

Redeneerlijn slib



Redeneerlijn slib

Auteur(s)

Thijs van Kessel

Anne Ton

Luka Jaksic

Redeneerlijn slib
werkdokument

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Jan Jaap Tukker
Projectreferenties	-
Trefwoorden	Slibmodel, redeneerlijn, zandwinning op zee, milieueffect, sliblast, ecologische effecten

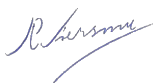
Documentgegevens

Versie	1.1
Datum	10-03-2026
Projectnummer	11212071-000
Document ID	11212071-000-SUB-0002
Pagina's	42
Classificatie	
Status	Definitief

Auteur(s)

Thijs van Kessel Anne Ton Luka Jaksic	

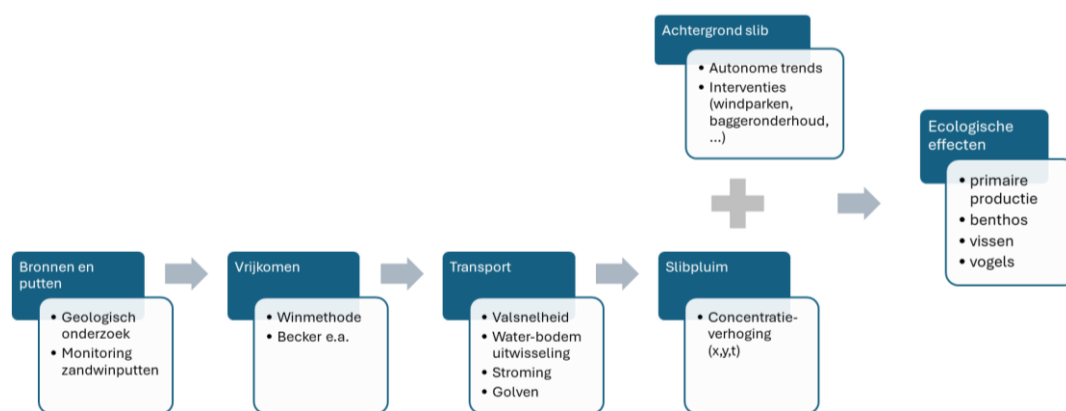
Gebruik van deze tabel is voor de controle van de juiste uitvoering door Deltares van de opdracht. Ieder ander klantgebruik en externe verspreiding is niet toegestaan.

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord
1.0	 Thijs van Kessel Anne Ton Luka Jaksic	 Marcel Taal	 Ane Wiersma

Samenvatting

Voor het bepalen c.q. inschatten van mogelijke milieueffecten van zandwinning op zee is de keten 'vrijkomen slib tijdens winning' – 'transport van slib' – 'gevolgen voor de ecologie door veranderingen in de primaire en secundaire productie (o.a. schelpdiergroei)' belangrijk. Hiervoor is bij MER 2018-2027 een slibmodel ontwikkeld. Het is de vraag of voor de volgende MER-aanvraag nieuwe berekeningen met deze modelketen gedaan moeten worden om goede milieueffectrapportages te maken. Voor de MER-zandwinning 2028 – 2037 levert dit document een 'redeneerlijn slib en fijne fractie'.

De redeneerlijn start met een uiteenzetting van de veranderingen in inzicht over de aannames voor het oude model. Hierna is beredeneerd wat dit betekent voor de belasting van slib op het systeem door zandwinning. De hoofdstukken 2 t/m 5 beschrijven dit aan de hand van het onderstaand stroomschema:



Onderstaande tabel geeft het overzicht van de veranderingen die kunnen leiden tot een verhoging of een verlaging van de sliblast t.o.v. de MER 2018-2027.

+ (verhoging)	– (verlaging)	+/- (onzeker)
Winning vanuit bestaande putten: verstoring sliblaag in put	Putten: sedimentatie en berging slibrijke baggerspecie	Wintabellen → geologisch onderzoek
Lokaal begraven slib draagt bij aan lange termijn effecten	Sliblast 100% → ~70%	Valsnelheid → monsteranalyse
Onderhoudsbaggerwerk	Windparken (in de kustzone)	Achtergrondconcentratie

Hoofdstuk 6 geeft aanbevelingen om de invloed van deze veranderingen op de sliblast en de ecologische effecten te kwantificeren en onzekerheden te verminderen. De belangrijkste zijn:

- In afwachting van de resultaten van het geologische onderzoek kunnen de volgende scenario's worden geschetst:
 - Bronterm binnen bandbreedte vorige MER -> bestaande scenario's zijn in principe bruikbaar;
 - Bronterm buiten bandbreedte vorige MER -> nieuwe scenarioberekeningen.

