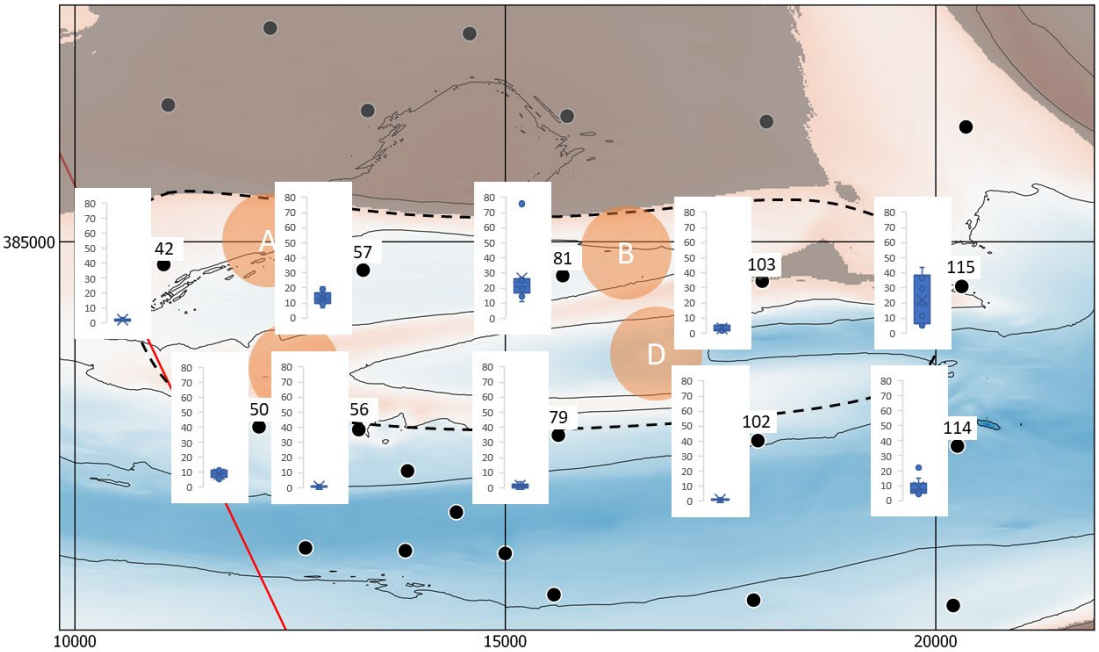
2.3.2.2 Bodemdiergemeenschappen Vlakte van de Raan - Zuid

Algemeen gezien blijkt dat er voor de meeste monsterpunten binnen het interessegebied een hoge heterogeniteit wordt waargenomen, zowel over tijd als ruimte (Figuur 2.7 en zie Bijlage C voor een gedetailleerde beschrijving per monsterlocatie). Deze veranderingen in bodemdiergemeenschappen zijn tekenend voor een dynamisch systeem dat zich op de rand van twee onderscheidende gebieden bevindt (Vlakte en geul). Binnen het interessegebied lijkt de trend waarneembaar dat er zich in het westelijk gedeelte (monsterpunten 42, 56 en 57) meer gemeenschappen bevinden met kensoorten die minder resistent zijn tegen abrupte

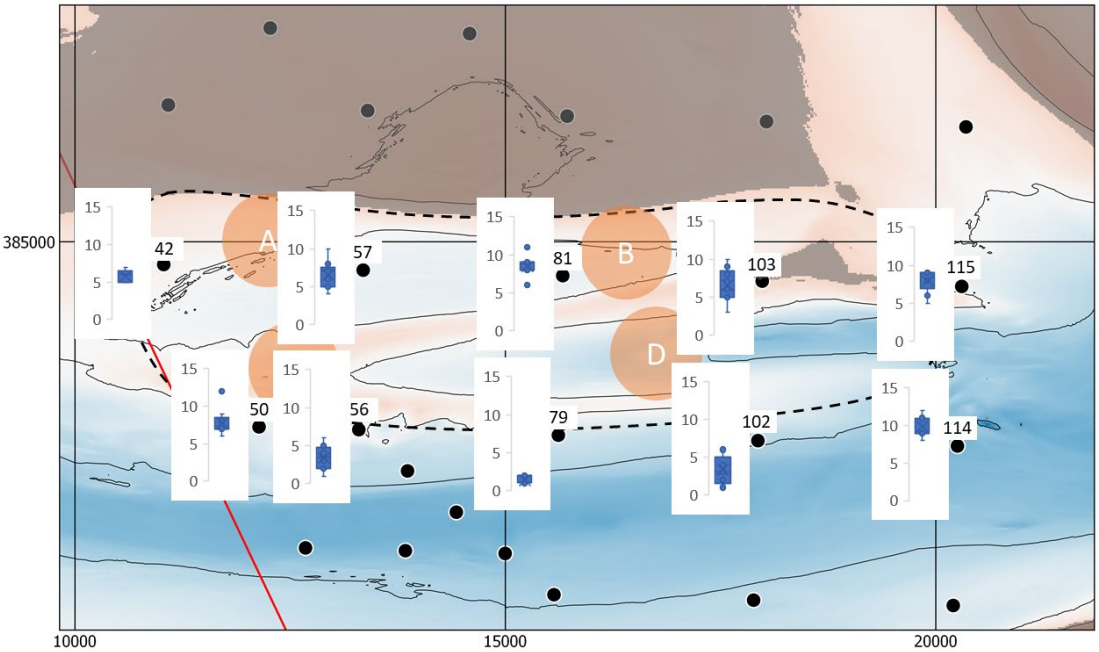
verstoringen, denk aan soorten uit de *Limecola*-gemeenschap, de *Abra*-gemeenschap en de *Donax*-gemeenschap. Dit omdat deze soorten voornamelijk (dieper) ingegraven zitten en dus minder mobiel zijn t.o.v. bijvoorbeeld de soorten in de krabben-gemeenschap (Escaravage & Van der Heijden, 2021). Bij de monsterpunten in het oostelijk gedeelte (monsterpunten 81 en 103 en in mindere mate 79 en 115) wordt vaker een dominantie van de krabben-gemeenschap waargenomen. Van deze gemeenschap is juist de verwachting dat zij een voorkeur hebben voor fijnzandige bodems met een hoge hydrodynamische stress.

Er zijn ook relatief grote verschillen in de dichtheden. Over het algemeen is de trend dat de monsterpunten in de noordelijke zone van het interessegebied de hoogste dichtheden vertonen (Figuur 2.8) met een gemiddelde dichtheid van ± 400 individuen/m^2 voor de vijf stations (42, 57, 81, 103 en 115) en de jaren 2011-2019. Voor de vijf zuidelijke stations ligt deze gemiddelde dichtheid een stuk lager met ± 40 individuen/m^2. Echter zijn in beide gebieden, noord en zuid, ook uitzonderingen te vinden zoals de lage dichtheid in station 42 (meest noordwestelijke; gemiddeld ± 5 individuen/m^2) en de relatief hoge dichtheid in station 114 (meest zuidoostelijke; gemiddeld ± 110 individuen/m^2). Dus ook hier geldt dat er nog enige onzekerheid heerst over de dichtheden op de suppletielocaties zelf.

De soortenaantallen van deze verschillende monsterlocaties binnen het interessegebied verschillen een stuk minder dan de dichtheden (Figuur 2.9). De noordelijke punten hebben een relatief vergelijkbaar en stabiel soortenaantal (gemiddeld 7 soorten per monster, SD 1,8), terwijl deze variatie voor de zuidelijke monsterlocaties iets groter is (5,4 soorten per monster; SD 3,5). Deze grotere variatie wordt veroorzaakt door twee monsterpunten die relatief laag scoren qua soortenaantallen, monsterpunt 56 (zuidoosten; gemiddeld 3,4 soorten per monster; SD 1,7) en monsterpunt 79 (zuid-midden/zuidwesten; gemiddeld 1,3 soorten per monster; SD 0,5).



Figuur 2.8 Overzicht van de bodemdieren dichtheden (wortel getransformeerd, i.e. de wortel van de daadwerkelijk waarde wordt getoond) voor de verschillende monsterpunten (boxplots; links van de monsterpunten) van WOT data voor de jaren 2011 t/m 2019. De achtergrond betreft de Vaklodingen bodemdata voor het jaar 2011, de gestippelde polygoon betreft het interessegebied, het cijfer is de monsterlocatie en code, en de vier oranje cirkel met letters zijn de mogelijke suppletielocaties. Figuur afgeleid van de data van de studie van Escaravage & Van der Heijden (2021).



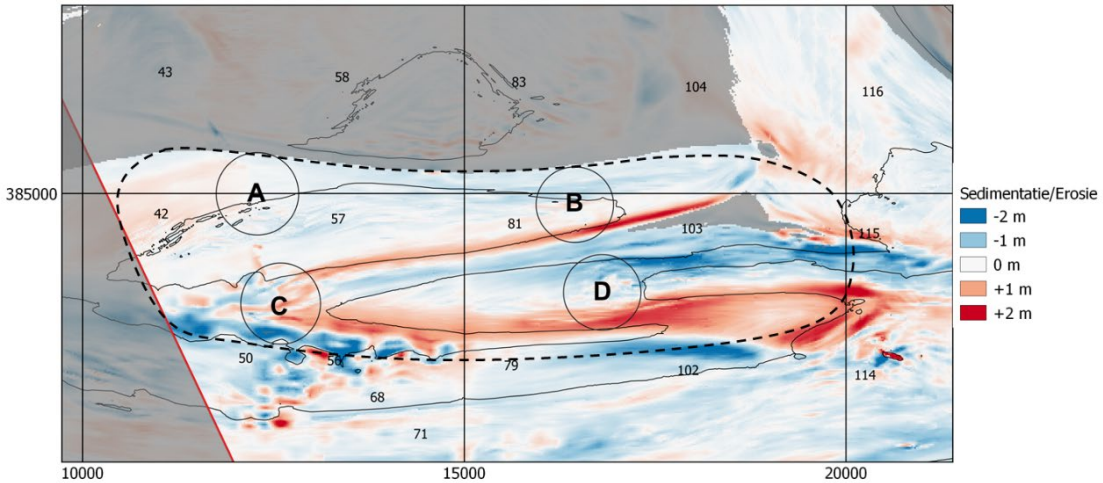
Figuur 2.9 Overzicht van de gemiddelde soortenaantallen voor de verschillende monsterpunten over de jaren 2011 t/m 2019 (boxplots links van de monsterpunten), aantallen komen uit de soortenlijst gebruikt voor de WOT clusters. De achtergrond betreft de Vaklodingen bodemdata voor het jaar 2011, de gestippelde polygoon betreft het interessegebied, het cijfer is de monsterlocatie en code, en de vier oranje cirkel met letters zijn de mogelijke suppletielocaties. Figuur afgeleid van de data van de studie van Escaravage & Van der Heijden (2021).

2.3.2.3 Relevante abiotische parameters

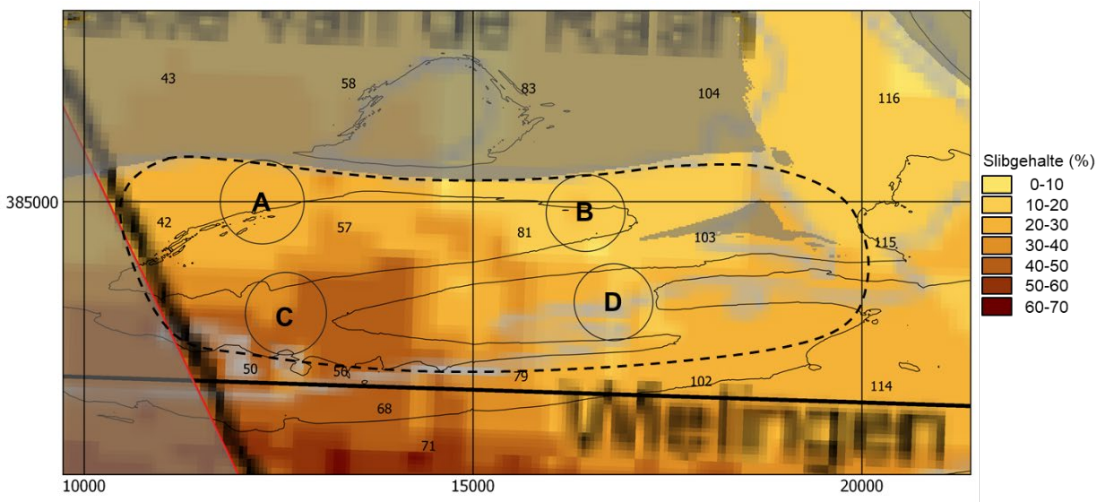
Uit de studie van Escaravage & van der Heijden (2021) bleek dat voornamelijk omgevingsfactoren zoals bodemverstoring (bodemschuifspanning en sedimentatie-erosie), diepte en sedimentsamenstelling een rol speelden in de gemeenschapsverdeling. De meeste omgevingsfactoren worden in de morfodynamiek sectie en Hoofdstuk 4 besproken met uitzondering van de slibgehaltes in het sediment.

De noordelijk gelegen monsterpunten, en mogelijke suppletielocaties A en B, ondervinden een lage sedimentatie en/of erosie over de periode 2011-2020 (Figuur 2.10). Dit in tegenstelling tot de zuidelijke zone van het interessegebied waar zowel sedimentatie als erosie op verschillende plekken in hoge mate optreedt. Zowel suppletielocatie C als D bevinden zich op een overgangsgebied met zowel sterke erosie- als sedimentatiepatronen.

De slibgehaltes in de bodem tonen een gradiënt van lage slibgehaltes in de (noord-)oostelijke zone van het interessegebied naar relatief hoge slibgehaltes in de (zuid-)westelijke zone rondom locatie C(Figuur 2.11; Van Lancker, 2007). De slibgehaltes komen in het oosten niet boven de 20% terwijl deze in het westen op kunnen lopen tot 50%. Deze data is een representatie van het slibgehalte in het eerste decennium van 2000. Met de grove resolutie van deze kaart wordt echter verwacht dat gevolgen van morfologische verandering, die sindsdien zijn opgetreden, op een kleinere schaal plaatsvinden dan waarneembaar met de resolutie van deze dataset.



Figuur 2.10 Sedimentatie-erosie voor de periode 2011 t/m 2018. De gestippelde polygoon betreft het interessegebied, het cijfer is de monsterlocatie, en de vier cirkels met letters zijn de mogelijke suppletielocaties.



Figuur 2.11 Slibgehalte in de bodem. De gestippelde polygoon betreft het interessegebied, het cijfer is de monsterlocatie, en de vier cirkels met letters zijn de mogelijke suppletielocaties. Figuur afgeleid van Van Lancker (2007).

3 Suppletievarianten

3.1 Uitgangspunten en vrijheidsgraden

Het uitganspunt is om de pilotsuppletie aan te leggen in de zone Vlakte van de Raan – Zuid (het omcirkelde gebied in Figuur 2.1). Het volume van de pilotsuppletie is 1,5 miljoen m^3.

De vrijheidsgraden zijn:

- de precieze locaties(s) binnen deze voorkeurszone
- de vorm van de suppletie
- het aantal suppletie-elementen
- het suppletie-oppervlakte
- de dikte van de suppletie

De laatste twee eigenschappen zijn gekoppeld. Bij een vast (totaal) suppletievolume is een grotere (kleinere) suppletie (qua oppervlakte) automatisch dunner (dikker).

3.2 Overwegingen

Bij het generen van de varianten van de pilotsuppletie in de Schelde-monding hebben de volgende overwegingen een rol gespeeld:

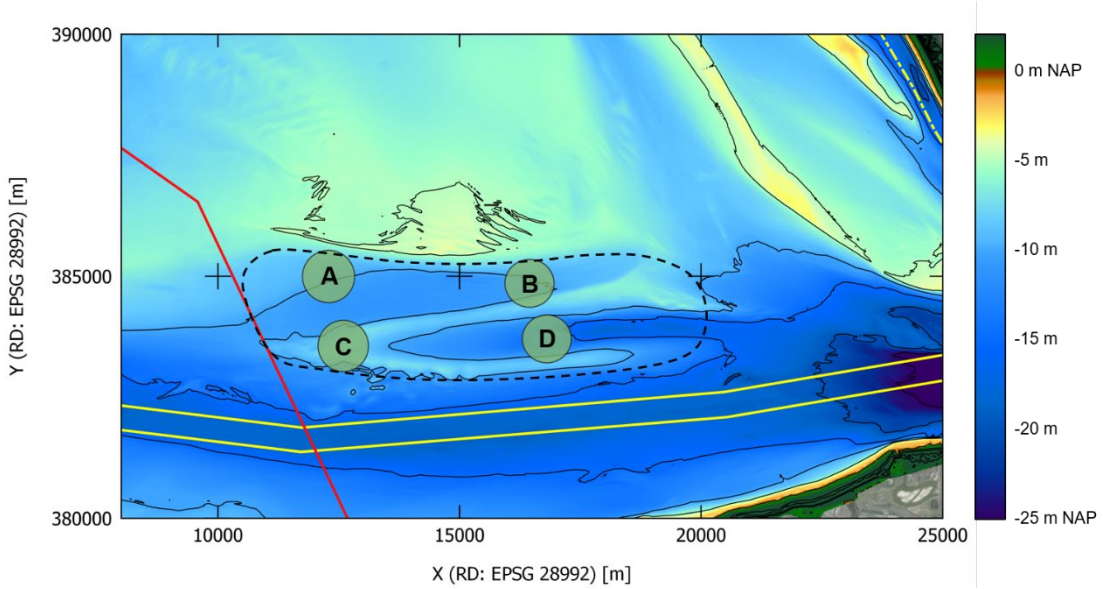
- De vervorming van de suppletie is het beste zichtbaar bij een “neutrale” ronde vorm.
- Veel, kleine en/of dunne suppletie-elementen: risico voor een zwak signaal dat moeilijk te meten is en waar je mogelijk weinig van leert.
- Eén grote en/of dikke suppletie: risico voor een grote, onnatuurlijk verstoring met ongewenste neveneffecten.
- VvdR-zuid vertoont veel ruimtelijke variatie. De bodemdiergemeenschap is heterogeen verdeeld. De bodemligging verandert op sommige gebieden relatief snel, terwijl andere niet erg morfologisch actief zijn. Verder spelen moeilijk-erodeerbare lagen in de ondergrond vooral een belangrijk rol in de ebschaar. Deze ruimtelijke verschillen onderstrepen het belang van een goede ruimtelijk dekking van de monitoring, en een beter begrip ervan zou gebaat zijn bij meerdere suppleties op verschillende, onderscheidende locaties binnen de zone VvdR-Zuid.

3.3 Varianten

Bovenstaande overwegingen tezamen met de kennis van de morfologie en ecologie zoals beschreven in Hoofdstuk 2 hebben geleid tot de volgende 4 mogelijke suppletielocaties (Figuur 3.1):

A. In het westen van de geul Spleet (Spleet-West). De gemiddelde bodemligging in 2020 is NAP-9,6 m. Ten opzichte van de andere locaties spelen golven hier een relatief belangrijke rol. De bodemligging is relatief stabiel, de benthos dichtheden zijn hier relatief hoog en de benthos soortenaantallen zijn gemiddeld.
B. In het oosten van Spleet (Spleet-Oost) met een gemiddelde bodemligging van NAP-9,6 m. Ten opzichte van de andere locaties spelen golven hier een relatief belangrijke rol. De bodemligging is relatief stabiel, en de benthos dichtheden en soortenaantallen zijn hier relatief hoog.
C. In de ondiepte in het verlengde van de ebschaar. Deze locatie duiden we voor het gemak aan met “ebschild”. Het is hier met NAP-8,7 m relatief ondiep, en er heeft hier de afgelopen jaren sterke sedimentatie plaatsgevonden. Het zandtransport wordt gedomineerd door het getij. De benthos dichtheden zijn hier relatief laag, de soortenaantallen zijn gemiddeld maar lijken sterk te variëren over tijd en ruimte.

D. In de ebschaar met een gemiddelde diepte van NAP-12,2 m. Dit is een getijgedomineerd gebied met een dagzomende harde laag dat zich onderscheidt door relatief lage benthos dichtheden en gemiddelde maar sterke variërende soortenaantallen.



Figuur 3.1 De 2020 bodemligging van het zuidelijke deel van de Schelde-monding met hierin aangeven de mogelijke locaties van de pilotsuppletie: A (Spleet-West), B (Spleet-Oost), C (ebschild) en D (ebschaar). De gestippelde lijn omcirkelt de voorkeurszone voor de pilotsuppletie, de rode lijn is de grens tussen Nederland en België en de vaargeulen zijn weergegeven met gele lijnen.

De suppletie-elementen zijn rond van vorm en hebben een oppervlakte van 0,75 km^2 oftewel 75 ha. Dit correspondeert met een cirkel met een straal van 490 m. Eén set van varianten bestaat uit 1 suppletie-element met een oppervlakte van 75 ha en een dikte van 2 m. De andere set betreft 2 suppletie-elementen met een dikte van 1 m, waarbij dus in totaal 150 ha wordt gesuppleerd.

Dit geeft, tezamen met de 4 locaties, de volgende 10 suppletievarianten:

- Varianten A, B, C, D (1 element met een dikte van 2 m)
- Varianten AB, AC, AD, BC, BD, CD (2 elementen met een dikte van 1 m)

4 Berekende effecten van de suppletievarianten op hydro- en morfodynamiek

4.1 Inleiding

De effecten van de aanleg van de suppletievarianten op de waterbeweging, de zandtransporten en de morfologische ontwikkeling in de Schelde-monding zijn berekend met een Delft3D model. Het morfodynamische model dat hiervoor is ingezet is beschreven door Van der Werf et al. (2021). Het betreft een diepte-gemiddeld (2DH) model waarmee de effecten van getij, wind en golven worden gesimuleerd.

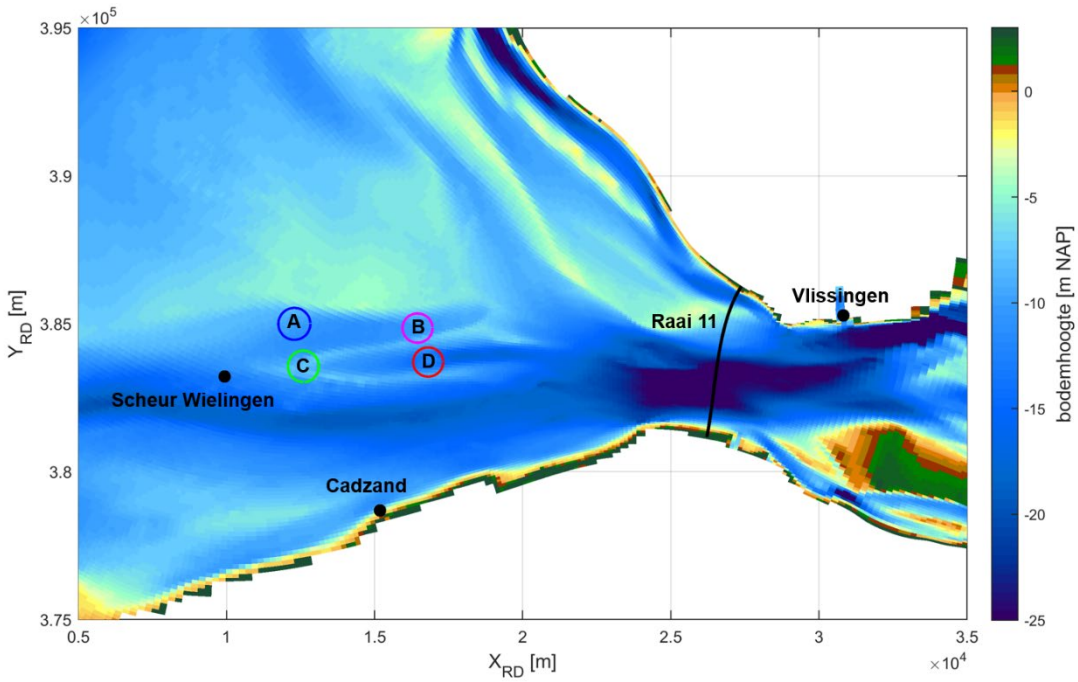
De initiële bodemligging is gebaseerd op lodingen tot en met 2017. De bodemopname van 2020 was namelijk nog niet beschikbaar toen het model werd opgezet. Verwacht wordt dat veranderingen in de bodemhoogte tussen 2017 en 2020 nauwelijks effect hebben op de modelresultaten betreffende de effecten van de aanleg van een suppletie en de conclusies die daaruit volgen. De gemeten veranderingen in de bodemhoogte tussen 2017 en 2020 zijn op en rond de suppletielocaties namelijk klein ten opzichte van de verstoring die de aanleg van een suppletie veroorzaakt.

In het morfodynamische model worden erosieresistente lagen in de ondergrond (Van der Vegt et al., 2021) meegenomen als zandpakket met een beperkte dikte. Daardoor wordt de erosie gestopt op plekken waar de erosieresistente lagen dagzomen (aan het oppervlak komen). Het model bevat één zandfractie met een mediane korreldiameter (D_{50}) van 200 µm. Deze korreldiameter is representatief voor het interessegebied in de Schelde-monding. Gevoeligheidsberekeningen voor de gekozen korreldiameter zijn gerapporteerd in Van Weerdenburg & Van der Werf (2021), waarin werd gevonden dat het berekende zandtransport in grootte afneemt voor een grotere korreldiameter, maar dat de transportpatronen vrijwel gelijk blijven.

Als simulatieperiode is de maand maart 2014 gekozen, omdat het berekende zandtransport in deze maand representatief is voor het jaargemiddelde zandtransport aan de zuidkant van de Vlakte van de Raan (Van Weerdenburg & Van der Werf, 2021). Door het gebruik van een morfologische acceleratiefactor (MorFac) wordt de morfologische ontwikkeling in modelsimulaties versneld. Er wordt een MorFac van 48 gebruikt. Hierdoor is de morfologische verandering die in de simulatieperiode van een maand wordt berekend representatief voor de morfologische ontwikkeling in vier jaar (simulatieperiode * MorFac = 1 maand * 48 = 4 jaar).

De verschillende suppletievarianten worden in het model geschematiseerd door een aanpassing van de bodemhoogte en het zandpakket dat beschikbaar is voor erosie. De eigenschappen van het suppletiezand zijn in het model gelijk aan de eigenschappen van het al aanwezige zand (D_{50} = 200 µm), wat mogelijk afwijkt van het werkelijk gesuppleerde materiaal. De effecten van de suppletie worden bepaald door de modelresultaten van een berekening met suppletie te vergelijken met een referentieberekening zonder suppletie. Suppleties op alle vier suppletielocaties zijn afzonderlijk met het model doorgerekend, zowel met een suppletiedikte van 1 m als met een suppletiedikte van 2 m. Daarnaast zijn twee combinaties van twee suppleties doorgerekend, om te beoordelen of de suppleties elkaars ontwikkeling beïnvloeden.

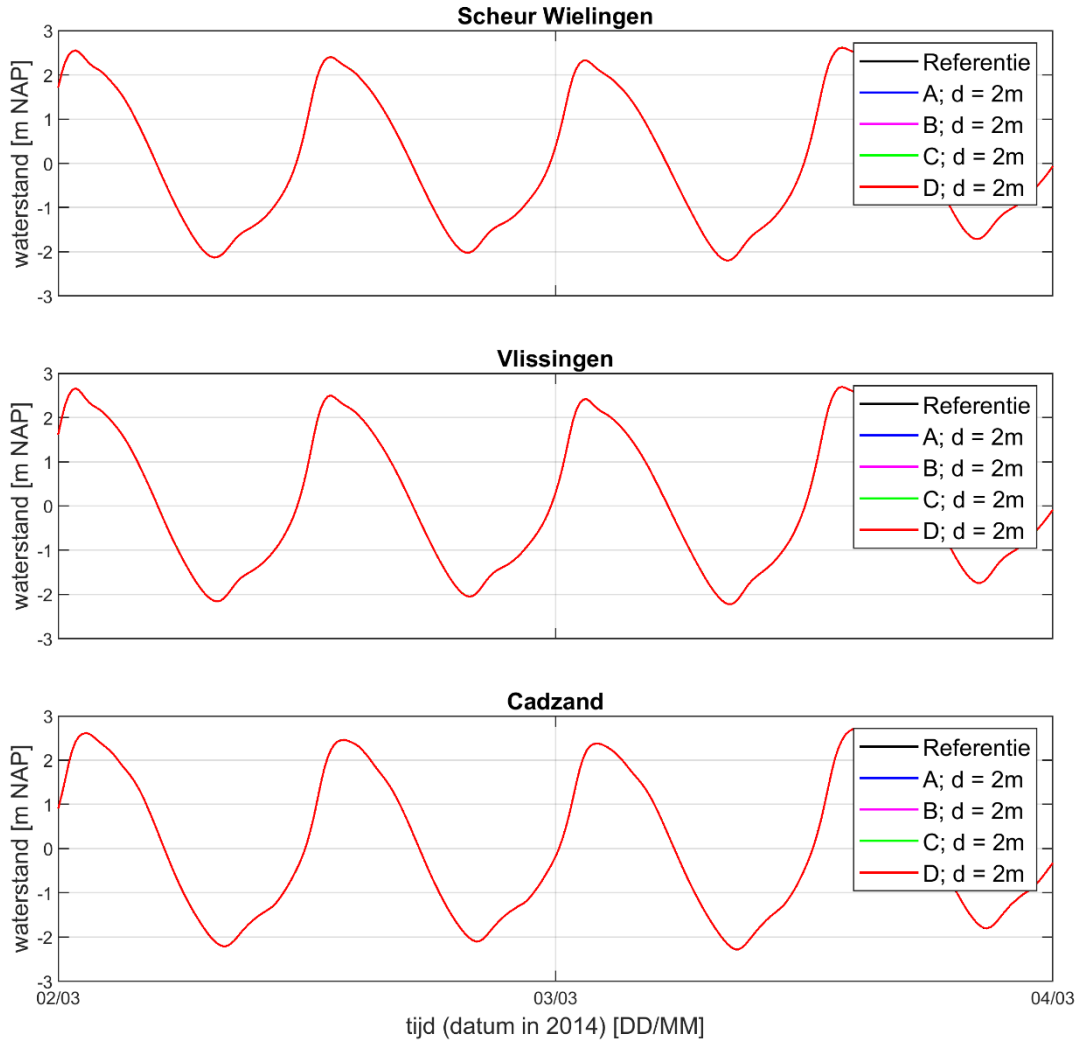
Modelberekeningen laten zien dat de verschillende suppletievarianten alleen een lokaal effect hebben op de waterbeweging in de Schelde-monding. In het vervolg van deze paragraaf wordt aan de hand van de berekende waterstanden en debieten aangetoond dat de grootschalige waterbeweging niet wordt beïnvloed. Op basis van de stroomsnelheden, golfhoogtes en bodemschuifspanningen wordt getoond welk gebied wel effect ondervindt van de suppletievarianten. De locaties van observatiepunten en de raai die hiervoor gebruikt worden zijn opgenomen in Figuur 4.1.



Figuur 4.1 Bodemligging in het Delft3D model van de Schelde-monding met daarop aangegeven de verschillende suppletielocaties (A, B, C en D), observatiepunten (Scheur Wielingen, Vlissingen en Cadzand) en een raai (Raai 11).

4.2.1 Waterstanden

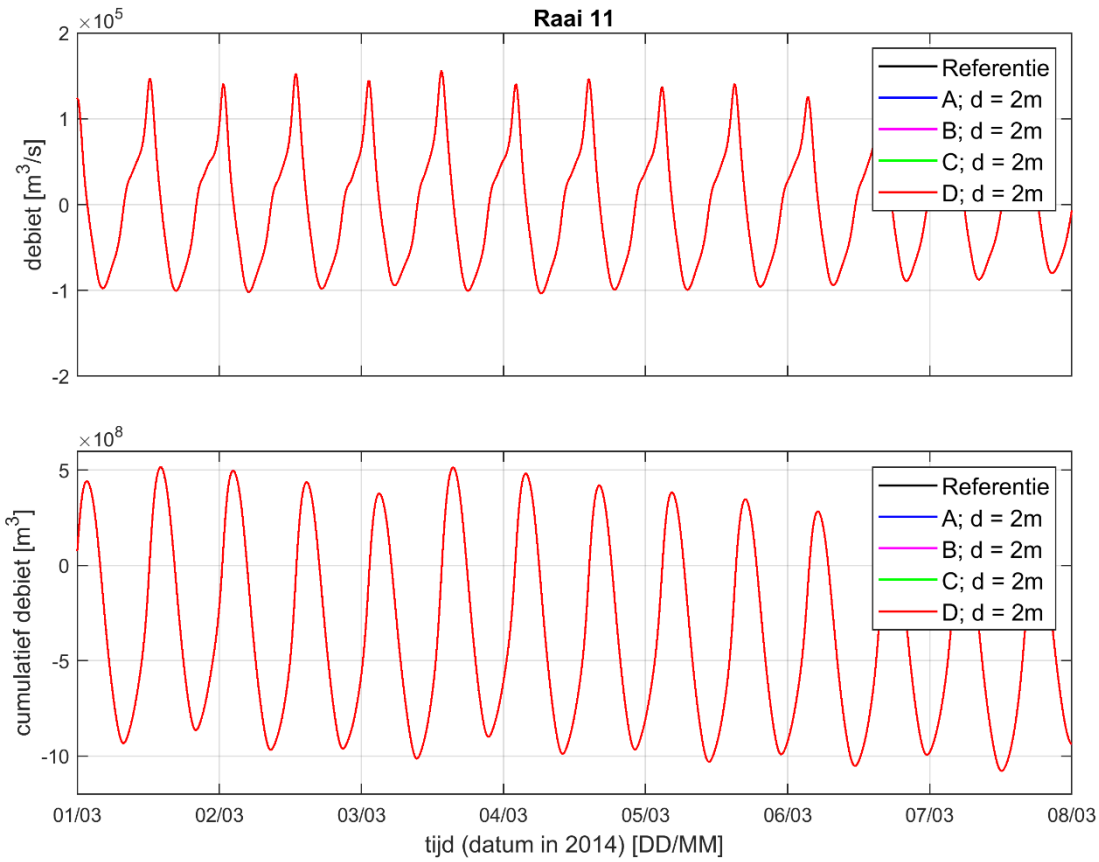
Direct na aanleg van een suppletie met een dikte van 2 m is het effect op de berekende lokale waterstand maximaal enkele millimeters ten opzichte van de referentieberekening zonder suppletie. In Figuur 4.2 is te zien dat de waterstanden in verschillende modelberekeningen niet te onderscheiden zijn op drie meetstations in de omgeving van de suppletielocaties (Scheur Wielingen, Vlissingen en Cadzand). Het effect op de waterstanden van een suppletie met een kleinere dikte (bijvoorbeeld 1 m) is nog kleiner.



Figuur 4.2 Berekende waterstanden bij Scheur Wielingen (boven), Vlissingen (midden) en Cadzand (onder) voor vijf verschillende modelberekeningen, namelijk de referentieberekening zonder suppletie (zwart) en berekeningen met een 2 m dikke suppletie op de noordwestelijke (A; blauw), noordoostelijke (B; roze), zuidwestelijke (C; groen) en zuidoostelijke (D; rood) suppletielocaties.

4.2.2 Debieten en stroomsnelheden

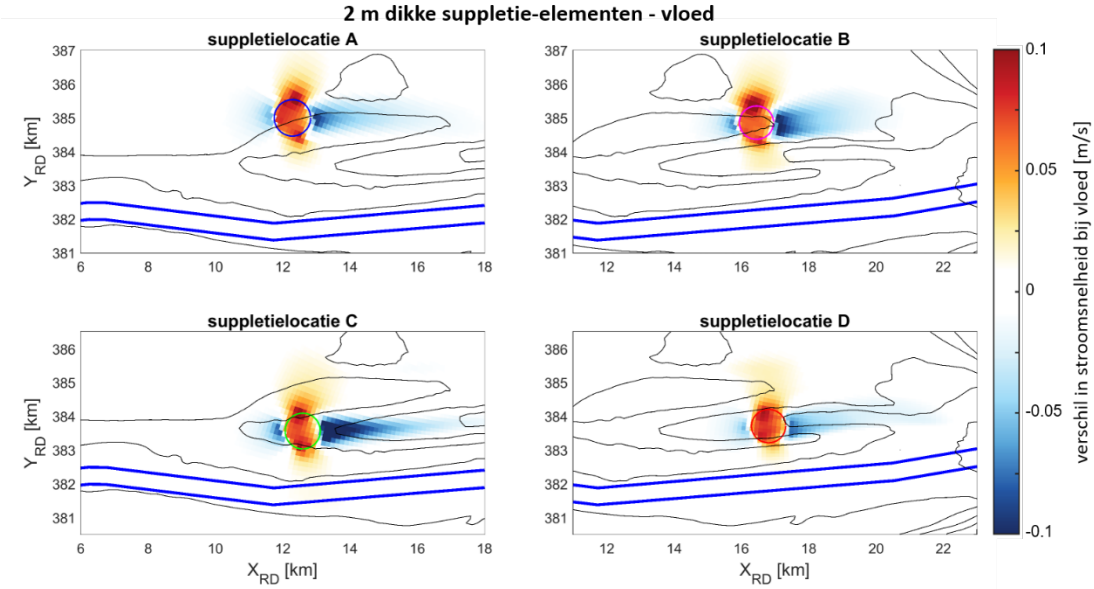
De uitwisseling tussen de Schelde-monding en de Westerschelde is een belangrijke karakteristiek voor de grootschalige waterbeweging in het estuarium. In Figuur 4.3 is te zien dat die uitwisseling niet verandert ten gevolge van varianten van de pilotsuppletie. Het suppletievolume van 1,5 miljoen m^3 is simpelweg te klein om een significante verandering in de in- en uitstroming van de Westerschelde te veroorzaken. Dat geldt ook voor het debiet door de Wielingen (d.w.z. geïntegreerd over de breedte van de geul), ten zuiden van de suppletielocaties.



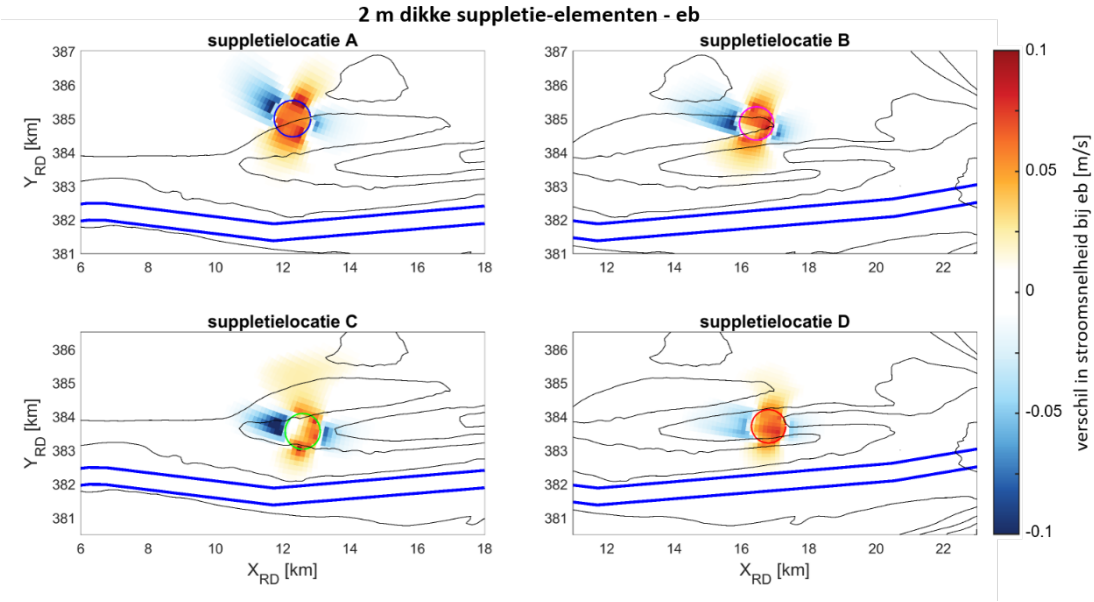
Figuur 4.3 Berekend instantaan (boven) en cumulatief (onder) debiet door Raai 11 voor vijf verschillende modelberekeningen, namelijk de referentieberekening zonder suppletie (zwart) en berekeningen met een 2 m dikke suppletie op de noordwestelijke (A; blauw), noordoostelijke (B; roze), zuidwestelijke (C; groen) en zuidoostelijke (D; rood) suppletielocaties. De vijf lijnen liggen zo dicht bij elkaar dat ze niet te onderscheiden zijn.

Lokaal wordt de stroming wel beïnvloed door de aanleg van de suppletie. Uit modelresultaten blijkt dat de maximale toename in de dieptegemiddelde snelheden bij een suppletiedikte van 2 m ongeveer 10 cm/s is langs de randen van het suppletiegebied (Figuur 4.4 en Figuur 4.5). Deze versnelling van de stroming wordt veroorzaakt doordat stroomlijnen naar elkaar toebuigen, omdat ze om de suppletie heen lopen. Op de suppletielocatie neemt de stroomsnelheid toe door een afname van de waterdiepte.

In de luwte van de suppletie (d.w.z. ten oosten van de suppletie bij vloed (Figuur 4.4) en ten westen van de suppletie bij eb (Figuur 4.5) nemen de stroomsnelheden met ongeveer 10 cm/s af. Op een afstand van ongeveer een kilometer van het suppletiegebied (ongeveer de diameter van de suppletie-elementen) is de invloed op stroomsnelheden al een stuk kleiner. Uit Figuur 4.4 en Figuur 4.5 volgt ook dat het effect van de suppletie op de stroomsnelheden in de vaargeul door de Wielingen klein is, namelijk maximaal 1 tot 2 cm/s bij een suppletie op locatie C. Bij een dunnere suppletie dan 2 m zijn de effecten op de stroming kleiner.



Figuur 4.4 Verschil in de dieptegemiddelde stroomsnelheid bij maximale vloedstroming in de Wielingen kort na aanleg van een suppletie met een dikte van 2 m voor vier suppletielocaties ten opzichte van de referentieberekening. Rode kleuren geven een toename van de stroomsnelheid weer als gevolg van de suppletie. De gekleurde cirkels tonen het gebied waarbinnen de suppletie is aangelegd. De blauwe lijn toont de vaargeul door de Wielingen en dieptecontouren tonen de initiële bodemligging in de referentieberekening (met een interval van 5 m NAP).



Figuur 4.5 Verschil in de dieptegemiddelde stroomsnelheid bij maximale ebstroming in de Wielingen kort na aanleg van een suppletie met een dikte van 2 m voor vier suppletielocaties ten opzichte van de referentieberekening. De blauwe lijn toont de vaargeul door de Wielingen.