Bij bandbreedte gaat het niet alleen om de totale hoeveelheid maar ook over de verdeling over de wingebieden en in de tijd. Hierbij is t.o.v. de vorige MER rekening te houden met 30% reductie van de bronterm vanwege slib dat tijdens winning achterblijft in de beun.

- De vorige MER beschouwt de invloed van diepe(re) wingebieden op de invang van slib niet. Deze redeneerlijn geeft een eerste orde-grootte schatting voor deze invangsnelheid. Een nauwkeuriger bepaling valt buiten de reikwijdte van deze redeneerlijn en past in een vervolg.
- De in de vorige MER geïdentificeerde onzekerheid in de valsnelheid van slib bestaat nog steeds. De aanbeveling om deze onzekerheid te verkleinen d.m.v. aanvullend onderzoek wordt herhaald en onderstreept, in het bijzonder voor toepassingen na de huidige MER. Alleen dan kunnen de meetresultaten van destijds met minder onzekerheid gemotiveerd worden gekwalificeerd als 'niet toepasbaar in het model dat in de MER is gebruikt' of alsnog worden meegenomen.
- Toets de achtergrondconcentratie van de vorige MER tegen de waarnemingen van lopende in-situ monitoring en satellieten. De slibpluimen als gevolg van zandwinning zijn hiervan grotendeels onafhankelijk, maar voor de ecologische beoordeling is deze achtergrond belangrijk als referentie.

Inhoud

	Samenvatting	4
	Inhoud	6
1	Inleiding	7
1.1	Vraag- en opdrachtstelling	7
1.2	Aanpak	7
2	Bronnen en putten	9
2.1	Veranderingen in zoekgebieden	9
2.2	Slibinvang in putten	14
2.3	Hoeveel komt vrij?	17
3	Transport	20
3.1	Valsnelheid	20
3.2	Invloed stroming en golven	21
4	Water-Bodemuitwisseling	23
4.1	Invloed op slibpluimen	23
4.2	Invloed op de achtergrondconcentratie	23
5	Impact	25
5.1	Autonome ontwikkeling	25
5.1.1	Jaar op jaar variatie	25
5.1.2	Andere bestaande activiteiten met impact op de slibhuishouding	26
5.1.3	Activiteiten in het verleden – Pluim Maasvlakte 2	28
5.2	Ecologische gevoeligheid slibblast	28
5.2.1	Effecten primaire productie	28
5.2.2	Suggesties voor de ecologische doorvertaling	29
6	Synthese	31
6.1	Slibmodel	31
6.2	Slibblast door zandwinning	32
6.2.1	Bronnen en Putten	32
6.2.2	Transport en uitwisseling bodem	32
6.3	Impact	32
7	Referenties	35
A	Zoekgebieden	38

1 Inleiding

Een belangrijk onderdeel in het bepalen van mogelijke milieueffecten van zandwinning op zee is de keten 'vrijkomen slib tijdens winning' – 'transport van slib' – 'gevolgen voor de ecologie door veranderingen in de primaire en secundaire productie (o.a. schelpdiergroei)'. Voor de MER 2018-2027 is hiervoor een slibmodel (door)ontwikkeld en toegepast. Dit slibmodel is een modelketen (waterbeweging, slibtransport en -verspreiding, primaire productie). De aanpak bij de MER 2018-2027 vloeide voort uit vragen vanuit de commissie MER.

De opdrachtgever geeft aan dat er nieuwe inzichten zijn die waarschijnlijk effect hebben op de 'worst-case aannames' die bij het vorige MER gedaan zijn. Zij wijst in het bijzonder op de aannames over de hoeveelheid vrijkomend slib tijdens de zandwinning. Daarnaast ziet de opdrachtgever dat er ruimtelijke ontwikkelingen zijn in de Noordzee (in het bijzonder de plaatsing van windmolenparken) die veel omvangrijkere effecten lijken te hebben op de slibhuishouding dan hetgeen vrijkomt tijdens de zandwinning.