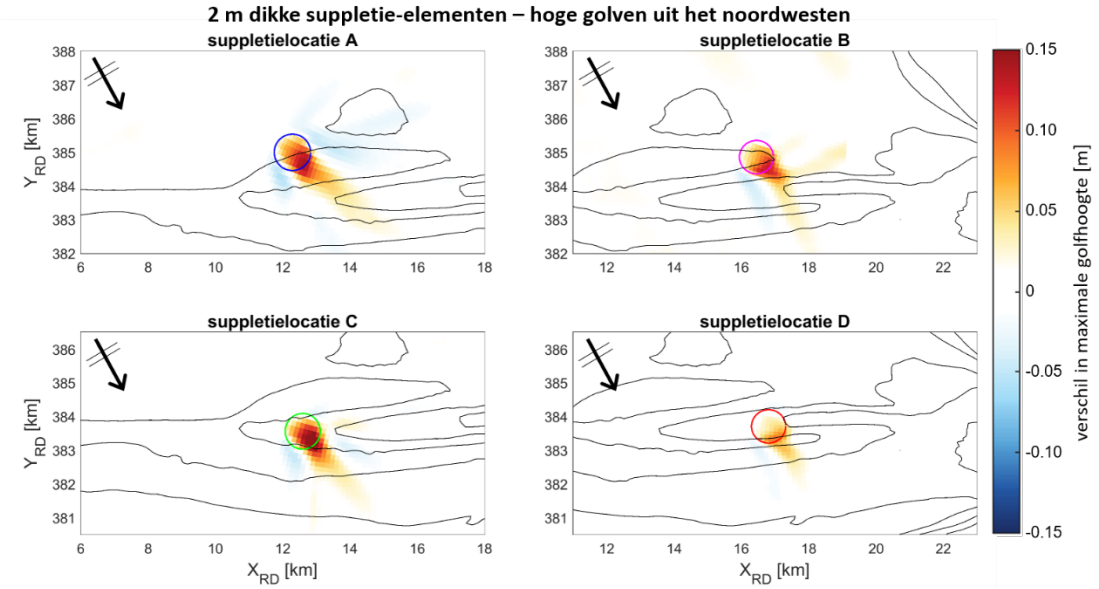
4.2.3 Golven

Met het model zijn acht verschillende golfcondities doorgerekend. Samen zijn deze acht golfcondities representatief voor het gemeten golfklimaat. Voor het simuleren van de morfologische ontwikkeling (Paragraaf 4.3) wordt een gewogen gemiddelde van de berekende bodemveranderingen voor de verschillende golfcondities gebruikt, waarbij de weegfactor is bepaald op basis van de kans van voorkomen van een bepaalde golfconditie. Om het effect van de suppletie op golfhoogtes te illustreren is het echter relevanter om te kijken naar de golfconditie met de grootste golfhoogte. Hoge golven worden namelijk eerder beïnvloed door een verstoring in de bodem (zoals een suppletie) dan lage golven, waardoor het effect van de suppletie op golfhoogtes het grootst zal zijn voor deze golfconditie met de grootste golfhoogte. De modelrandvoorwaarden behorende bij deze golfconditie zijn opgenomen in Tabel 4.1. In de schematisatie van het golfklimaat in acht condities treedt deze conditie 0,9% van de tijd op (Van der Werf et al., 2021). De golven komen uit het noordwesten en leiden tot een golfhoogte van 2,0 tot 2,5 m op de suppletielocaties.

Tabel 4.1 Randvoorwaarden van het model voor de golfconditie met de grootste golfhoogte bij de suppletielocaties. In totaal zijn 8 verschillende golfcondities doorgerekend, op basis van gemeten golfcondities bij Schouwenbank en windcondities bij Vlissingen in 2014. De golfboei bij Schouwenbank ligt bij de noordwestelijke rand van het modeldomein.

Golfhoogte [m]	Golfrichting [°N]	Golfperiode [s]	Windsnelheid [m/s]	Windrichting [°N]
3,38	331	8,2	8,1	332

Door de aanleg van een suppletie verandert de maximale berekende golfhoogte in de omgeving van de suppletielocaties, zoals te zien is in Figuur 4.6.



Figuur 4.6 Effect van suppletie-elementen met een dikte van 2 m op de maximale golfhoogte bij de golfconditie met de grootste golfhoogte (3,4 m op diep water) op de suppletielocaties, ten opzichte van de referentieberekening.

Door de afname van de waterdiepte in het suppletiegebied neemt de golfhoogte door het proces *shoaling* toe met maximaal ongeveer 0,15 m. Dit zorgt ook nog voor een toename van de maximale golfhoogte in de luwte van de suppletie. Hoe dieper de suppletielocatie, hoe kleiner het effect van de suppletie op de maximale golfhoogte. Dat wil zeggen dat het lokale

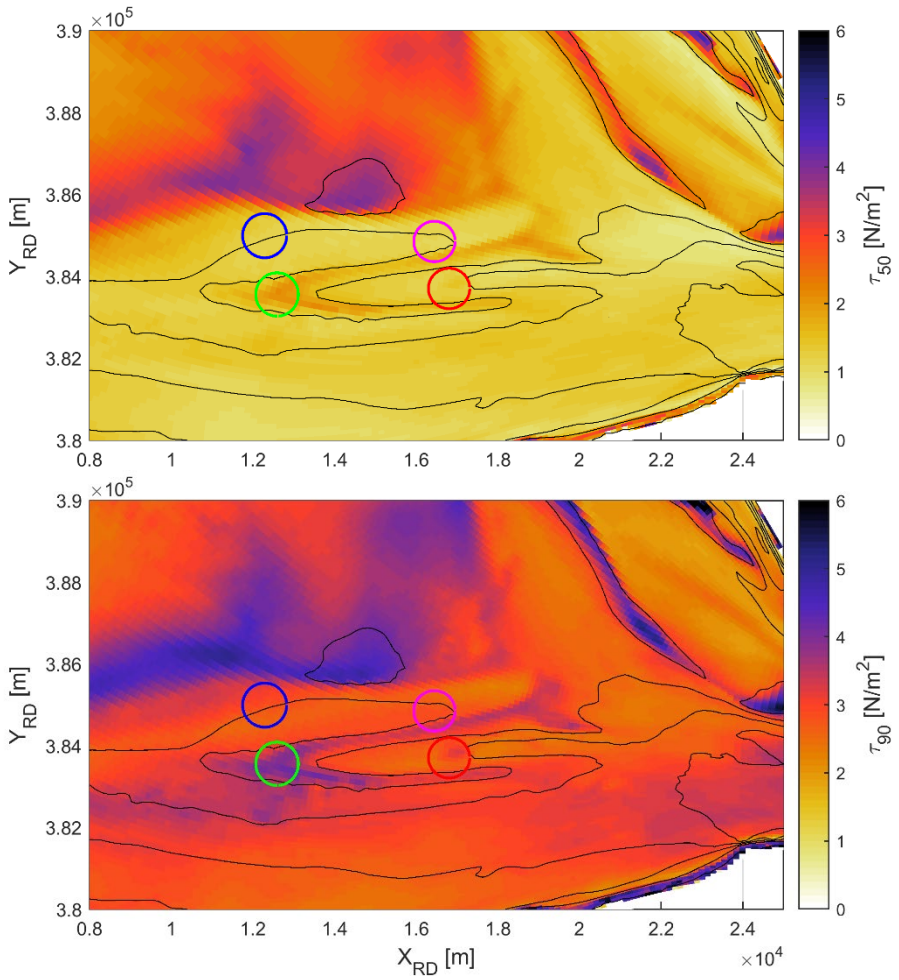
effect het grootst is bij een suppletie op locatie C en het kleinst bij een suppletie op locatie D. Naast de suppletielocatie neemt de maximale golfhoogte iets af. Bij de overige zeven golfcondities die met het model zijn doorgerekend is het effect op de golfhoogte kleiner.

Enkele kilometers vanaf de suppletielocatie heeft een suppletie geen effect meer op de maximale golfhoogte. Golven bij de kust (van bijv. Zeeuws-Vlaanderen) zullen dus niet wezenlijk veranderen ten gevolge van de aanleg van een suppletie.

4.2.4 Bodemschuifspanningen

De totale bodemschuifspanningen bevatten bijdragen van stroming en golven. Indirect laten de bodemschuifspanningen dus zien of de stroming en golfforcering veranderen ten gevolge van de suppletie. Daarnaast is de bodemschuifspanning een belangrijke omgevingsfactor voor bodemdiergemeenschappen, en daarom relevant voor ecologische aspecten van de pilotsuppletie.

Ter referentie worden de totale bodemschuifspanningen in de referentieberekening getoond in Figuur 4.7. Hierin zijn τ_{50} en τ_{90} de 50e en 90e percentielwaarde van de bodemschuifspanning, respectievelijk. De bodemschuifspanningen zijn relatief hoog op het meest ondiepe deel van de Vlakte van de Raan. Op de suppletielocaties zijn de berekende τ_{50} en τ_{90} ongeveer gelijk aan 1-2 N/m^2 en 2-4 N/m^2, respectievelijk. Op de ondiepere, zuidwestelijke suppletielocatie (C) zijn de berekende bodemschuifspanningen iets hoger dan op de andere drie locaties.

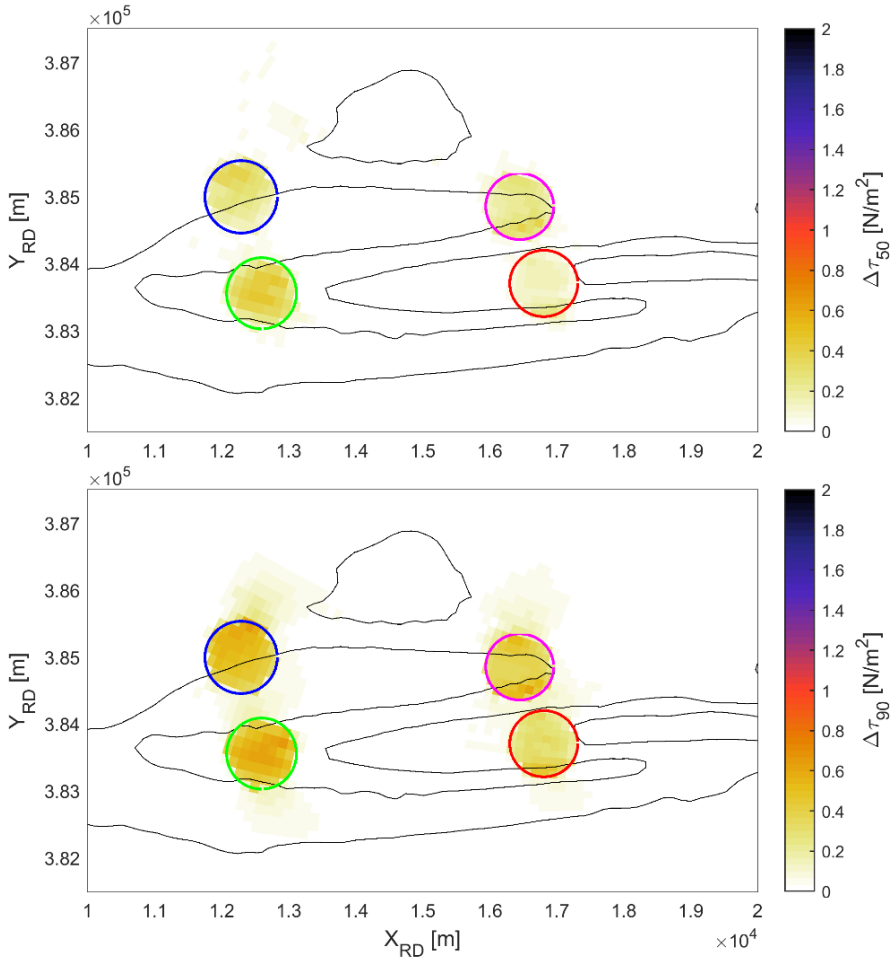


Figuur 4.7 Karakteristieke bodemschuifspanningen τ_{50} (boven) en τ_{90} (onder) in de referentieberekening zonder suppletie. De gekleurde cirkels tonen de suppletielocaties en dieptecontouren tonen de initiële bodemligging (met een interval van 5 m NAP).

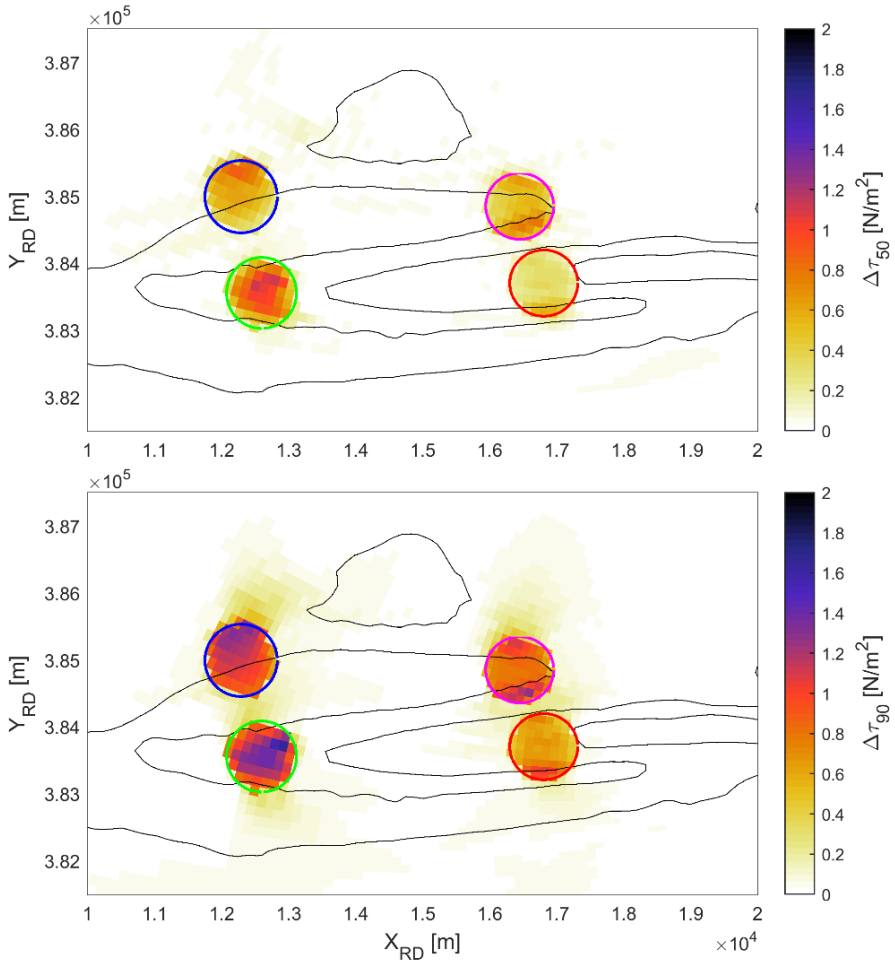
De berekende toename in de karakteristieke bodemschuifspanningen door suppleties met een dikte van 1 m is weergegeven in Figuur 4.8. De toename door suppleties met een dikte van 2 m is weergegeven in Figuur 4.9. Merk op dat de resultaten van vier modelberekeningen met verschillende suppletievarianten in één figuur ten opzichte van de referentieberekening zijn weergegeven, terwijl het losse modelberekeningen betrof.

De toename in bodemschuifspanning (τ_{50} en τ_{90}) is groter naarmate de suppletiediepte kleiner is. Dat betekent dat de bodemschuifspanning het meeste toeneemt door een suppletie op de zuidwestelijke locatie (C) en het minste door een suppletie op de zuidoostelijke locatie (D). Zoals te zien in Figuur 4.8 neemt τ_{50} lokaal ongeveer 0,2 tot 0,5 N/m^2 toe door een suppletie met een dikte van 1 m. τ_{90} neemt tot ongeveer 0,7 N/m^2 toe. De toename is maximaal ongeveer 10 tot 20% van de karakteristieke bodemschuifspanning in de referentieberekening. Het ecologische effect ervan wordt beschreven in paragraaf 5.1.2.

Bij een suppletiedikte van 2 m neemt τ_{50} lokaal toe met ongeveer 1 N/m^2 op de zuidwestelijke suppletielocatie. Op de twee noordelijke locaties is dat maximaal ongeveer 0,6 tot 0,8 N/m^2 en op de zuidoostelijke locatie niet meer dan 0,5 N/m^2. De toename in τ_{90} is ook bij een suppletiedikte van 2 m ongeveer 1,5 tot 2 keer zo groot als de toename in τ_{50}. Bij een suppletiedikte van 2 m is de toename in bodemschuifspanningen maximaal ongeveer 50% van de karakteristieke bodemschuifspanning in de referentieberekening.



*Figuur 4.8 Verandering in de karakteristieke bodemschuifspanningen τ_{50} (boven) en τ_{90} (onder) ten gevolge van suppleties binnen de gekleurde cirkels met een dikte van **1 m**. De figuur is samengesteld op basis van vier verschillende modelberekeningen ten opzichte van de referentieberekening.*



*Figuur 4.9 Verandering in de karakteristieke bodemschuifspanningen τ_{50} (boven) en τ_{90} (onder) ten gevolge van suppleties binnen de gekleurde cirkels met een dikte van **2 m**. De figuur is samengesteld op basis van vier verschillende modelberekeningen ten opzichte van de referentieberekening.*

4.3 Sedimenttransport en morfodynamiek

De ontwikkeling van de verschillende suppletievarianten wordt beoordeeld op basis van morfodynamische modelresultaten. Zoals in de vorige paragraaf al werd toegelicht is de berekende bodemverandering een gewogen gemiddelde van de berekende bodemverandering bij acht verschillende golfcondities. In deze paragraaf worden de resultaten besproken voor suppletie-elementen met een dikte van 1 m en 2 m. Bij een suppletiedikte van 1 m is een combinatie van twee locaties mogelijk. Voor twee mogelijke combinaties (westelijke locaties A en C; oostelijke locaties B en D) zijn modelresultaten opgenomen in deze paragraaf.

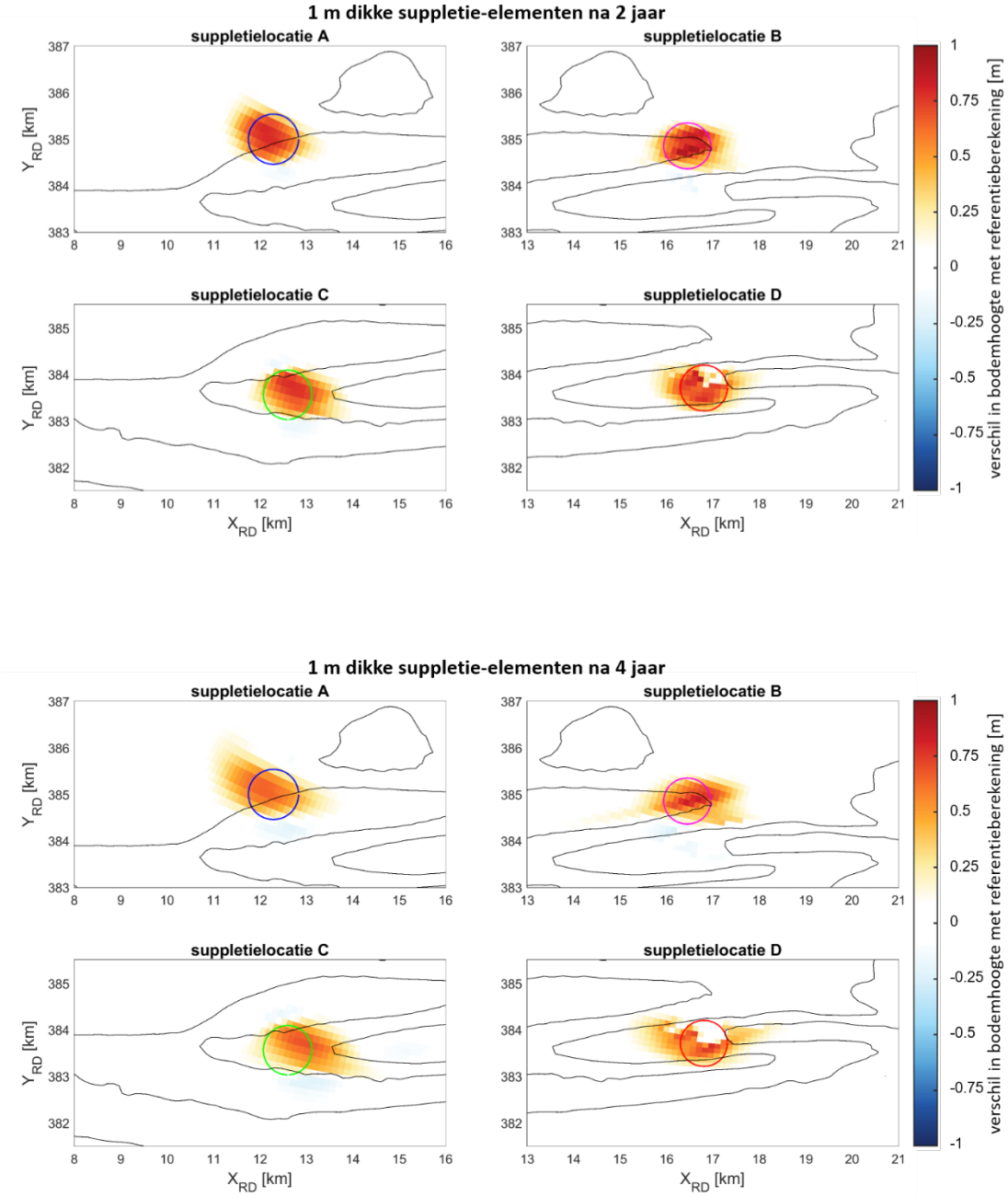
4.3.1 Ontwikkeling van suppletie-elementen met een dikte van 1 m

Figuur 4.10 toont de suppletie-elementen met een initiële dikte van 1 m na een morfodynamische simulatieperiode van 2 jaar. Uit deze figuur volgt hoe snel en in welke richting de elementen verplaatsen, in lijn met het netto zandtransport zonder ingreep (zie Figuur 2.6):

- De suppletie op locatie A verplaatst voornamelijk richting het noordwesten.
- De suppletie op locatie B verplaatst met het vloeddominante zandtransport in de Spleet richting het oosten.
- Ook de suppletie op locatie C verplaatst met het vloeddominante zandtransport richting het oosten.
- De suppletie op locatie D verplaatst zowel naar het westen als naar het oosten. Dit komt overeen met de divergerende residuele zandtransporten op deze locatie.

In een deel van het suppletiegebied op locatie D is de bodemhoogte al na 2 jaar weer gelijk aan de bodemhoogte in de referentieberekening. Dit is het gevolg van niet-erodeerbare lagen in de ondergrond. Door die lagen vindt hier geen erosie plaats, terwijl de transportcapaciteit wel groot genoeg is om zand te eroderen en weg te voeren. Zand dat hier door een suppletie wordt neergelegd erodeert al snel, totdat de harde lagen opnieuw dagzomen.

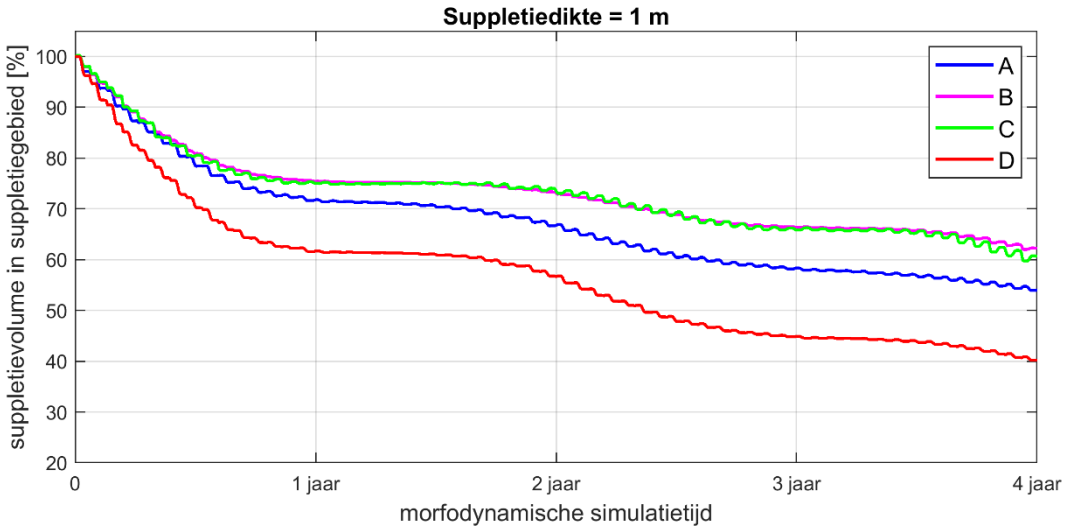
Figuur 4.11 toont de suppleties na een simulatieperiode van 4 jaar. Hieruit volgt dat de ontwikkeling van de suppleties die optreedt in de eerste twee jaar na aanleg doorgaat in de jaren daarna. Voor de suppletie op locatie D betekent dit dat de bodemhoogte in een groter deel van het suppletiegebied weer gelijk is aan de bodemhoogte in de referentieberekening.



Figuur 4.11 Berekende ontwikkeling van suppletie-elementen met een dikte van 1 m op de vier verschillende suppletielocaties na 4 jaar. De gekleurde cirkels tonen het gebied waarbinnen de suppletie is aangelegd. Dieptecontouren tonen de initiële bodemligging in de referentieberekening (met een interval van 5 m NAP).

De snelheid waarmee de suppletie-elementen verplaatsen volgt uit het volume zand dat op een bepaald moment nog in het suppletiegebied aanwezig is ten opzichte van de referentieberekening. Dit is weergegeven in Figuur 4.12. Initieel is het suppletievolume 0,75 miljoen m^3 bij een suppletiedikte van 1 m (100%). Na 2 jaar is nog ongeveer 65-70% van die hoeveelheid in het suppletiegebied aanwezig bij een suppletie op locatie A. Voor suppleties op locaties B en C is dat ongeveer 70-75% en voor een suppletie op locatie D is dat ongeveer 55-60%. Het gesuppleerde zand verplaatst dus het snelst vanaf locatie D, mede doordat de transportcapaciteit hier relatief hoog is door moeilijk-erodeerbare lagen in de ondergrond.

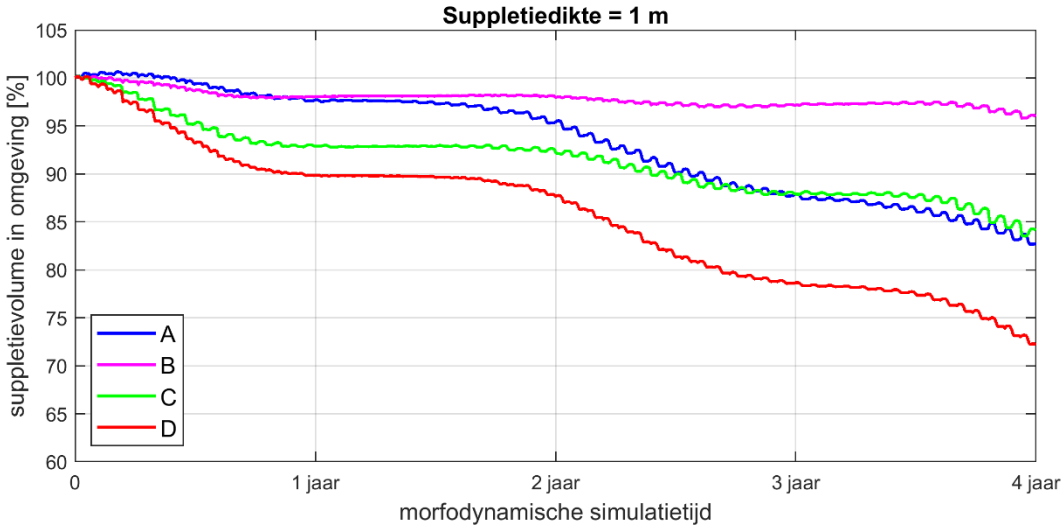
In jaar 3 en 4 is de verandering kleiner dan in jaar 1 en 2 omdat de verstoring kleiner is geworden. Na 4 jaar is de verhouding tussen het volume op de vier locaties echter nog vergelijkbaar met de situatie na 2 jaar.



Figuur 4.12 Suppletievolume dat gedurende de simulatietijd van 4 jaar nog aanwezig is in het suppletiegebied ten opzichte van de referentieberekening voor de vier suppletievarianten met een suppletiedikte van 1 m. De berekende bodemverandering is sterk in het 1e en 3e jaar, en minder sterk in het 2e en 4e jaar als gevolg van de doorgerekende springtij-doodtij cyclus (zie paragraaf 2.1).

Een verandering van het volume zand in het suppletiegebied is het gevolg van (1) zand dat wordt geërodeerd en door de stroming ver weg wordt gevoerd of (2) een verplaatsing van de suppletie, waardoor het zand niet meer in het suppletiegebied ligt. Figuur 4.13 toont het suppletievolume dat na verloop van tijd nog aanwezig in een zone met twee keer de straal van het suppletiegebied.

Voor suppletielocatie B geldt dat nog geen 5% van het suppletievolume verdwenen is uit het interessegebied; ondanks verspreiding en een verplaatsing van de suppletie richting het oosten blijft het zand liggen in de directe omgeving van de suppletielocatie. Voor suppletielocatie D geldt dat na 4 jaar 70-75% van het suppletievolume nog dicht bij de suppletielocatie ligt (d.w.z. binnen een straal van 1000 m van het middelpunt van de suppletie). De verspreiding van suppleties op locaties A en C ligt hier tussen in. Een groot deel van het gesuppleerde zand dat uit de aanlegzone verdwijnt, ligt na 4 jaar dus nog in de directe omgeving.



Figuur 4.13 Suppletievolume dat gedurende de simulatietijd van 4 jaar nog aanwezig is binnen een zone met 2 keer de straal van het suppletiegebied (1 km) voor de vier suppletievarianten met een suppletiedikte van 1 m ten opzichte van de referentieberekening.

Vaargeulonderhoud

De modelresultaten tonen aan dat de aanleg van de proefsuppletie op geen van de suppletielocaties zorgt voor grote hoeveelheden sedimentatie in de vaarweg door de Wielingen. Bij een 1 m dikke suppletie is het totale sedimentatievolume in de vaargeul ten zuiden van de suppletielocaties (tussen X_{RD} = 8 km en X_{RD} = 22 km, oppervlakte circa 7 miljoen m^2) na 4 jaar maximaal ongeveer 50 duizend m^3, oftewel 10-15 duizend m^3/jaar (Tabel 4.2). Dit is ten opzichte van een referentieberekening zonder suppletie en het geval bij een suppletie op locatie C. Bij de andere locaties is het effect op de vaargeul beduidend minder. Merk op dat ook erosie optreedt in delen van de vaargeul, maar dat hier alleen de totale sedimentatie wordt bepaald omdat de sedimentatie eventueel zorgt voor extra vaargeulonderhoud (d.w.z. als de streefdiepte door de sedimentatie wordt onderschreden). Vooruitlopend op de resultaten in het vervolg van dit hoofdstuk is het sedimentatievolume in de vaargeul bij een suppletiedikte van 2 m na 4 jaar maximaal 110 duizend m^3, oftewel 25-30 duizend m^3/jaar (locatie C; Tabel 4.2).

Tabel 4.2 Sedimentatievolume in de vaargeul ten zuiden van de suppletielocaties (tussen X_{RD} = 8 km en X_{RD} = 22 km, oppervlakte circa 7 miljoen m^2) in de eerste vier jaar na aanleg van de suppletie, relatief ten opzichte van een referentieberekening zonder suppletie.

	Sedimentatievolume vaargeul in 4 jaar tijd (x 10^3 m^3)			
	Suppletielocatie A	**Suppletielocatie B**	**Suppletielocatie C**	**Suppletielocatie D**
1 m suppletiedikte	20	20	50	30
2 m suppletiedikte	50	40	110	70

De sedimentatie die in de eerste 4 jaar na aanleg van de suppletie in de vaargeul optreedt, is deels een indirect gevolg van de suppletie. Dat wil zeggen dat het niet alleen het gesuppleerde zand is dat in de vaargeul terecht komt, maar dat subtiele veranderingen in de stroming ook kunnen leiden tot meer sedimentatie in delen van de vaargeul (d.w.z. ten opzichte van de referentieberekening zonder suppletie).

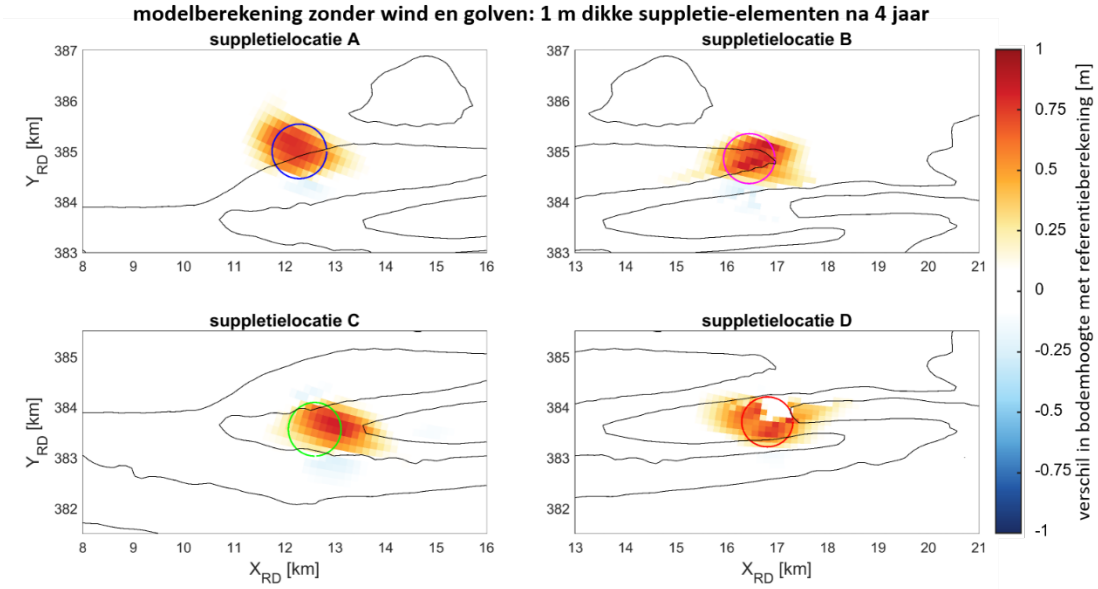
Sturende processen

Voor de bijdrage aan de kennisdoelstelling van de proefsuppletie is het relevant wat de sturende processen zijn van de ontwikkeling van de suppletie. Om daar alvast iets over te

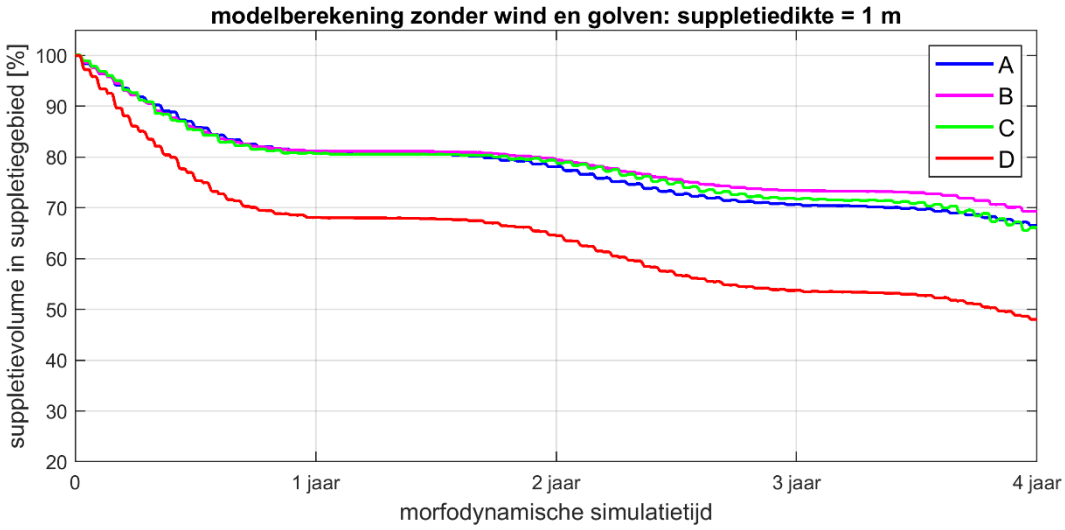
kunnen zeggen zijn ook morfodynamische modelberekeningen uitgevoerd waarbij de wind- en golfforcering zijn weggelaten. De waterbeweging en het zandtransport wordt in dat geval aangedreven door waterstandsvariaties door getij en opzet op de modelranden.

Figuur 4.14 toont de vier suppleties na 4 jaar volgens modelberekeningen zonder wind en golven. In vergelijking met de eerdere resultaten (Figuur 4.10) zijn de veranderingen die in de eerste jaren na aanleg van de suppletie hebben plaatsgevonden een stuk kleiner. De richting waar de vier suppleties naartoe verplaatsen is echter gelijk, en dus onafhankelijk van de forcering door wind en golven.

Wind en golven zogen ervoor dat het netto zandtransport vanaf de suppletielocatie toeneemt, waardoor het suppletiezand sneller verplaatst. Uit Figuur 4.15 volgt dat het effect van wind en golven het grootst is op locatie A. Met wind en golven is het suppletievolume hier na 4 jaar met 46% afgenomen, zonder wind en golven is dat slechts 33%. Het relatieve effect van wind en golven is het kleinst op locatie D (afname suppletievolume in 4 jaar van 60% naar 52% zonder wind en golven). De getijstroming op deze diepste van de vier locaties en de transportcapaciteit ten gevolge van harde lagen in de ondergrond zorgen ervoor dat het suppletiezand ook zonder wind en golven relatief snel wordt verplaatst.



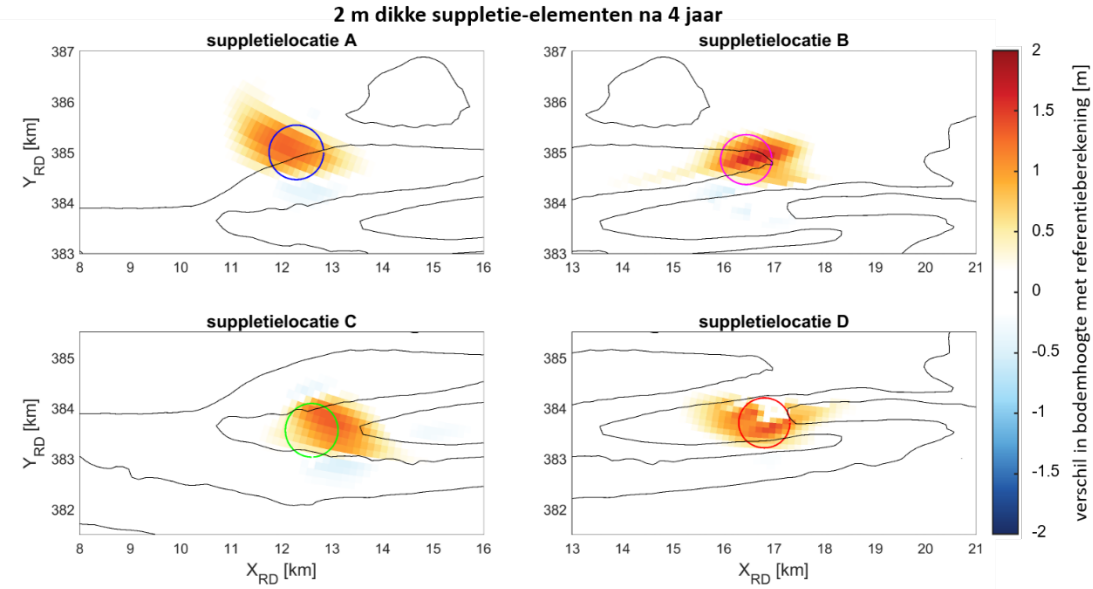
*Figuur 4.14 Berekende ontwikkeling van suppletie-elementen met een dikte van 1 m op de vier verschillende suppletielocaties na 4 jaar, **zonder wind en golven**. De gekleurde cirkels tonen het gebied waarbinnen de suppletie is aangelegd. Dieptecontouren tonen de initiële bodemligging in de referentieberekening (met een interval van 5 m NAP).*



*Figuur 4.15 Suppletievolume dat nog aanwezig is in het suppletiegebied ten opzichte van een referentieberekening voor de vier suppletievarianten met een suppletiedikte van 1 m op basis van een modelberekening **zonder wind en golven**.*

4.3.2 Ontwikkeling van suppletie-elementen met een dikte van 2 m

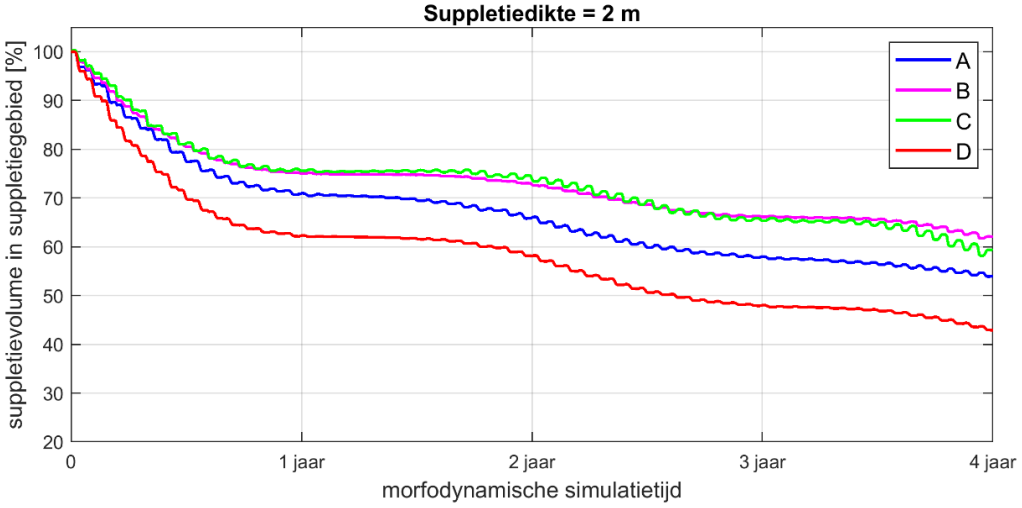
Met een suppletiedikte van 2 m zal het volledige suppletievolume (1,5 miljoen m^3 zand) op één van de vier locaties aangelegd worden. Figuur 4.16 laat de suppleties op de vier locaties zien na vier jaar morfologische ontwikkeling. De kleurenschaal is aangepast met de toename van de suppletiedikte ten opzichte van de kleurenschaal voor de 1 m suppleties in Figuur 4.11.



Figuur 4.16 Berekende ontwikkeling van suppletie-elementen met een dikte van 2 m op de vier verschillende suppletielocaties na 4 jaar. De gekleurde cirkels tonen het gebied waarbinnen de suppletie is aangelegd. Dieptecontouren tonen de initiële bodemligging in de referentieberekening (met een interval van 5 m NAP).

De berekende ontwikkeling van de 2 m dikke suppleties is zeer vergelijkbaar met de berekende ontwikkeling van de 1 m dikke suppleties. De veranderingen die optreden na aanleg van de suppletie zijn net als de initiële dikte van de suppletie ongeveer twee keer zo groot, waardoor de patronen in Figuur 4.16 vergelijkbaar zijn met de patronen in Figuur 4.11. Een 2 m dikke suppletie is in een kleiner deel van het suppletiegebied op locatie D na 4 jaar volledig

Figuur 4.17) is heel erg vergelijkbaar met de ontwikkeling van 1 m dikke suppleties (Figuur 4.12).



Figuur 4.17 Suppletievolume dat nog aanwezig is in het suppletiegebied ten opzichte van de referentieberekening voor de vier suppletievarianten met een suppletiedikte van 2 m.

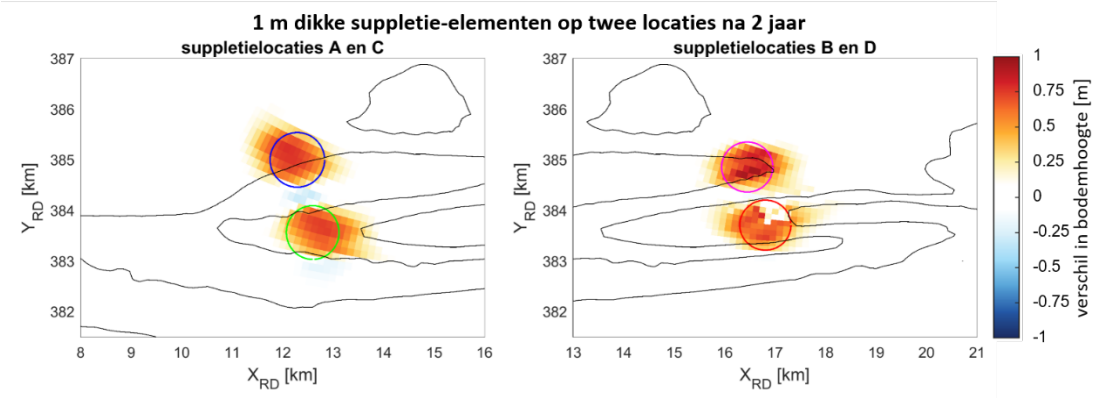
Een twee keer dikkere suppletie leidt dus niet tot een andere ontwikkeling. Veranderingen die optreden zijn ook ongeveer twee keer zo groot, en dus relatief ten opzichte van het suppletievolume gelijk.