De vraagstelling, waarvan 1.1 de details geeft (overgenomen uit de opdracht aan Deltares), is of voor de MER-zandwinning 2028 – 2037 nieuwe berekeningen met deze modelketen gedaan moeten worden en dit via een 'redeneerlijn slib en fijne fractie' te onderbouwen.

1.1 Vraag- en opdrachtstelling

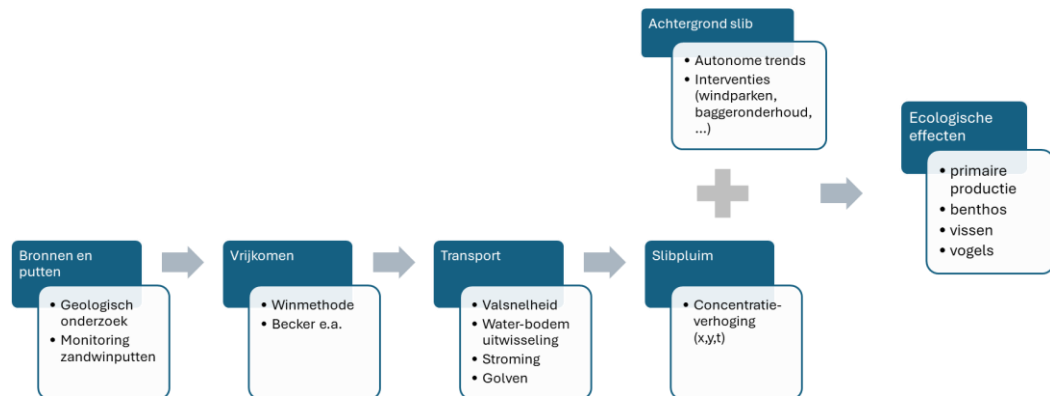
- I. Geef een uiteenzetting van de veranderingen in inzicht over de aannames gedaan in het oude model.
- II. Wat wordt (a.d.h.v. de veranderingen in inzicht) verwacht van de belasting van slib op het systeem door zandwinning? Kan gesteld worden dat de veranderingen in inzicht leiden tot een verzachting van de effecten van zandwinning op het vrijkomen en verspreiding van slib? Hoe staat het effect van zandwinning op slib in verhouding tot andere veranderingen in slibdynamiek (b.v. door de plaatsing van windmolenparken)?
- III. Afstemming met het ingenieursbureau over doorvertaling van deze uitkomsten naar effecten op beschermde doelsoorten.
- IV. Presentatie van de uitkomsten aan het ingenieursbureau dat de MER-en opstelt.
- V. Borgen dat de uitkomsten juist verwerkt worden in de MER-en.

1.2 Aanpak

Het beschrijven van de redeneerlijn slib en fijne fractie gebruikt het stroomschema van Figuur 1-1, dat de volgende termen met onzekerheden bevat:

1. Bronnen en putten: Wat is het slibpercentage in zand (volgt uit geologisch onderzoek)?
2. Vrijkomen: Hoeveel hiervan komt vrij bij zandwinning en toepassing (wellicht nieuwe inzichten uit MEP) of wordt lokaal ingevangen in de bodem?
3. Transport: Wat zijn de slibeigenschappen, m.n. valsnelheid (dit was een onzekerheid in het vorige MER)?
4. Transport: Wat is de invloed van variaties in stroming, golven?

5. Bodem: Hoe snel wordt het slib opgenomen in de bodem en kan het hieruit weer opwervelen?
6. Impact slibpluim: Hoe verhoudt dit zich t.o.v. autonome effecten als windmolenparken?



Figuur 1-1 Stroomschema en beslisboom

In deze aanpak worden de slibdeeltjes als het ware gevolgd vanaf de bron tot aan de vertroebelende werking verder weg tijdens en na zandwinning. Bij iedere stap wordt aangegeven of de aannamen in het bestaande verspreidingsmodel nog steeds van toepassing zijn voor de nieuwe MER 2028 – 2037. Zo nee: leidt dit naar verwachting tot een toe- of afname van de vertroebeling t.o.v. de bestaande berekeningen (die voor het MER 2018-2027 zijn gedaan).

Deze stappen vormen de achtereenvolgende hoofdstukken van dit rapport. In het laatste hoofdstuk worden de vragen genoemd onder paragraaf 1.1 expliciet beantwoord. De voorlopige en definitieve resultaten van deze analyse worden afgestemd met het MER-team voor ecologische doorvertaling en gebruik in het MER.