4.3.3 Combinaties van suppletie-elementen

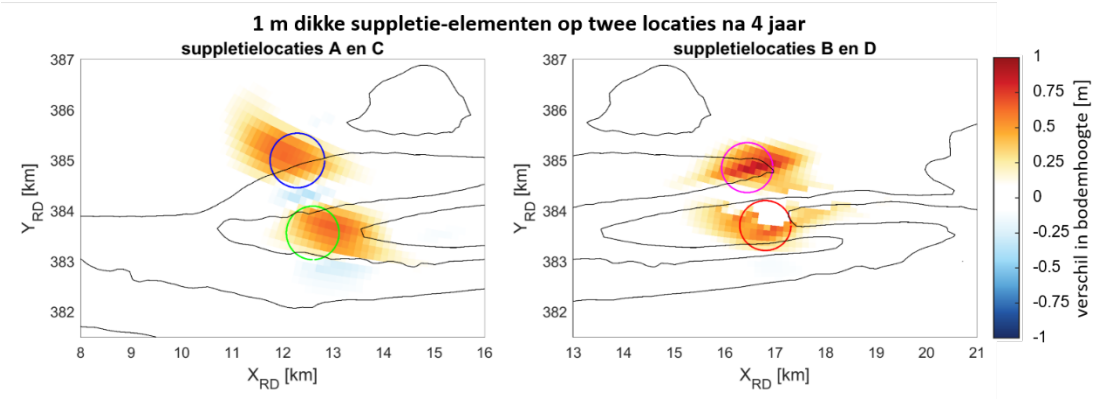
In het geval van 1 m dikke suppletie-elementen kan een combinatie van 2 suppleties aangelegd worden. Om te beoordelen of die twee suppleties elkaars ontwikkeling beïnvloeden is de ontwikkeling van twee combinaties doorgerekend, namelijk de twee westelijke locaties (A en C) en de twee oostelijke locaties (B en D). Omdat de suppleties in deze twee combinaties dicht bij elkaar liggen wordt verwacht dat onderlinge beïnvloeding relatief groot zal zijn.

Figuur 4.18 en Figuur 4.19 tonen de twee combinaties van 1 m dikke suppletie-elementen na 2 en na 4 jaar morfologische ontwikkeling, respectievelijk. De verschillen ten opzichte van de ontwikkeling van de afzonderlijke suppletie-elementen van 1 m dik (zie Figuur 4.10 en Figuur 4.11) zijn erg klein. De ontwikkeling van het suppletievolume in de tijd is ook vergelijkbaar met wat eerder is besproken voor de afzonderlijke elementen. Wel is tussen de twee westelijke suppletielocaties (A en C) wat erosie zichtbaar wanneer de twee suppleties tegelijk worden uitgevoerd, waarschijnlijk door convergentie van de stroming tussen de twee suppleties.

Op basis van deze resultaten mag verwacht worden dat twee suppletie-elementen elkaar niet of nauwelijks beïnvloeden op een tijdschaal van 4 jaar. De verwachte ontwikkeling van twee elementen die tegelijk worden aangelegd kan dus gelijk worden verondersteld aan een lineaire superpositie van 2 afzonderlijke suppleties (zie paragraaf 4.3.1).



Figuur 4.18 Berekende ontwikkeling van twee combinaties van twee suppletie-elementen met een dikte van 1 m na 2 jaar. De gekleurde cirkels tonen de gebieden waarbinnen de suppleties zijn aangelegd.



Figuur 4.19 Berekende ontwikkeling van twee combinaties van twee suppletie-elementen met een dikte van 1 m na 4 jaar. De gekleurde cirkels tonen de gebieden waarbinnen de suppleties zijn aangelegd.

4.4 Conclusies

De conclusies met betrekking tot het effect van de suppletievarianten op de hydro- en morfodynamiek op basis van de uitgevoerde modelberekeningen zijn als volgt:

- De suppletie heeft een nihil effect op de waterstanden, zowel lokaal als in de wijdere omgeving.
- De suppletie heeft een nihil effect op de debieten en het grootschalige stroombeeld.
- Op en direct naast de suppletie nemen de stroomsnelheden toe met ongeveer 10 cm/s. In de luwte vindt een even grote afname van de stroomsnelheid plaats.
- De suppletie heeft een beperkt effect op de golfhoogte. Ter plekke neemt de golfhoogte iets toe.
- Als gevolg van de veranderingen in de waterbeweging zorgt de suppletie voor een toename van de lokale bodemschuifspanningen. Dit effect is sterker voor een dikkere suppletie, en voor ondiepere suppletielocaties. De maximale toename varieert tussen de 10% en 50%.
- De afstand tussen de onderzochte locaties A t/m D is zodanig dat verwacht wordt dat twee suppletie-elementen elkaar niet of nauwelijks beïnvloeden op een tijdschaal van 4 jaar.
- De berekende ontwikkeling van de 2 m dikke suppleties is zeer vergelijkbaar met de berekende ontwikkeling van de 1 m dikke suppleties.
- Na 4 jaar ligt ongeveer 40-60% van het gesuppleerde zand nog op zijn plek en meer dan 70% nog in de directe omgeving. De verspreiding van suppletiezand gaat het snelste bij locatie D, in de ebschaar.
- De suppletie zorgt mogelijk voor 20-110 x 10^3 m^3 additionele sedimentatie in de vaargeul van de Wielingen in 4 jaar tijd.

5 Effectbepaling en afweging suppletievarianten

5.1 Criterium 1: bijdrage aan de kennisdoelstelling

5.1.1 Morfologie

De belangrijkste morfologische ontwikkeling in het zuidelijke gedeelte van de Vlakte van de Raan in de periode 1964-2020 is het ontstaan van de ebschaar tussen de Wielingen en de noordelijk gelegen getijgeul Spleet. De vorm en ontwikkeling van de ebschaar wijkt af van wat op basis van de theorie verwacht mag worden (Van Veen, 1950). Zo is de ebschaar relatief recht van vorm en stabiel qua ligging, en is deze ontstaan door de uitbouw van de bank vanuit het westen. Het eerste is zeer waarschijnlijk voor een deel gekoppeld aan moeilijk-erodeerbare lagen. Verder is het opvallend dat het berekende netto zandtransport in bepaalde delen van de ebschaar vloeddominant is.

De dominante morfologische ontwikkeling van de ebschaar en het feit dat deze nog niet goed wordt begrepen, maakt locatie D tot de meest interessante locatie in termen van verwachte morfologische kennisopbrengst. De interactie met moeilijk-erodeerbare lagen in de ondergrond speelt hier zeer waarschijnlijk een belangrijke rol. Door hier te suppleren kunnen we deze relatief onbekende interactie bestuderen. Verder is bij locatie D de richting van het netto zandtransport niet heel eenduidig. De subtiele balans van eb- en vloedtransporten bepaalt de netto zandtransporten, en hiermee de morfologische ontwikkeling. Suppleren op deze locatie gaat een indicatie geven van de grootte en richting is van het netto zandtransport.

Dit neemt niet weg dat er ook verwachte kennisopbrengst is bij een suppletie op één van de andere drie locaties. Na locatie D, is locatie A het meest interessant vanwege de relatief sterke invloed van golven en wind. De kennis en modelleercapaciteit van morfodynamiek onder meer “gemengde forcering“ is namelijk minder groot dan in het geval van getijgedomineerde omstandigheden.

Het morfologische signaal bij 1 “dikke” suppletie van 2 m is sterker, waardoor deze minder snel wordt vertroebeld door meetonnauwkeurigheden en beter te onderscheiden is van de autonome morfologische ontwikkeling. Het voordeel van “dunnere” suppleties van elk 1 m op 2 verschillende locaties is dat er bredere kennis wordt opgedaan van een heterogeen gebied.

5.1.2 Ecologie

In het zuidelijke gedeelte van de Vlakte van de Raan wordt een grote variatie in bodemdiergemeenschappen waargenomen, zowel in de ruimte als in de tijd. Desondanks lijken er trends waarneembaar in de verdeling van bodemdiergemeenschappen. In het westen van het interessegebied bevinden zich gemeenschappen die relatief gezien een langere levensduur hebben, terwijl in het oosten gemeenschappen worden aangetroffen die vaak gekoppeld worden aan hoogdynamische gebieden.

De voorkeur gaat uit naar 2 suppleties van elk 1 m. De reden om twee suppleties te plaatsen is het feit dat dit de vergelijking in de response van bodemdiergemeenschappen op de suppletie mogelijk maakt. Denk hierbij aan de verstoring maar ook de rekolonisatie van een gesuppleerd gebied.

Aan de hand van de globale schatting van de bodemdiergemeenschappen zou het zeer interessant zijn, en de meeste ecologische kennis opbrengen, om locaties A en D te vergelijken. Locatie A omdat deze zich tussen twee schelpdierengemeenschappen in lijkt te

bevinden en dus zeer waarschijnlijk ook uit een schelpdierengemeenschap bestaat. Ook heeft deze gemeenschap waarschijnlijk een relatief gemiddeld tot hoge dichtheid en soortenaantal. Locatie D omdat het voornamelijk de meer dynamische en mobiele gemeenschappen zijn die hier voor lijken te komen (d.w.z. krabben-gemeenschap). Daarnaast heeft deze gemeenschap een relatief lage dichtheid en een sterk variërend soortenaantal. De vergelijking is interessant omdat het twee tegenstellende gemeenschappen betreft. Een gemeenschap bij de ondiepere locatie A die stabiel lijkt en waar meerdere (schelpdier)soorten zich bevinden in relatief hoge aantallen met daartegenover een gemeenschap bij de dieper gelegen locatie D die bestaat uit meer mobiele (krabachtige) soorten en een relatief lage, maar ook sterk over de tijd variërende, dichtheid en soortenaantal heeft. Daarnaast onderscheiden locatie A en D zich door hun tegenstellingen wat betreft abiotische factoren: diepte (Figuur 2.1), sedimentatie-erosie (Figuur 2.10) en slibgehaltes (Figuur 2.11).

Wat betreft de enkele suppleties gaat de voorkeur uit naar locaties A en D boven de locaties B en C. De variabiliteit in gemeenschappen bij locaties B en C geven de doorslag, het is hierdoor moeilijk vooraf te bepalen wat de kennisdoelstelling is.

Daarnaast speelt bij locatie C de nabijheid van het lopende onderzoek in het VIBEG gebied ten zuiden van deze locatie, waarbij gekeken wordt naar de effecten van bodemberoerende visserij (VIBEG, 2011; Staatscourant, 2014). In dit gebied vindt sinds 2011 geen visserij meer plaats, het betreft een ongestoord gebied ("Een gebied dat in haar ontwikkeling niet wordt beïnvloed door menselijke activiteiten."). Het is daarom af te raden een suppletie in de nabijheid van dit gebied aan te leggen en daarmee de bodemdieren te verstoren.

Bij locatie A en D is er een grotere zekerheid in deze gemeenschap, respectievelijk een stabiele en mobiele gemeenschap, waardoor er gerichter kennisvragen kunnen worden gesteld. Bij locatie D wordt een toename in de bodemschuifspanning verwacht na aanleg van de suppletie (Figuur 4.8, Figuur 4.9). Hierbij is het interessant om te onderzoeken hoe een mobiele gemeenschap hierop reageert, bijvoorbeeld kijkend naar de rekolonisatie en welke soorten zich opnieuw vestigen. Bij locatie A is het interessant om te onderzoeken hoe een (stabiele en niet-mobiele) gemeenschap reageert op een suppletie en op de veranderingen in hydro-morfodynamiek als gevolg van de suppletie. Kennisvragen die daarbij horen zijn bijvoorbeeld: hoe lang duurt de rekolonisatie? En: komen dezelfde soorten terug of vindt er eerst een periode plaats waarin voornamelijk pionierssoorten zich vestigen?

5.2 Criterium 2: effecten op hoofdfuncties

5.2.1 Veiligheid

Zoals beschreven in paragraaf 4.2 is het effect van de suppleties op de getijslag erg klein (enkele millimeters). De golfhoogte en de stroomsnelheden worden enkel in de directe omgeving van de suppletie beïnvloed. Dit betekent dat de hydraulische omstandigheden bij de kust niet veranderen. Hiermee is het de verwachting dat de voorgestelde pilotsuppletie (ongeacht welke variant) geen significant effect zal hebben op de hoofdfunctie *Veiligheid*.

5.2.2 Natuurlijkheid

De suppleties zullen naar verwachting voornamelijk lokale effecten hebben op de bodemdiergemeenschappen, namelijk abrupte verstoring en bedelving binnen de omvang van de suppletie. Een suppletie heeft dan ook een negatief gevolg op de hoofdfunctie *Natuurlijkheid*. Hierbij zal het verschil in effect van een "dunne" suppletie of een "dikke" suppletie minimaal zijn. Per extra suppletie zal er sprake zijn van een toename aan negatieve effecten op de functie *Natuurlijkheid* en dus resulteren 2 suppleties met een groter totaal oppervlakte in een grote verstoring dan 1 enkele suppletie.

Mogelijke suppletielocaties verschillen echter ook in soortendichtheid, wat gevolgen heeft voor de effecten op hoofdfunctie *Natuurlijkheid*. Locaties C en D zullen waarschijnlijk minder negatieve effecten ondervinden dan locaties A en B vanwege de lagere soortendichtheid die locaties C en D verwacht wordt. Vanuit de hoofdfunctie *Natuurlijkheid* is er daarom een voorkeur voor een enkele suppletie op locatie C of D.

5.2.3 Toegankelijkheid

De suppleties hebben enkel een lokaal effect op de stroming: de veranderingen in de maximale stroomsnelheden in de vaargeul Wielingen zijn erg gering (paragraaf 4.2).

Volgens de modelberekeningen is na 4 jaar ca. 35-60% van het gesuppleerde sediment uit de initiële contour getransporteerd. Minimaal de helft daarvan ligt nog binnen een afstand van 500 m vanaf de initiële contour. Het suppletiezand verspreidt hoofdzakelijk in de richting van de getijstroming, min of meer parallel aan de vaargeul. De suppleties liggen op een afstand van ruim een kilometer van de vaargeul. Daarom is het de verwachting dat het effect van de suppleties op het onderhoudsvolume beperkt zal zijn (paragraaf 4.3). Locatie C ligt het dichtst bij de vaargeul, waardoor een suppletie hier waarschijnlijk meer effect heeft op de sedimentatie in de Wielingen dan de andere locaties.

Tijdens de aanleg van de pilotsuppletie en tijdens de monitoring kan er beperkte hinder voor de scheepvaart door de Wielingen optreden. Dit geldt voor alle varianten in min of meer vergelijkbare mate.

Samenvattend wordt ingeschat dat de voorgestelde pilotsuppletie een (zeer) beperkt (negatief) effect zal hebben op de hoofdfunctie *Toegankelijkheid*.

5.3 Criterium 3: uitvoering

Betreffende de uitvoeringsaspecten van de pilotsuppletie wordt onderscheid gemaakt tussen de aanleg en de monitoring van de suppletie.

5.3.1 Aanleg

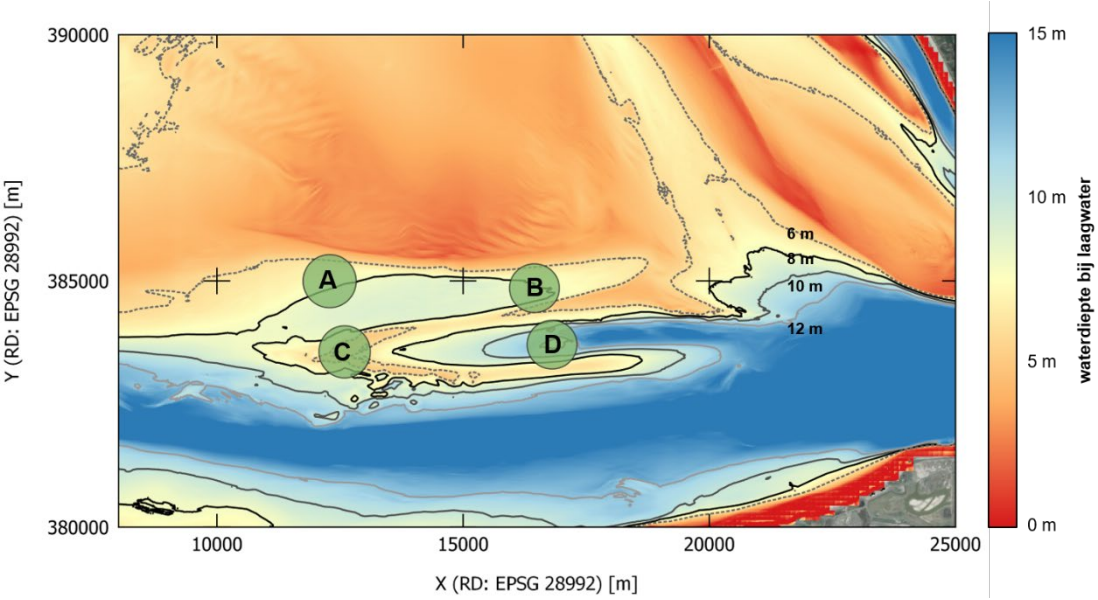
De suppletielocaties zijn onderscheidend in de aanlegdiepte en de vaarafstand vanaf de winlocatie van het suppletiezand. Hierbij wordt aangenomen dat de hydrodynamische condities niet leiden tot problemen gedurende de aanleg en dat de hydrodynamische condities op de verschillende suppletielocaties niet onderscheidend zijn voor de uitvoering.

Om de pilotsuppletie aan te kunnen leggen met een middelgrote hopper (3000 tot 3500 m^3 zand per lading) is een minimale waterdiepte van ongeveer 8 m nodig, onafhankelijk van het getij. Als de waterdiepte kleiner is kan minder zand per lading vervoerd worden of kan alleen gedurende een deel van de getijcyclus (d.w.z. bij grotere waterdiepte) gestort worden. De aanleg verloopt dan minder efficiënt, wat zal leiden tot hogere aanlegkosten.

Figuur 5.1 toont een kaart met de waterdiepte bij laagwater, met daarop aangegeven de vier suppletielocaties. Rond de suppletielocaties is de laagwaterstand ongeveer NAP-2,1 m.

- De noordwestelijke suppletielocatie (A) is bereikbaar via de opening in de Spleet naar de Wielingen. De aanlegdiepte varieert van ongeveer 5 m waterdiepte bij laagwater aan de noordkant tot ongeveer 9 m aan de zuidkant. Door de beperkte waterdiepte (< 8 m bij laagwater) in een deel van de suppletielocatie kan minder efficiënt gewerkt worden tijdens de aanleg.
- De noordoostelijke suppletielocatie (B) is voor hoppers met een diepgang van ongeveer 8 m bereikbaar via de Spleet. Op de suppletielocatie is de waterdiepte bij laagwater ongeveer 6 tot 9 m.

- De zuidoostelijke suppletielocatie (D) is voor hoppers bereikbaar via de ebschaar. In bijna het hele gebied is de minimale waterdiepte vóór aanleg van de suppletie groter dan de gewenste 8 m. Alleen de zuidelijke rand van de suppletielocatie ligt voorbij de 8 m waterdieptecontour (zie Figuur 5.1).



Figuur 5.1 Waterdiepte bij laagwater op basis van de bodemligging in lodingen in 2020 en de laagst berekende waterstand in maart 2014. Groene cirkels tonen de vier suppletielocaties. De getekende contouren zijn 12 m (lichtgrijze lijn), 10 m (donkergrijze lijn), 8 m (zwarte lijn) en 6 m (gestippelde grijze lijn) waterdiepte bij laagwater.

Op dit moment is het nog niet duidelijk waar het suppletiezand gewonnen zal worden. Het beoordelen van de suppletievarianten op basis van de vaarafstand tot de suppletielocatie is daarvan afhankelijk. Mogelijk wordt het zand gewonnen op zandwinlocaties op de Noordzee of is het afkomstig van baggerwerkzaamheden in het Schelde estuarium.

Winlocaties op de Noordzee met voldoende zand voor de pilotsuppletie liggen voor de kust van Walcheren of ten westen van de Oosterschelde. In dat geval, zal het zand via de Wielingen naar de zuidkant van de Vlakte van de Raan gebracht worden. De vaarafstand tot de twee westelijke suppletielocaties is dan vergelijkbaar. De vaarafstand tot de noordoostelijke suppletielocatie is 4 tot 5 km langer. Om de zuidoostelijke suppletielocatie vanuit het westen te bereiken, moet bij laagwater om de bank tussen de Wielingen en de ebschaar heen gevaren worden, waardoor de vaarafstand ongeveer 5 km toeneemt. Bij hoogwater kunnen hoppers waarschijnlijk over deze bank heen varen, waardoor de vaarafstand ook slechts 4 tot 5 km langer is dan de vaarafstand tot de westelijke suppletielocaties.

Als het suppletiezand ten oosten van de suppletielocaties gewonnen gaat worden (onderhoudsbaggerwerk in de Westerschelde), dan is de zuidoostelijke suppletielocatie het beste te bereiken, namelijk via de ebschaar. De vaarafstand tot de zuidwestelijke locatie is ongeveer 5 kilometer langer. De twee noordelijke suppletielocaties zijn bij hoogwater te bereiken door vanuit de ebschaar door te steken naar de Spleet (zie Figuur 5.1). In dat geval is de vaarafstand ongeveer 3 tot 5 km langer dan de vaarafstand tot de zuidoostelijke locatie. Waarschijnlijk is het bij laagwater niet mogelijk vanuit de ebschaar door te steken naar de

Spleet. In dat geval moet omgevaren worden via de doorgang tussen de Wielingen en de Spleet, waardoor de vaarafstand tot ongeveer 10 km toeneemt.

5.3.2 Monitoring

De uitvoeringsaspecten van de monitoring die verschillend zijn voor de suppletievarianten hebben betrekking op de monitoring die direct samenhangt met de suppletie. De totale monitoring van het kennisprogramma zal namelijk een groter gebied omvatten dan alleen het suppletiegebied. Die monitoring is tot op zekere hoogte onafhankelijk van de keuze van een suppletievariant, en is daarom minder relevant voor de afweging van suppletievarianten.

De vloot die de monitoring gaat uitvoeren vertrekt waarschijnlijk vanuit Vlissingen. De vaarafstand van Vlissingen tot de suppletielocatie is daarom het belangrijkste onderscheidende aspect van de suppletielocaties. Ervan uitgaande dat de waterdiepte voldoende is voor meetschepen om in een rechte lijn van Vlissingen naar de suppletielocatie te varen is de vaarstand tot de twee oostelijke suppletielocaties ongeveer 15 km en de vaarafstand tot de twee westelijke suppletielocaties ongeveer 19 km. Bij een meetcampagne bij de oostelijke suppletielocaties is dus ongeveer 20% minder tijd nodig om vanuit Vlissingen op de locatie te komen dan bij een meetcampagne bij de westelijke suppletielocaties.

Bij twee elementen zal monitoring (bijv. gedetailleerde bodemopnames en ecologische bemonstering) op beide suppletielocaties nodig zijn om de ontwikkeling van de suppletie en het effect op de omgeving te volgen. De monitoringsinspanning is hierdoor bij twee suppletie-elementen op verschillende locaties groter dan bij één suppletie-element.

De suppletielocaties liggen minimaal 1 km vanaf de Wielingen. Daardoor zal scheepvaart door de Wielingen op geen van de suppletielocaties een beperking vormen voor de monitoring.

5.4 Integrale afweging

Op basis van de voorafgaande overwegingen is het afwegingskader voor de 10 suppletievarianten ingevuld (Tabel 5.1). Dit is gedaan op een kwalitatieve manier met de volgende betekenis van de scores:

- Kennisdoelstelling: (+) redelijk bijdrage, (++) goede bijdrage, (+++) zeer goede bijdrage.
- Effecten op de functies: (---) relatief sterk negatief, (--) negatief c.q. significante risico's daarop, (-) enigszins negatief c.q. kleine risico's daarop, (0) verwaarloosbaar.
- Uitvoering: (++) relatief gemakkelijk aan te leggen en te monitoren, (+) geen moeilijkheden of risico's voorzien, (-) enkele moeilijkheden of risico's voorzien.

Tabel 5.1 Ingevuld afwegingskader voor de 4 suppletievarianten met 1 element (A, B, C, D) en 6 varianten met 2 elementen (AB, AC, AD, BC, BD, CD).

Criterium	**1 suppletie-element**				**2 suppletie-elementen**					
	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD
1. Bijdrage aan kennisdoelstelling										
Morfodynamiek	++	+	+	+++	+	+	+++	+	++	++
Ecologie	++	+	+	++	++	+	+++	+	+	++
2. Effecten op functies										
Veiligheid / kusterosie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Natuurlijkheid	--	--	-	-	---	--	--	--	--	--
Toegankelijkheid	-	-	--	-	-	-	-	-	-	-
3. Uitvoering										
Aanleg	+	+	-	++	+	-	+	-	+	-
Monitoring	+	++	+	++	+	+	+	+	+	+

Uit deze tabel volgt dat in geval van **1 suppletie**, de voorkeur uitgaat naar **locatie D**. Een suppletie in de ebschaar levert naar verwachting de meeste morfologische en ecologische kennis op, het effect op de gebruiksfuncties is beperkt en een suppletie is hier relatief gemakkelijk aan te leggen en te monitoren.

Bij **2 suppleties**, scoren **locaties A en D** het beste. De verwachte kennisopbrengst is zelfs hoger dan bij 1 suppletie op locatie D, omdat 2 suppleties de mogelijkheid biedt de ontwikkeling te vergelijken waardoor een bredere kennisbasis ontstaat. Ook bij 2 suppleties is het effect op de functies beperkt, al wordt door het grotere oppervlakte wel een groter gebied initieel verstoord (lagere score bij het effect op "natuurlijkheid"). Er worden geen moeilijkheden of risico's voorzien bij de aanleg van twee elementen op locaties A en D. De wat grotere vaarafstanden (voor locatie A) vanaf Vlissingen en de Westerschelde waar het suppletiezand mogelijk vandaan gaat komen, maakt dat het iets lager scoort op uitvoerbaarheid dan een enkele suppletie op locatie D.

5.5 Hybride variant

De twee belangrijke minpunten van het uitvoeren van de suppletie op basis van twee elementen van 1 m dik in plaats van één suppletie-element van 2 m dik zijn het minder sterke morfologische signaal en de grotere initiële verstoring van de ecologie (vanwege het grotere suppletie-oppervlakte). Beide zouden grotendeels kunnen worden weggenomen door het suppletie-oppervlakte en hiermee de suppletiedikte aan te passen. Dit komt neer op 2 suppletie-elementen van 2 m dik met een oppervlakte van 38 ha elk, wat correspondeert met een cirkel met een straal van 350 m. Het morfologische signaal per suppletie zal hiermee wat minder sterk zijn dan bij 1 grote suppletie met een oppervlakte van 75 ha (straal van 490 m), maar de dikte van 2 m maakt wel dat de bodemveranderingen beter meetbaar en duidelijker onderscheidbaar van de autonome ontwikkeling zullen zijn dan bij een dikte van 1 m.

Deze variant is ook doorgerekend. De ruimtelijke modelresolutie is met c.a. 150 x 100 m aan de lage kant voor het doorrekenen van suppleties met een oppervlakte van 38 ha. Desalniettemin is het de verwachting dat het modelresultaat een goede, eerste inschatting geeft van de impact en de ontwikkeling van deze kleinere suppleties.

In paragraaf 4.2 is aangetoond dat suppletie-elementen met een oppervlakte van 75 ha en een dikte van 2 m een nihil effect hebben op de waterstand en dat zij alleen een lokaal effect hebben op de stroomsnelheden, golven en bodemschuifspanningen. Bij een halvering van het suppletie-oppervlakte nemen de effecten op de waterbeweging af. Ook voor de nieuwe variant is het effect op de waterstand dus nihil en zijn er alleen lokale effecten op de stroomsnelheden, golven en bodemschuifspanningen.

De berekende morfologische ontwikkeling wordt getoond in Bijlage D. Hieruit blijkt dat:

- De morfologische ontwikkeling vergelijkbaar is met een qua oppervlakte twee keer zo grote suppletie (bovenstaande varianten A en D).
- Het suppletiezand sneller uit de initiële contour verdwijnt, omdat het suppletieoppervlakte kleiner is. Na 4 jaar is het overgrote gedeelte van het gesuppleerde zand nog in de omgeving van de suppletielocatie aanwezig. Dat is vergelijkbaar met de suppleties van 75 ha.
- De totale aanvullende sedimentatie in de vaargeul met ongeveer 20 duizend m^3 in 4 jaar minder is dan bij één grote suppletie op suppletielocatie A of suppletielocatie D.

Tabel 5.2 toont het ingevulde afwegingskader voor deze “hybride” variant (Variant 3), naast 1 suppletie op locatie D (Variant 1) en 2 dunnere suppleties op locaties A en D (Variant 2).

Tabel 5.2 Ingevuld afwegingskader voor de 3 suppletievarianten. Variant 1: een suppletie op locatie D met een dikte (dz) van 2 m en een oppervlakte (A) van 75 ha. Variant 2: twee suppleties op locaties A en D met elke dz = 1 m, A = 75 ha. Variant 3: twee suppleties op locaties A en D met elke dz = 2 m, A = 38 ha.

Criterium	**Variant 1**	**Variant 2**	**Variant 3**
	1 suppletie op locatie D	2 suppleties op locaties A en D	2 suppleties op locaties A en D
	Per element: *dz* = 2 m, *A* = 75 ha	Per element: *dz* = 1 m, *A* = 75 ha	Per element: *dz* = 2 m, *A* = 38 ha
1. Bijdrage aan kennisdoelstelling			
Morfodynamiek	+++	+++	+++
Ecologie	++	+++	+++
2. Effecten op functies			
Veiligheid / kusterosie	0	0	0
Natuurlijkheid	-	--	-
Toegankelijkheid	-	-	-
3. Uitvoering			
Aanleg	++	+	+
Monitoring	++	+	+

De verwachte kennisopbrengst van Variant 3 is vergelijkbaar met die van Variant 2, en voor wat betreft het ecologische deel groter dan die van Variant 1 met “maar” 1 suppletie-element. Het effect op de functies is beperkt. Het totale suppletie-oppervlakte is met 38 ha hetzelfde als bij Variant 1 waardoor Variant 3 (als Variant 1) beter scoort bij het effect op “natuurlijkheid” dan Variant 2 met een suppletie-oppervlakte van 75 ha. Er worden geen moeilijkheden of risico’s voorzien bij de uitvoering. De vaarafstand van Vlissingen tot locatie A en het feit dat het twee elementen betreft, maakt wel dat de uitvoering en monitoring van Variant 3 (als Variant 2) minder gemakkelijk is dan van Variant 1 (enkele suppletie op locatie D).

6 Synthese

6.1 Discussie

Herkomst suppletiezand

Op dit moment is het nog niet zeker waar het suppletiezand gewonnen gaat worden. Er bestaat een goede kans dat het afkomstig gaat zijn van vaargeulonderhoud in de Westerschelde. In dat geval is het beschikbare suppletievolume aanbod gestuurd. Het onderhoud van de drempels in het westelijke deel van de Westerschelde (met name Drempel van Vlissingen, Drempel van Borsele) bedraagt ongeveer 2 miljoen m^3/jaar. Dit betekent dat de benodigde 1,5 miljoen m^3 in ca. 9 maanden beschikbaar komt. Dit is een relatief lange periode in vergelijking met het scenario waarin het zand in de Noordzee gewonnen wordt. Dan is de aanlegperiode typisch 2 tot 4 maanden. Bij een langere aanlegperiode is een groter gedeelte van het suppletiezand al verdwenen voordat de aanleg voltooid is. Volgens de modelberekeningen is ruim 40% (600 x 10^3 m^3 bij een suppletie van 1,5 miljoen m^3) van het suppletiezand op locatie D verdwenen uit de oorspronkelijke contour na 2 jaar (Figuur 4.17), oftewel ca. 15% (200-250 x 10^3 m^3) na 9 maanden. Bij locatie A gaat de verspreiding naar verwachting langzamer. Na voltooiing van de suppletie ligt dus naar verwachting het grootste deel van het suppletiezand nog op zijn plek.

Een uitvoering met een relatief lange aanlegduur (bijvoorbeeld ~9 maanden) zal ook een rol gaan spelen bij het kennisontwikkeling naar de verstoring van de bodemdieren. Het onderzoek naar de herstelduur van de gemeenschap wordt bemoeilijkt wanneer de bodemdieren uitgespreid over 9 maanden bedolven worden. Ook zal er bij een aanlegduur van 9 maanden een periode van verstoring samenvallen met de rekruteringsperiode van bodemdieren, iets wat het herstel niet bevordert.

Afhankelijk van de herkomst zullen de eigenschappen van het suppletiezand verschillen. Zand afkomstig uit zandwingebieden in de Noordzee is waarschijnlijk grover dan zand dat voor vaargeulonderhoud wordt gebaggerd in de Westerschelde. De morfodynamische modelberekeningen die in dit rapport zijn gepresenteerd gaan uit van een mediane korreldiameter van het suppletiezand die vergelijkbaar is met de mediane korreldiameter van het al aanwezige zand (namelijk D_{50} = 200 µm). Als het uiteindelijke suppletiezand daar veel van afwijkt dan beïnvloedt dat de dynamiek van de suppletie. Verwacht wordt echter dat het relatieve verschil in dynamiek tussen suppleties op verschillende locaties, en daarmee de afweging in dit rapport, nauwelijks zal veranderen met de uiteindelijke eigenschappen van het materiaal.

Gezien de mogelijk “uitgesmeerde” aanleg zou het initiële verlies beperkt kunnen worden door het suppletievolume te verdelen over 2 locaties. De aanlegperiode per locatie halveert dan, en daarmee het initiële verlies. Dit is ook bevorderlijk voor het onderzoek naar de herstelduur van het benthos. De suppleties worden dan na elkaar aangelegd. Hierdoor hebben de suppleties een andere “leeftijd” en zijn deze onderhevig geweest aan andere condities, waar in de monitoring en onderlinge vergelijking rekening mee moet worden gehouden.

Vorm van de suppletie

Er is bij de suppletievarianten uitgegaan van een ronde vorm. Uit stortproeven in de Put van Hansweert blijkt dat het geklepte sediment in een “donutvorm” neerkomt (zie Huisman et al (2018) en verwijzingen hierin). Het effect van meerdere suppleties overlappend op de vorige zal dus waarschijnlijk een rafelig patroon langs de rand laten zien en een niet afgevlakte

toplaag. Daarnaast speelt ook de tijd tussen de verschillende stortingen een rol in de tussentijdse en uiteindelijke vorm van de suppletie.

Rol van de onzekerheden in de afweging van de suppletievarianten
De belangrijkste onzekerheden zijn de herkomst van het suppletiezand en de aanwezige bodemdiergemeenschappen. Het eerste heeft geen wezenlijke invloed op de afweging van de suppletievarianten. Het tweede zorgt voor enige onzekerheid over de geschikte suppletielocatie(s). De huidige dataset van sedimentsamenstelling is niet toereikend om een conclusie te trekken over specifieke “voorkeuren” van bodemdiergemeenschappen voor bepaalde bodemeigenschappen. Deze onzekerheid kan met een uitgebreide T-1 monitoring van het benthos grotendeels worden weggenomen. Met deze informatie en informatie over de herkomst van het suppletiezand, en dus de kennis van sedimenteigenschappen (o.a. korrelgrootte en slibgehalte), kan namelijk een beter onderbouwde verwachting geschetst worden van het herstel van de gemeenschap, en dus een betere afweging van de suppletielocaties.

Pilotsuppletie en monitoring als onderdeel van een groter geheel
De proefsuppletie beoogt bij te dragen aan het vergroten van het inzicht in het morfologisch en ecologisch functioneren van de Schelde-monding, in het bijzonder de interactie tussen de Westerschelde en de monding. Het is belangrijk om te realiseren dat de interactie tussen de Westerschelde en de monding op een veel grotere ruimte- en tijdschaal (orde 10-100 km, 100-1000 jaar) speelt dan de proefsuppletie (<5km, <10 jaar). Dit betekent dat de proefsuppletie en monitoring gecomplementeerd moeten worden met (conceptuele en numerieke) modellering en andere vormen van studie, om een breder beeld van de werking van de monding te krijgen en te kunnen opschalen naar b.v. effecten van ZSS en de sedimentuitwisseling tussen de monding en de Westerschelde.

6.2 Conclusies

Op basis van kennis van de ecologie en morfologie van Schelde-monding, in het bijzonder van de zone Vlakte van de Raan - Zuid, de uitsluiting van onwenselijke gebieden (zie de geschiktheidskaart) en het afwegingskader zijn 10 suppletievarianten gegenereerd. Deze varianten bestaan uit ronde suppletie-elementen met een straal van 490 m en een oppervlakte 75 ha. Er zijn 4 verschillende locaties bestudeerd, en er is onderscheid gemaakt tussen 1 suppletie met een dikte van 2 m en 2 suppleties met een dikte van 1 m.

Bij 1 suppletie (2 m dik, 75 ha) scoort locatie D, in de ebschaar, het beste. Een suppletie op deze locatie levert naar verwachting de meeste morfologische en ecologische kennis op, het effect op de gebruiksfuncties is beperkt en een suppletie is hier relatief gemakkelijk aan te leggen en te monitoren.

Bij 2 suppleties (1 m dik, 75 ha per element), scoren locaties A (in het westen van de geul Spleet) en D het beste. De verwachte kennisopbrengst is zelfs hoger dan bij 1 suppletie op locatie D, omdat 2 suppleties de mogelijkheid geeft om de ontwikkeling te vergelijken waardoor een bredere kennisbasis ontstaat. Ook bij 2 suppleties is het effect op de functies beperkt, al wordt door het grotere oppervlakte wel een groter gebied initieel verstoort (lagere score bij het effect op “natuurlijkheid”). Er worden geen moeilijkheden of risico’s voorzien bij de aanleg van twee elementen op locaties A en D. De wat grotere vaarafstanden (voor locatie A) vanaf Vlissingen (i.v.m. monitoring) en de Westerschelde waar het suppletiezand mogelijk vandaan gaat komen, maakt dat het iets lager scoort op uitvoerbaarheid dan een enkele suppletie op locatie D.

De grotere initiële ecologische verstoring in het geval van 2 suppletielocaties kan voorkomen worden door het oppervlakte te verkleinen en de dikte evenredig aan te passen (2 m dik, 38

ha per element). Hierdoor wordt ook het morfologische signaal versterkt waardoor deze beter meetbaar is, en duidelijker te onderscheiden is van de autonome ontwikkeling. Deze variant wordt aanbevolen als voorkeursvariant.

6.3 Vervolg en aanbevelingen

De inhoudelijke vervolgstappen in het project pilotsuppletie Schelde-monding zijn:

- Meet- en informatiebehoefte plan. Hierin zal worden aangegeven wat de morfologische en ecologische vragen zijn en hoe de suppletie en monitoring kunnen bijdragen aan het beantwoorden van deze vragen.
- Uitvoering van T-1-monitoring benthos ten behoeve van een eventuele aanpassing van de suppletielocatie(s), en het kiezen van referentiegebied(en) voor de monitoring.
- Detaillering suppletieontwerp, afhankelijk van de herkomst en de eigenschappen van het suppletiezand. Dit betreft onder meer de precieze vorm, hoogte en de helling van de suppletie, inclusief bandbreedtes.

Daarnaast doen we de volgende aanbevelingen:

- Het bepalen van eventuele effecten van de suppletie op andere functies dan veiligheid, natuurlijkheid en toegankelijkheid. Het is de verwachting dat het effect op deze andere functies (b.v. recreatie en visserij) beperkt is, maar dit zou voor de volledigheid uitgezocht kunnen worden.
- Het ondervangen van eventuele negatieve effecten op deze functies in het detailontwerp van de suppletie.

Referenties

Craeymeersch, J.A., Hamerlynck, O., Hostens, K., Vanreusel, A. en Vincx, M. (1990a). De ekologische ontwikkeling van de Voordelta. Deelrapport 1. De huidige ekologische situatie van de Voordelta. Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek - Rijksuniversiteit Gent, Sektie Mariene Biologie. 92 pp.

Escaravage, V. en van der Heijden, L.H. (2021). Ruimtelijke patronen van het benthos in de buitendelta van de Westerschelde. Een studie i.h.k.v. een mogelijke pilotsuppletie. Rapport, Wageningen Marine Research, Nederland, 56 pp.

Huisman, B., Schrijvershof, R., Lanckriet, T., Van der Werf J. (2018). Baggerdepositie in diepe geulen, Strategie voor het plaatsen van gebaggerd materiaal in de diepere getijdegeulen van de Westerschelde. Rapport 1210301-000-ZKS-0027, Deltares, Nederland.

Projectteam pilot monding Westerschelde (2020). Verslag Stakeholdersbijeenkomst pilot monding Westerschelde 9 juli 2020. Rijkswaterstaat Zee & Delta.

Staatscourant (2014). Regeling van de Staatssecretaris van EZ van 22 april 2014, kenmerk WJZ/13219626, tot wijziging van de Uitvoeringsregeling visserij ten behoeve het aanpassing van gesloten gebieden voor garnalen- en bodemberoerende visserij in de Vlakte van Raan.

Van der Vegt, H., Van Onselen, E., Van der Spek, A. (2021). Erosie-resistente lagen in het Westerschelde mondingsgebied en de invloed daarvan op de pilot-suppletie. Deltares rapport 11203725-001-ZKS-0012.

Van der Werf, J., Meijer – Holzhauer, H., Van der Spek, A., Van Weerdenburg, R., Craeymeersch, J., Tulp, I., Ysebaert, T. (2020). Morfologie en ecologie van de Schelde-monding. Overzicht van bestaande kennis en data. Deltares rapport 11203725-000-ZKS-0018.

Van der Werf, J., Van Weerdenburg, R., Van der Heijden, L., Meijer – Holzhauer, Taal, M. (2021). Pilotsuppletie Schelde-monding: afwegingskader en alternatieven voor suppletiezones. Rapport 11203725-000-ZKS-0022, Deltares, Nederland.

Van der Werf, J., Van Weerdenburg, R., Van der Spek, A. (2021). Morfologische ontwikkeling van het zuidelijke deel van de Vlakte van de Raan, Schelde-monding. Rapport 11206823-000-ZKS-0010, Deltares, Nederland.

Van Lancker, V. (2007). Morfologische en sedimentologische context van de Baai van Heist. Seminair “De Zandbank te Heist, een boeiend fenomeen”, 19 oktober 2007.

Van Veen, J. (1950). Eb- en Vloedschaar Systemen in de Nederlandse Getijwateren. Tijdschrift Kon. Ned. Aardrijkskundig Genootschap, 67, 303-325.

Van Weerdenburg, R., Van der Werf, J. (2021). Transportpaden in de Schelde-monding. SedTRAILS modellering ter voorbereiding op pilotsuppletie Schelde-monding. Rapport 11203725-000-ZKS-0022, Deltares, Nederland.

Van Weerdenburg, R., Holzhauer, H. (2019). Gebiedsbeschrijving Westerscheldemonding en overzicht databeschikbaarheid. Deltares rapport 1203725-000-ZKS-0010.

VIBEG (2011). Vissen binnen de grenzen van Natura2000: Afspraken over het visserijbeheer in de Noordzeekustzone en Vlakte van de Raan voor de ontwikkeling van natuur en visserij.

A Bespreekverslag expertworkshop 23 oktober 2020

Verslag

Deltares

Datum verslag
26 oktober 2020

Aantal pagina's
1 van 5

Contactpersoon
Roy van Weerdenburg

Doorkiesnummer
+31(0)88 335 7527

E-mail
Roy.vanWeerdenburg@deltares.nl

Datum bespreking
23 oktober 2020

Vergadering
Workshop Pilotsuppletie Scheldemonding 23 oktober 2020

Aanwezig
Marco Schrijver (RWS ZD) / Cor Schipper (RWS WVL) / Silvana Ciarelli (RWS WVL) / Jelmer Cleveringa (Arcadis) / Bart de Maerschalck (MOW Vlaanderen) / Yves Plancke (MOW Vlaanderen) / Sander de Schepper (namens RWS ZD) / Johan Craeymeersch (WMR) / Vincent Escaravage (WMR) / Peter Herman (Deltares) / Ad van der Spek (Deltares) / Luuk van der Heijden (Deltares) / Jebbe van der Werf (Deltares) / Marcel Taal (Deltares) / Roy van Weerdenburg (Deltares)

In dit verslag wordt een samenvatting gegeven van wat besproken is tijdens de online workshop in het kader van de pilotsuppletie Scheldemonding op 23 oktober 2020. Bij dit document hoort de presentatie die tijdens de workshop is gebruikt (*slides_Workshop_Scheldemonding2_23102020.pdf*).