2 Bronnen en putten

2.1 Veranderingen in zoekgebieden

Voor de aanstaande zandwinningscyclus (2028-2037) zijn er zoekgebieden toegevoegd en zijn sommige zoekgebieden t.o.v. de laatste MER afgefallen (Figuur 2-1). Met hetzelfde beoogde volume van 30 miljoen m³/jaar is het areaal van de zoekgebieden voor MER 2028-2037 ongeveer 1.7x groter dan in de vorige MER (2018-2027). Er zijn dus gebieden bijgekomen met op dit moment onbekende slibpercentages in de bodem. Dit zorgt voor een onzekerheid in het antwoord op de vraag of nieuwe gebieden voor hogere slibconcentraties zullen zorgen bij winning. Ter referentie staan de slibpercentages uit het geologisch onderzoek voor de MER 2018-2027 en de range per subregio in Tabel 2-1.

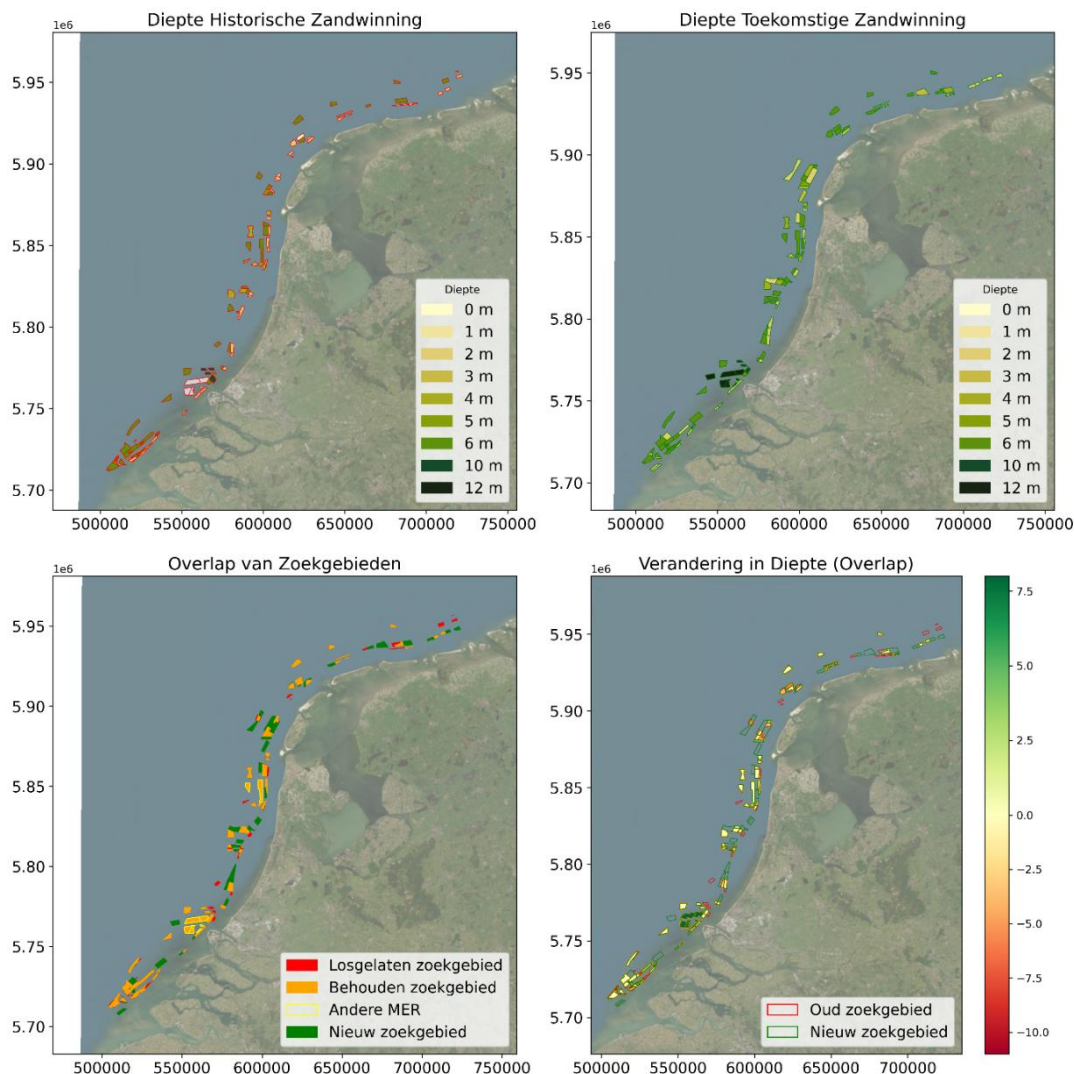
De maximale winddiepte is toegenomen tot 12 m, vergeleken met de vorige MER-Zandwinning (2018-2027). In de ontgrondingenwet/vergunning voor het winnen van zand in de Noordzee voor de aanleg van Maasvlakte 2 (Staatsecretaris van Verkeer en Waterstaat, 2008) is toestemming gegeven voor winning van minimaal gemiddeld 10 m beneden de zeebodem met een maximum tot 20 m beneden de zeebodem. Deze zoekgebieden liggen vooral rond de tweede Maasvlakte (Figuur 2-1, linksonder, gele rand). In deze zoekgebieden is de maximale winddiepte dus afgenomen ten opzichte van de Maasvlakte 2 vergunning. Het slibgehalte in de bodem is onzekerder op grotere dieptes door beperktere beschikbaarheid en/of kwaliteit van de boringen en metingen. Ook neemt het slibpercentage meestal toe met de diepte (Tabel 2-1). Bovendien gaat het hier om nieuwe zoekgebieden, waardoor de onzekerheid t.o.v. de MER (2028-2027) toeneemt. In gebieden waar al eerder gewonnen werd (Figuur 2-1) is de maximale winddiepte vaak onveranderd. Hier dus geen extra onzekerheid; de onzekerheid zit vooral in nieuwe gebieden.