1 Opening (Marcel Taal)

Tijdens de opening worden de agenda en de doelstelling van de workshop toegelicht. De agenda is terug te vinden op slide 2 van de presentatie. Tijdens de workshop staat de volgende vraag centraal: *Suppleren op welke locatie en in welke vorm levert een zo groot mogelijk inzicht in het morfologisch en ecologisch functioneren van de Schelde-monding, in het bijzonder de interactie tussen de Westerschelde en de monding?*

In de ontwerprondes zal er aandacht zijn voor het vraagstuk: *Zou, gegeven de grote mate van ruimtelijke variatie in dynamiek binnen de Schelde-monding, het ook kunnen zijn dat een aantal kleinere suppleties de meeste kennis op gaat leveren?*

2 Stand van zaken (Jebbe van der Werf)

Jebbe licht aan de hand van slides 4 tot 14 een en ander toe van de opzet en de doelstelling van het project, de tijdlijn van activiteiten en wie actief zijn in het projectteam. Daarna bespreekt hij kort de geschiktheidskaart en het afwegingskader. Uit het afwegingskader volgt dat zone A, de zuidelijke rand van de Vlakte van de Raan, de voorkeurszone is voor uitvoering van de suppletie.

Na de presentatie van Jebbe volgt de vraag of er bij het maken van de geschiktheidskaart rekening gehouden is met het TBB besluit (Toegang Beperkings Besluit) in het kader van Natura2000. Als eerste reactie wordt genoemd dat dit niet (of in ieder geval niet expliciet) is gedaan. Dat moet nog gedaan worden.

Er volgt nog een opmerking dat het effect van de suppletie op de overige functies niet zijn opgenomen in het afwegingskader. Veel van de overige functies zullen op voorhand al afgedekt zijn (in de geschiktheidskaart), maar het is wellicht goed om die toch nog in het afwegingskader op te nemen.

3 Presentatie SedTRAILS analyse (Roy van Weerdenburg)

Roy licht aan de hand van slides 15 tot 20 de SedTRAILS analyse toe waar op dit moment aan gewerkt wordt. Met de SedTRAILS analyse worden residuele transportpaden van sediment gevisualiseerd op basis van Delft3D berekeningen.

Zowel in de chat van MS Teams als tijdens het overleg volgt een aantal vragen. De belangrijkste punten zijn:

- *In de SedTRAILS analyse wordt de waterbeweging van een representatieve getijperiode veelvuldig herhaald.*
- *De resultaten die nu getoond worden zijn op basis van berekende transporten van een uniforme zandfractie van 200µm. Daarvoor worden de Van Rijn (2007) formuleringen voor sedimenttransport gebruikt. Het zou ook mogelijk zijn om de transportpaden van andere sedimentfracties te visualiseren.*
- *Het totale transport (= suspensief + bodemtransport) wordt gebruikt voor de SedTRAILS resultaten.*
- *Voor de SedTRAILS resultaten worden berekende transportcapaciteiten gebruikt. De onzekerheid rond de resultaten van SedTRAILS is daarmee vergelijkbaar met de onzekerheid rondom de resultaten van transportberekeningen in Delft3D. Het betreft het Delft3D-ZWeM model dat ontwikkeld is voor het bestuderen van sedimenttransport in de monding. Dit model is uitgebreid gevalideerd aan de hand van gemeten waterstanden, debieten, stroomsnelheden, golven, sedimentconcentraties, baggervolumes en morfologische veranderingen (zie Vroom et al. (2016) - http://kennisbank.deltares.nl/Details/fullCatalogue/1000001800).*

Vervolgens wordt de opmerking gemaakt dat de transportpaden vooral divergeren op ondiepe locaties. Dat zou kunnen impliceren dat deze locaties eroderen. Het zou daarom goed zijn om de SedTRAILS resultaten te vergelijken met de morfologische activiteit (sedimentatie/erosie) in het gebied. Dat moet in het vervolg beter uitgewerkt worden.

4 Presentatie Ecologische analyses (Luuk van der Heijden)

Luuk licht toe wat er bekend is over bodemdiergemeenschappen in de Scheldemonding en welke analyses in het kader van de pilotsuppletie worden toegevoegd. Hij laat ook al wat eerste resultaten zien, waarmee de WOT data van 2017 en 2019 worden vergeleken met de bodemdiergemeenschappen die in de jaren '90 zijn bepaald (zie slides 21 tot 24).

Naar aanleiding van de presentatie van Luuk wordt gevraagd waarom de MWTL data niet gebruikt gaan worden in de analyses. Als eerste reactie wordt opgemerkt dat de dichtheid van metingen in het MWTL meetnet laag is, ondanks dat de MWTL metingen veel opleveren. Die dichtheid is onvoldoende om clusters te bepalen.

In het gebied zijn ook invasieve exoten (Ensis) te vinden. In recente studies in België werden die zelfs als nieuw cluster gezien.

Johan Craeymeersch heeft nog toegelicht dat cluster 6 destijds als apart cluster gedefinieerd is omdat deze gemeenschap wel vergelijkbaar is met gemeenschappen 1 en 2, maar dat de kensoorten van gemeenschappen 1 en 2 missen.

5 Ontwerpronde 1

Voor de eerste ontwerpronde wordt iedereen gevraagd om zijn eerste ideeën te delen voor het ontwerp van de suppletie. Daarvoor krijgt iedereen even de tijd om zijn ideeën te formuleren. Iedereen krijgt vervolgens het woord om zijn bijdrage te doen aan het gesprek. Hieronder is kort ieders bijdrage samengevat.

Ad van der Spek – Eerst eens gekeken naar de voetafdruk van 1,5 M m^3. Dit is niet heel veel sediment gegeven de grootte van de monding, daar moet in het ontwerp wel rekening mee gehouden worden. Morfologisch gezien ga je leren hoe snel het zand verdwijnt. Gaan we dat zand ook kunnen volgen? Wat willen we leren vanuit ecologie?

Silvana Ciarelli – Sedimentatie- /erosiesnelheid is waarschijnlijk een belangrijke randvoorwaarde. Als je iets wilt leren moet de suppletie in ieder geval een tijdje blijven liggen. Wat voor type sediment hebben we ter beschikking? Dat gaat namelijk belangrijk zijn voor de dynamiek van de suppletie. Gevoelsmatig is het zo dat meerdere suppleties voor meer variatie en dus meer inzicht zorgen.

Jelmer Cleveringa – Aantrekkelijk om een vorm te kiezen van de suppletie die afsteekt ten opzichte van de bodem en waarmee je makkelijk de vervorming kunt zien, b.v. rond/vierkant.. 1,5 M m^3 is voor een suppletie in dit gebied niet zo veel, daarom is één suppletie wel voldoende. Een negatieve suppletie levert ook een verstoord oppervlak op, en kan helpen om meer vragen te beantwoorden.

Johan Craeymeersch – Met de vorm van de suppletie kun je ook variatie aanbrengen. Op dit moment nog geen goed beeld hoe dat zal doorwerken op het benthos.

Bart de Maerschalck – Is zone A nu definitief? Hoe gaat een suppletie in zone A effect hebben op de ontwikkeling van de geul Spleet die daar gaande is. Die morfologische ontwikkeling in de gaten houden en koppelen aan huidige resultaten (SedTRAILS).

Vincent Escaravage – Een aantal verschillende suppleties is relevant als er verschillende clusters blijken te zijn in het interessegebied. Anders is dat minder relevant.

Marco Schrijver – Morfologisch gezien lijkt het interessant om op één punt te suppleren, terwijl vanuit de ecologische invalshoek een ontwerp met meerdere kleine suppleties wellicht interessanter is. Daar moeten we binnenkort wel duidelijkheid over krijgen. Negatieve suppleties zijn interessant; op dit moment is het niet duidelijk of dat vergunnings-technisch mogelijk is.

Peter Herman – Voorkeur om meerdere kleine suppleties te combineren. Anders is er niks te vergelijken (morfologisch en ecologisch niet), maar blijft het bij beschrijven wat er gebeurt. Je zult meer kunnen leren als je meerdere plekken met elkaar kunt vergelijken. Daarnaast de vraag wat de doelstelling is voor de suppletie. Waar moet het zand naar toe gaan? Blijven liggen, of juist de Westerschelde in? Als je een bedoeling hebt moet je een plek kiezen die aansluit bij die bedoeling. Met suppleties op verschillende locaties kun je de dynamiek en ontwikkeling op verschillen locaties vergelijken, en daar meer kennis over ontwikkelen.

Yves Plancke - 1,5 M m^3 zou verdeeld kunnen worden over 2 tot 3 locaties (op basis van ervaringen bij Walsoorden). Probeer een herkenbare vorm aan te leggen, om de verspreiding goed in kaart te brengen. Uitvoeringstechnisch is dat lastig, daar moet wel rekening mee gehouden worden. Daarnaast is het moment waarop de suppletie wordt aangelegd in relatie tot de seizoenale variatie in de verspreiding een aandachtspunt. Het is ook belangrijk om (nog voor de T0 metingen) goed naar velddata te kijken, en niet alleen focussen op de modellen.

Sander de Schepper – Onderzoeksvragen moeten nog verder aangescherpt worden, wat vinden we nou belangrijk om te leren? Wat is het belangrijkste onderzoeksdoel? Die vraag beantwoorden voordat we iets zeggen over de gewenste locatie en de vorm.

Cor Schipper – In 2016 zijn ter voorbereiding op de suppletie bij het Amelander Zeegat tracer simulaties gedaan. Hoe hebben die suppleties bijgedragen tot het ontwerp van de suppletie?

Daarnaast: Wat zijn nu de onderzoeksvragen voor de ecologie? We kunnen leren van de vragen die binnen kustlijnzorg gesteld worden. Geïnteresseerd in hoe je natuurwaarden kunt versterken of verbreden, minder geïnteresseerd in het herstel van de bodemdiergemeenschap. In de afgelopen jaar veel kennis ontwikkeld rondom traits analyses (*d.w.z. een analyse waarbij de biologische eigenschappen (traits) van soorten centraal staan*). Op basis daarvan kunnen prognoses bepaald worden. Dat kan toegevoegd worden aan de analyses die gedaan gaan worden.

6 Ontwerpronde 2

Voor ontwerpronde 2 zijn er drie groepen gevormd, die gedurende ongeveer 20 minuten gezamenlijk verder discussiëren over de keuzes die relevant zijn om tot een goed ontwerp te komen. In dit verslag is alleen opgenomen wat vervolgens door de drie groepen is teruggekoppeld richting de andere deelnemers. De groepsindeling is als volgt:
Groep 1: Marco, Johan, Bart, Vincent en Jebbe
Groep 2: Cor, Luuk, Ad, Yves en Roy
Groep 3: Silvana, Peter, Jelmer, Sander en Marcel

<u>Terugkoppeling groep 1</u>

- De doelstelling van de suppletie nogmaals besproken. Die is nog niet altijd duidelijk.
- Onzeker of de suppletie in zone A uiteindelijk inzicht gaat geven in de uitwisseling met de Westerschelde.
- Een suppletie in een dynamisch gebied én een suppletie in een stabiel gebied kan inzicht geven in de stabiliteit van locaties in de Scheldemonding/Voordelta. Dat is relevant voor de vraag waar je in de toekomst sediment kwijt zou kunnen.
- Om tot een ontwerp te komen ook goed naar de morfologische veranderingen kijken (ook vanuit ecologisch oogpunt).
- Maak voor de keuze van één of enkele locaties ook onderscheid tussen de golfgedomineerde en de getijgedomineerde zone.
- Locatiekeuze in een relatief actief gebied ten noorden van de Wielingen, maar niet zo noordelijk dat de residuele transportpaden duidelijk richting de Geul van de Walvischsstaart gaan.

<u>Terugkoppeling groep 2</u>

- Zone A is behoorlijk gedomineerd door het getij. Terwijl andere plekken waar gesuppleerd wordt (Kustlijnzorg) vaak golfgedomineerde zones zijn. Dat biedt kansen om de reactie en ontwikkeling van de suppletie te bestuderen. Dat is zeker relevant vanuit de ecologische invalshoek.
- Vanuit ecologisch perspectief is de keuze voor een exacte locatie misschien belangrijker dan vanuit morfologisch perspectief. Het volume van de suppletie is dusdanig klein dat morfologisch gezien geen grote reactie verwacht wordt. Je zal vooral het gedrag van een suppletie op een specifieke locatie kunnen bekijken, maar het zal niet zo zijn dat je met een suppletie van deze grootte de interactie met de Westerschelde echt beter gaat begrijpen.
- Er kan waarschijnlijk al veel geleerd worden (procesmatig en systeemkennis) van suppleties op andere pilotlocaties (bijvoorbeeld Amelander Zeegat). Ook kunnen lessen uit die pilots gebruikt worden om overzicht te krijgen van het effect van suppleties in verschillende delen van het kustsysteem.
- Kennisvragen zouden ook gekoppeld kunnen worden aan IKZ (Innovatie Kustlijn Zorg). Uitvoeringstechnisch kan dat bijvoorbeeld inhouden dat er duurzamere methoden zijn om te suppleren dan *rainbowen* (bijvoorbeeld CO_2 reductie).
- De referentielocaties zijn een belangrijk aandachtspunt voor de monitoring en het kennisprogramma. Door monitoring op een grotere schaal dan de suppletie kan het opschalen van de nieuwe kennis vergemakkelijkt worden.

Terugkoppeling groep 3

- De discussie rond het doel van de suppletie blijft nog steeds spelen.
- De discussie in deze groep heeft geleid tot de voorkeur voor meerdere suppleties op verschillende locaties (hoog/laag; eb-/vloedschaar; hoog-/laagdynamisch). Ook in de vorm van de suppleties kan gevarieerd worden.
- Een aandachtspunt is de schaarste van zandwingebieden in deze regio.
- Vanuit de zandwindgebieden is waarschijnlijk relatief grof zand beschikbaar. Dat heeft gevolgen voor de dynamiek van de suppletie.
- Door parallel ook lokaal zand te gebruiken (bijv. in combinatie met een negatieve suppletie) kan ook de variatie in korrelgrootte in beschouwing genomen worden.

Aanvullende opmerkingen/discussie

- Misschien is het suppletievolume te klein voor de vraagstukken op de grootste morfologische schaal, maar de pilot gaat wel helpen om de sturende processen voor sedimenttransport beter te begrijpen. Vooral het ontrafelen van golf- en getijgedreven transport is daarbij relevant/interessant. Bovendien geeft de T0-monitoring alleen al veel extra informatie, zeker voor de ecologie.
- Voor het kennisprogramma is de (uitgebreide) monitoring waarschijnlijk veel belangrijker dan de suppletie. De suppletie is wel de aanleiding om meer monitoring uit te gaan voeren. De monitoring kan een veel groter gebied beslaan dan de suppletielocatie. De keuzen voor referentiegebieden is dan erg relevant, niet alleen voor ecologie maar ook voor morfologie. Door de suppletie uitvoeringstechnisch niet te ingewikkeld te maken zal geen of minder budget nodig zijn om de suppletie anders uit te voeren dan vanuit de doelen van het programma kustlijnzorg strikt noodzakelijk is. Dat betekent weer een betere en/of uitgebreidere monitoring en kennisprogramma.
- Voor het exacte ontwerp is een aantal aanvullende analyses erg relevant (genoemd zijn ecologische analyses die gepland staan, de koppeling met IKZ en een analyse van de gemeten bodemdynamiek).
- Zou je op basis van een model kunnen inschatten waar een veldmeting het meest kan bijdragen in het wegnemen van onzekerheid en/of verbeteren van een model? In het algemeen functioneren de modellen goed in getij-gedomineerde geulen, en minder goed in de overgang naar ondiepere zones.
- Een ontwerp van de suppletie waarbij ook lokaal zand wordt gebruikt (d.w.z. een suppletie in combinatie met zandwinning op een andere locatie in de Schelde-monding) kan lastig uit te voeren zijn in het Natura2000 gebied.

7 Afronding

Tijdens de afronding van de workshop (door Marcel en Marco) wordt nog benadrukt dat opmerkingen op het conceptrapport *Afwegingskader en Alternatieven voor Suppletiezones* nog steeds welkom zijn. Daarnaast zal de doelstelling van de pilotsuppletie (kennisvragen, nut & noodzaak) nog duidelijker gemaakt moeten worden in de algehele communicatie.

B Bespreekverslag expertworkshop 23 februari 2021

Verslag

Datum verslag			Aantal pagina's
05 maart 2021 (definitief)			1 van 5
Contactpersoon	**Doorkiesnummer**	**E-mail**	
Roy van Weerdenburg	+31(0)88 335 7527	Roy.vanWeerdenburg@deltares.nl	

Datum bespreking	Vergadering
23 februari 2021	Workshop Pilotsuppletie Scheldemonding 23 februari 2021

Aanwezig
Marco Schrijver (RWS) / Cor Schipper (RWS) / Gert-Jan Liek (RWS) / Kaspar Sonnemans (RWS) / Laurie van Gijzen (RWS) / Stefan Pluis (RWS) / Jelmer Cleveringa (Arcadis) / Bart de Maerschalck (MOW Vlaanderen) / Sander de Schepper (namens RWS ZD) / Johan Craeymeersch (WMR) / Ingrid Tulp (WMR) / Vincent Escaravage (WMR) / Peter Herman (Deltares) / Ad van der Spek (Deltares) / Luuk van der Heijden (Deltares) / Jebbe van der Werf (Deltares) / Marcel Taal (Deltares) / Roy van Weerdenburg (Deltares)

Dit verslag geeft een samenvatting van de online workshop in het kader van de pilotsuppletie Scheldemonding op 23 februari 2021. Bij dit document horen de slides van de presentaties die tijdens de workshop zijn gegeven (*slides_Workshop_Schelde-Monding_Introductie.pdf, slides_Workshop_Schelde-Monding_Morfologie.pdf* en *slides_Workshop_Schelde-Monding_Ecologie.pdf*).

1 Opening

De agenda is als volgt:

1. Welkom en opening - Marcel Taal
2. Stand van zaken en uitgevoerd onderzoek (inclusief vragen) – Marco Schrijver & Jebbe van der Werf
3. Morfologie en berekende effecten van mogelijke suppletievarianten (presentatie en discussie) – Roy van Weerdenburg
4. Ecologische analyses en resultaten (presentatie en discussie) – Luuk van der Heijden
5. Discussie – Prioriteiten voor onderzoek en monitoring (in kleine groepen)
6. Afsluiting

2 Stand van zaken (Marco Schrijver & Jebbe van der Werf)

Marco vertelt dat de proefsuppletie niet onder regulier beheer & onderhoud van de kust valt en dus niet onder de vrijstelling van de natuurwetgeving. Voor vervolg lopen er gesprekken met LNV over de aanvraag van een natuurwetvergunning en wordt voor het stikstofvraagstuk gekeken naar een aankomend wetsvoorstel. Een bureau zal voor RWS verkennen wat de gevolgen zijn als de suppletie niet uitgevoerd kan worden, ook gezien de koppeling met PAGW. Doel is deze zomer een voorstel te hebben (richting directie RWS Zee & Delta) over hoe het project voortgezet kan worden. Dat is voor een belangrijk deel afhankelijk van wat er in de definitieve wet komt te staan.

Jebbe (zie *slides_Workshop_Schelde-Monding_Introductie.pdf*) licht toe wie er samenwerken (RWS, WMR en Deltares) aan het ontwikkelen van de pilotsuppletie. Daarnaast benoemt hij de doelstelling. Relevante vragen zijn:
1. Welke morfologische en ecologische kennisvragen zijn er?
2. Hoe kan een suppletie & monitoring bijdragen aan het beantwoorden van deze vragen?
3. Wat is een geschikte locatie en ontwerp?
4. Wat is een goed bijpassend meet- en onderzoeksprogramma?

Dit is de derde expertbijeenkomst binnen dit project. Resultaten van eerdere bijeenkomsten zijn vastgelegd in rapporten die al beschikbaar zijn. Nieuwe rapporten over morfologie, ecologie en ondergrond zijn bijna afgerond en binnenkort beschikbaar.

Op dit moment wordt gewerkt aan suppletieontwerpen. Een deel van de kennis daarvoor zal in het eerste deel van dit overleg besproken worden. Daarnaast zal de informatiebehoefte t.b.v. de evaluatie van de suppletie en kennisontwikkeling gedocumenteerd worden (~ juni 2021).