Tabel 2-1 Percentages slib in de bodem zoals gemeten in geologisch onderzoek voor MER 2018-2027 (Van Duin, 2017)

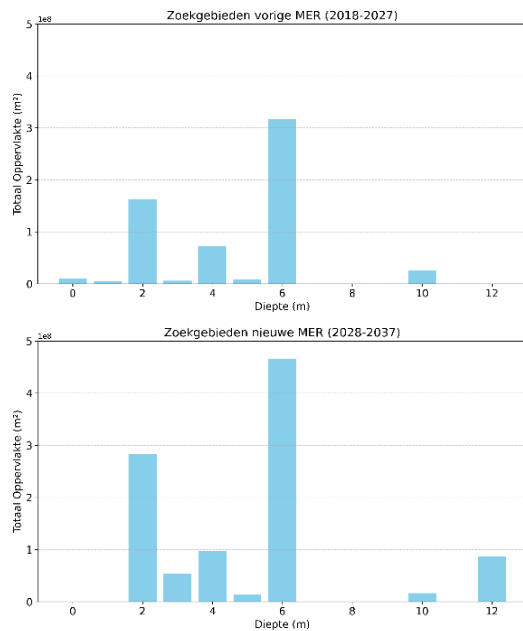
Regio	0-2 meter gemiddelde (minimum; maximum per subregio)	2-6 meter gemiddelde (minimum; maximum per subregio)
Wadden	2,09 (1,08; 2,61)	3,52 (3,00; 4,34)
Hollandse kust	1,93 (1,81; 2,12)	2,13 (1,60; 2,41)
Zeeuwse delta	2,79 (2,44; 3,32)	2,47 (2,33; 3,04)

Figuur 2-2 geeft het areaal per diepteklasse (de te vergunnen winddiepte van het zandwingsgebied). Merk op dat het totale zandwinningsvolume over 10 jaar (300 miljoen m³) slechts 10% is van de capaciteit van de zoekgebieden van 2017-2028 en 5% van de capaciteit van de zoekgebieden van 2028-2037. Het grootste areaal bevindt zich in de diepteklasse van 6 m. De toename van de diepteklasse van 2 m en van 12 m is het grootst. De toename van gebieden in diepteklasse 12 m is gelijk aan de afname van gebieden in de diepteklasse van 20 m.

Naast de verschillen in zoekgebieden, is geanalyseerd in welke van de zoekgebieden van 2028-2037 is gepland zand te winnen voor welk doeleinde (Tabel 2-2, Figuur 2-3). De kanttekening hierbij is dat bij berekening van de capaciteit geen rekening is gehouden met de toekomstige resultaten van de geologische analyse. Hieruit volgen mogelijk nog beperkingen op het winbare gebied.