3 Morfologie en berekende effecten van mogelijke suppletievarianten (Roy van Weerdenburg)

Roy geeft een presentatie aan de hand van de slides die zijn opgenomen in het document *slides_Workshop_Schelde-Monding_Morfologie.pdf*

Vragen en discussiepunten tijdens en na de presentatie:

- *De effecten van harde lagen in een raai loodrecht op de Wielingen zijn niet zo uitgesproken als op andere plekken (bijv. in de Westerschelde). Dat komt onder meer omdat het Holocene kleilagen betreft. Deze lagen zijn wel erodeerbaar (d.w.z. niet erosieresistent), maar vertragen het erosieproces.*
- *In transportberekeningen in de Schelde-monding is suspensief transport dominant over bodemtransport.*
- *Op dit moment lijkt er geen tekort aan zand in het suppletiegebied. De suppletie is niet bedoeld om tekorten op die schaal tegen te gaan.*
- *Om de ontwikkeling van de suppletie te kunnen volgen is het belangrijk dat de suppletie groot genoeg is ten opzichte van de natuurlijke dynamiek (erosie/ sedimentatie). Een dikkere suppletie levert een sterker morfologisch signaal op.*
- *De bijdrage van verschillende processen in de ontwikkeling van suppletievarianten kan nog verder uitgezocht worden, bijvoorbeeld door de ontwikkeling van de suppletie te simuleren in een modelberekening zonder golven. Daarnaast verdienen de verhouding tussen bruto en netto transporten en het effect van de suppletie op transportpatronen meer aandacht.*
- *Het aanleggen van een cirkelvormige suppletie is mogelijk lastig en/of duur. Bij de suppletie op de buitendelta van het Amelander Zeegat was de uitvoering een uitdaging door beperkte diepte.*
- *De resultaten van modelberekeningen tonen een vergelijkbare ontwikkeling van de suppletie in een getij-gedomineerd gebied en in een gebied met zowel golf- als getijforcering. Werd dat verwacht? Er is wel een verschil te zien in de richting waarin de suppletie verplaatst.*

4 Ecologische analyses en resultaten (Luuk van der Heijden)

Luuk geeft een presentatie aan de hand van de slides die zijn opgenomen in het document *slides_Workshop_Schelde-Monding_Ecologie.pdf*

Vragen en discussiepunten tijdens en na de presentatie zijn hieronder kort samengevat:

- *Effecten op bodemdiergemeenschappen door een verandering van de bodemschuifspanning door een suppletie zou ook bijdragen aan kennisontwikkeling als de soorten daar hinder van ondervinden.*
- *In het suppletiegebied is veel heterogeniteit te zien in de clusters. Dat kan door veranderingen in de tijd komen, maar ook door kleinschalige variaties. Blijkbaar is het in dit gebied zonder suppletie al lastig te voorspellen wat er voor soorten voorkomen. Daardoor wordt het heel moeilijk om de effecten van de suppletie op de gemeenschappen te monitoren. (Meerdere) T0 metingen kunnen mogelijk helpen. Ook kan hogere resolutie van meetdata (fijnere kartering) onzekerheid wegnemen.*
- *Is het mogelijk om in een gecontroleerde omgeving (lab) het effect van een suppletie op bodemdiergemeenschappen te analyseren? Dat is niet eerder gedaan. Wellicht is er in literatuur al een en ander beschikbaar (bedelfbaarheidsexperimenten).*
- *In de aanloop naar de suppletie kan de monitoring al gestart worden.*

5 Discussie – Onderzoek en monitoring (in kleine groepen)

In drie kleine groepen worden suggesties voor (1) monitoring en (2) (complementair) onderzoek besproken. Hieronder zijn de belangrijkste suggesties vanuit de drie groepen opgenomen.

Groep 1: Ecologie - Cor, Peter, Johan, Vincent, Ingrid en Luuk

<u>Opmerking voor monitoring:</u>

- Heterogeniteit in beeld brengen met multibeam, boxcore en bodemschaaf.
- Kleinschalige experimenten kunnen een bijdrage leveren als je te maken hebt met een heterogeen gebied.
- Referentiegebieden worden zeer waarschijnlijk pas later aangewezen, nadat een grote t-0 meting (of t-1 meting) is uitgevoerd. Aan de hand daarvan kan een (of meerdere) referentiegebied(en) aangewezen worden.

<u>Opmerking voor onderzoek:</u>

- Modelverkenning is de moeite waard, wat is er mogelijk met modellering van fytoplankton, nutriënten en gesuspendeerd organisch materiaal? Daarbij wel gebruik makende van bestaande modellen en niet alles opnieuw uitvinden. Ook remote sensing (bijv. chlorofyl-a) kan hierbij betrokken worden.
- Houden we het bij benthos of wordt het onderzoek breder? De eerste indruk lijkt dat benthos een goede indicator is van verstoring (lokaal) door hun beperkte bewegingsvermogen en relatief hoge voortplantingsdynamiek. Dus lijkt benthos in eerste instantie de hoofdcomponent van het onderzoek.

Groep 2: Korte-termijn morfodynamiek en onderliggende processen – Marco, Stefan, Bart, Laurie, Sander en Jebbe

<u>Opmerkingen voor monitoring:</u>

- *Belangrijk om de T0 situatie al goed te monitoren. Suggesties voor monitoring zijn multibeam bodemopnames, sedimentsamenstelling, het meten van golven en stroming met ADCP's in Spleet en de ebschaar.*
- *Bij 2 verschillende suppletielocaties dienen de verschillen tussen locaties in detail gemonitord te worden. Daarbij spelen ook seizoenseffecten (bijv. golven in stormseizoen).*

- *Koppeling met het KG2 onderzoek en de uitwisseling met de Vlaamse kust.*
- *De effecten van de suppletie op de hoofdfuncties moeten verder bepaald worden.*
- *Modelvalidatie (en dus validatiedata) is erg belangrijk.*
- *De ingreep vindt plaats op relatief kleine schaal, terwijl kennisvragen ook op grotere schaal spelen.*

Opmerkingen voor onderzoek:

- *Er kan een modelvalidatie uitgevoerd worden met bestaande en nieuwe data*
- *Met een gevalideerd model kan het scenario-onderzoek verder uitgewerkt worden: wat zijn de drijvende processen?*
- *Opschaling naar lange termijn en grotere schaal*
- *Kennisprogramma ZSS: Uitwisseling met Vlaanderen*
- *Link met project Vlaamse Kustvisie. Daarin is nog geen visie op monitoring of een pilot (Youri Meersschaut).*
- *Er komt 30 M m3 specie vrij bij het aanleggen van een nieuw dok in de haven van Antwerpen. Wellicht is een koppeling met dit project mogelijk voor opschaling.*

Groep 3: Lange-termijn morfodynamiek en ondergrond – Gert-Jan, Ad, Jelmer, Kaspar, Marcel en Roy

- *Een uitgebreide analyse van een multibeam bodemopname geeft waarschijnlijk veel inzicht in processen en is waardevol voor modelvalidatie. De multibeam opname is net zo belangrijk voor het suppletiegebied als voor andere gebieden in de Schelde-monding.*
- *Boringen zijn nodig om te leren over sedimentaire structuren, de dikte van de actieve zone en de bodemsamenstelling. Boxcore monsters (waarschijnlijk onderdeel van ecologische monitoring) geven de bovenste 30 cm. Als aanvullend ook langere kernen worden gestoken kan ook in kaart gebracht worden wat daaronder gebeurt. Ondiepe seismiek zou dit beeld compleet maken.*
- *Voor het opschalen van resultaten naar de schaal van het estuarium zullen modelberekeningen nodig zijn. Er is dan kalibratie- en validatiedata nodig.*
- *Harde lagen hebben een verschillende erodeerbaarheid. Er zijn boringen nodig om die te bepalen. Motivaties om de harde lagen goed in kaart te brengen zijn dat de ontwikkeling van de Schelde-monding niet verklaard kan worden door zand- en slibdynamiek alleen. Dat is anders dan bij de buitendelta van Ameland; in de Schelde-monding zijn meer harde lagen te vinden en ze liggen dichter bij de oppervlakte. Maatregelen (bijv. ter mitigatie van zeespiegelstijging) kunnen last krijgen van die harde lagen, en kennis van de harde lagen is nodig om effecten van ZSS te voorspellen. Daarnaast is inzicht in de verbreiding en snelheid van erosie van harde lagen zeer relevant voor het beheer van mondingsgebieden.*
- *Zijn er sporen van bioturbatie zichtbaar op de Vlakte van de Raan? Dat zegt iets over de snelheid van omwerking van de bodem door golven en stroming. Daarvoor zijn boxcore of vibrocore monsters nodig.*
- *Bij het TRAILS project (o.a. Ad van der Spek is betrokken) op de buitendelta van Ameland wordt geprobeerd om gesuppleerd zand te volgen aan de hand van het verval van de natuurlijke radioactiviteit van zandkorrels. Wellicht is een koppeling met dit onderzoek mogelijk.*

6 Afsluiting

Aanvullende opmerkingen:

- Tot nu toe lag de focus van ecologische analyses op het voorkomen van benthische organismen in de Schelde-monding. Er is nog geen aandacht besteed aan de rol ervan in het ecologisch functioneren en ook niet aan de primaire productie en de

uitwisseling van nutriënten met de Westerschelde. Daar ligt nog een flinke onderzoeksopgave.

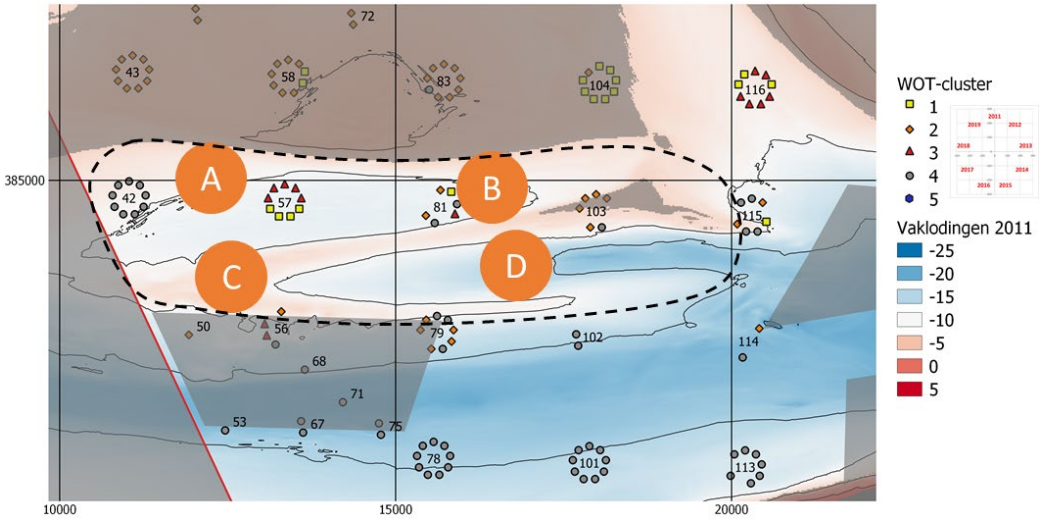
- Een goed en gericht ingestoken T0 meetcampagne levert al een schat aan informatie op. Wellicht is dat ook een goed aangrijpingspunt om nog eens de gekozen suppletielocaties tegen het licht te houden in relatie tot de opgaves in het gebied vanuit het kustbeleid en natuurdoelstellingen (opmerking van Stefan Pluis na afloop).
- Uitvoerbaarheid van suppleties is een punt. Kennis over uitvoerbaarheid is beschikbaar bij aannemers, maar ook bij het programma Kustlijnzorg van RWS. Betrek de uitvoering tijdig om te checken of op de gekozen suppletielocatie het überhaupt mogelijk is een suppletie aan te brengen. Bijvoorbeeld in het onderzoek naar systeemsuppleties in het kader van KPP B&O Kust zijn bepaalde suppletievarianten afgevallen, simpelweg omdat het niet mogelijk is deze uit te voeren (opmerking van Stefan Pluis na afloop).
- Het beoogde suppletievolume is relatief laag. Ervaring vanuit de buitendeltasuppletie Amelander Zeegat (5 miljoen m3) leert dat 2 jaar na aanleg ongeveer 1/3 van het suppletievolume verdwenen is. Een groter volume zal ervoor zorgen dat de levensduur groter zal zijn en de suppletie minder snel in de Vlakte van de Raan zal opgaan (opmerking van Stefan Pluis na afloop).

Een volgende expertsessie kan wellicht opgedeeld worden in groepen van verschillende disciplines om inhoudelijk verder te verdiepen.

C Gemeenschapsanalyse WOT-data

De kennis van de bodemdiergemeenschap, op basis van een analyse van de WOT-data (2011-2019) en afgeleid van Escaravage & van der Heijden (2021), wordt hier per monsterlocatie in het interessegebied beschreven (zie Figuur C.1):

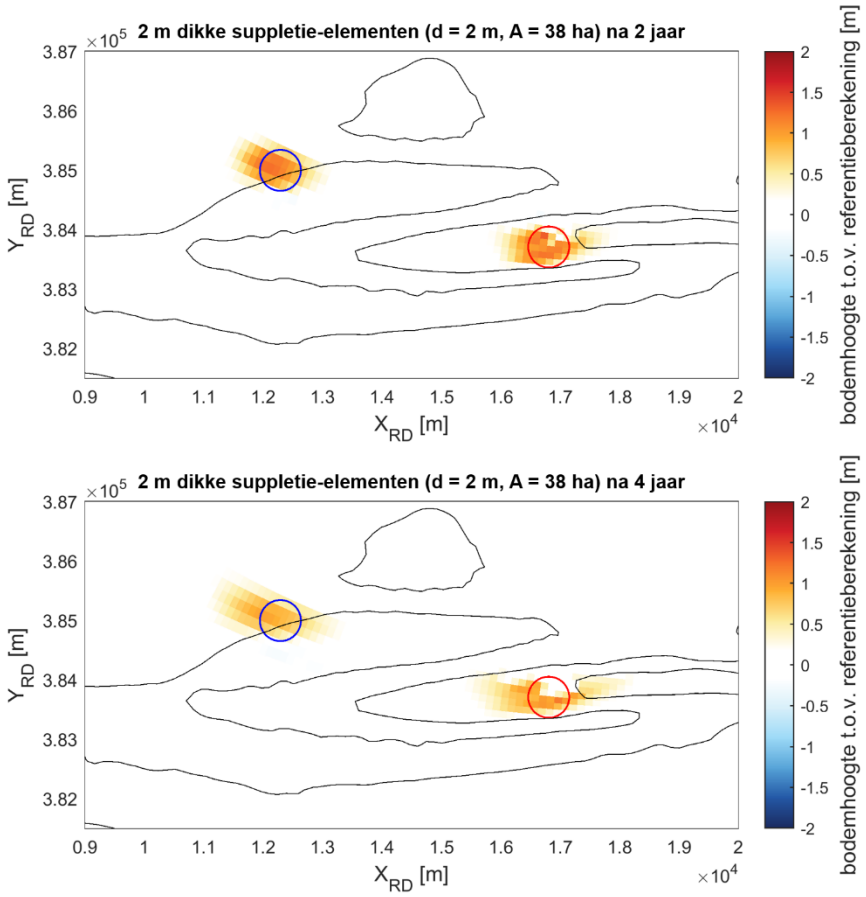
- De bodemdiergemeenschap van monsterpunt *42* (meest westelijk) bestaat voor de gehele periode (2011-2019) uit een *Limecola*-gemeenschap.
- De gemeenschappen waargenomen bij monsterpunt 57 variëren sterk over de tijd (2011-2019), in de eerste periode (2011-2013) betreft het een *Abra*-gemeenschap (cluster 3), waarna er voor vier jaar een *Donax*-gemeenschap wordt waargenomen. In de laatste twee jaar wordt weer een *Abra*-gemeenschap waargenomen.
- Bij monsterpunt 81 wordt een nog grotere variatie over tijd waargenomen in bodemdiergemeenschappen, van een krabgemeenschap naar een *Donax*-gemeenschap, een *Limecola*-gemeenschap en een *Abra*-gemeenschap. Het laatste moment van bemonster (2017) werd er een krabgemeenschap aangetroffen.
- De bodemdiergemeenschap bij monsterpunt 103 bestaat de meeste jaren uit een krabben-gemeenschap, met uitzondering van 2015 waarin hier een *Limecola*-gemeenschap wordt aangetroffen.
- Voor monsterpunt 115 geldt, net als voor monsterpunt 103, dat de krabben-gemeenschap (2012 en 2017) en de *Limecola*-gemeenschap (2011, 2015-2016 en 2019) elkaar afwisselen over de tijd.
- Bij monsterpunt 102 wordt er in de twee jaren dat er gemonsterd is (2017-2018) een *Limecola*-gemeenschap waargenomen.
- De bodemdiergemeenschap bij monsterpunt 79 toont vergelijkbare variatie als monsterpunt 103 met voornamelijk krabben-gemeenschappen en enkele jaren waarin de *Limecola*-gemeenschap domineert (2011, 2012 en 2015).



Figuur C.1. Overzicht van de bodemdiergemeenschappen (gekleurde symbolen) uit een clusteranalyse van WOT data voor de jaren 2011 t/m 2019 (in chronologische volgorde in een cirkel rondom het monsterpunt met de klok mee; 2011 is het punt direct boven het monsterpunt met de klok mee; 2011 is het punt direct boven het monsterpunt). De achtergrond betreft de Vaklodingen bodemdata voor het jaar 2011, de gestippelde polygoon betreft het interessegebied, het cijfer is de monsterlocatie en code, en de vier oranje cirkel met letters zijn de mogelijke suppletielocaties. Figuur afgeleid van de studie van Escaravage & Van der Heijden (2021).

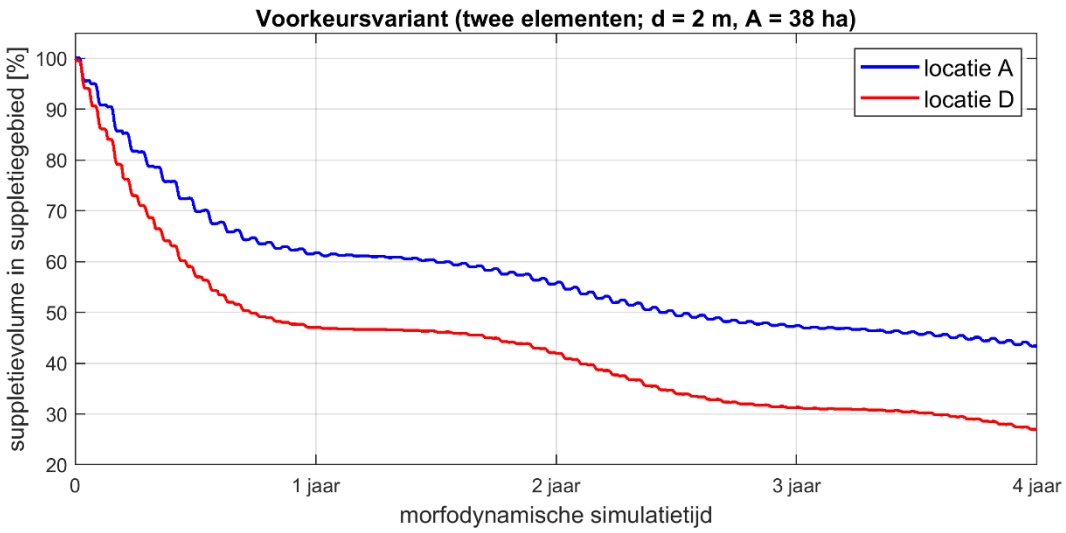
D Morfodynamische berekeningen hybride variant

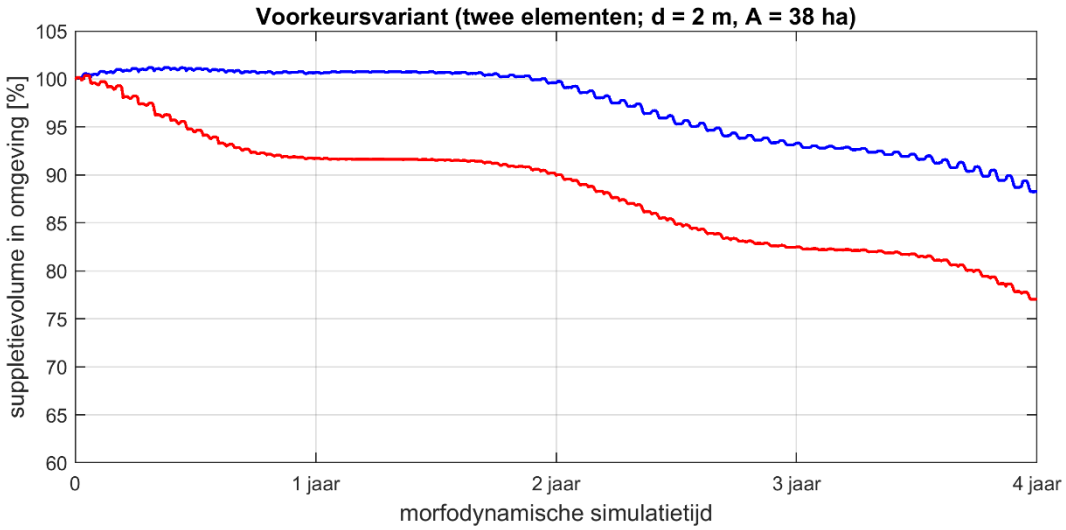
Figuur D.1. De richting waarin de suppletie verplaatst is gelijk aan de verplaatsingsrichting van suppleties met een oppervlakte van 75 ha, namelijk richting het noordwesten voor de noordwestelijke suppletie (locatie A) en zowel naar het westen als naar het oosten voor de zuidoostelijke suppletie (locatie D). De suppletiedikte na 2 jaar en na 4 jaar (ten opzichte van een referentieberekening zonder suppletie) is kleiner door de afname van het suppletie-oppervlakte van 75 ha naar 38 ha.



Figuur D.1. Berekende ontwikkeling van de voorkeursvariant (2 suppletie-elementen met een oppervlakte van 38 ha en een dikte van 2 m) na 2 jaar (boven) en na 4 jaar (onder). De gekleurde cirkels tonen het gebied waarbinnen de suppletie is aangelegd. Dieptecontouren tonen de initiële bodemligging in de referentieberekening (met een interval van 5 m NAP).

Na twee jaar is nog c.a. 55% van het suppletievolume op locatie A binnen de contour van het initiële suppletie-oppervlakte aanwezig. Voor suppletielocatie D is dat c.a. 40% (Figuur D.2). Na vier jaar is nog ongeveer 45% en 25-30% van het volume aanwezig op locaties A en D, respectievelijk. Dat is minder dan voor suppletie-elementen met het dubbele oppervlakte (en dus het dubbele suppletievolume; zie paragraaf 4.3. Merk op dat het controlevolume dat gebruikt wordt ter bepaling van het suppletievolume binnen de contouren van het initiële suppletie-oppervlakte kleiner wordt naarmate het suppletie-oppervlakte afneemt. Na 4 jaar is nog c.a. 90% (locatie A) en 75% (locatie D) van het suppletievolume in de omgeving van de suppletielocatie aanwezig (Figuur D.3).Dat is vergelijkbaar met de suppleties van 75 ha.





Figuur D.3. Suppletievolume dat nog aanwezig is binnen een gebied met een straal van 1000 m vanaf het midden van de twee suppletie-elementen van de voorkeursvariant.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl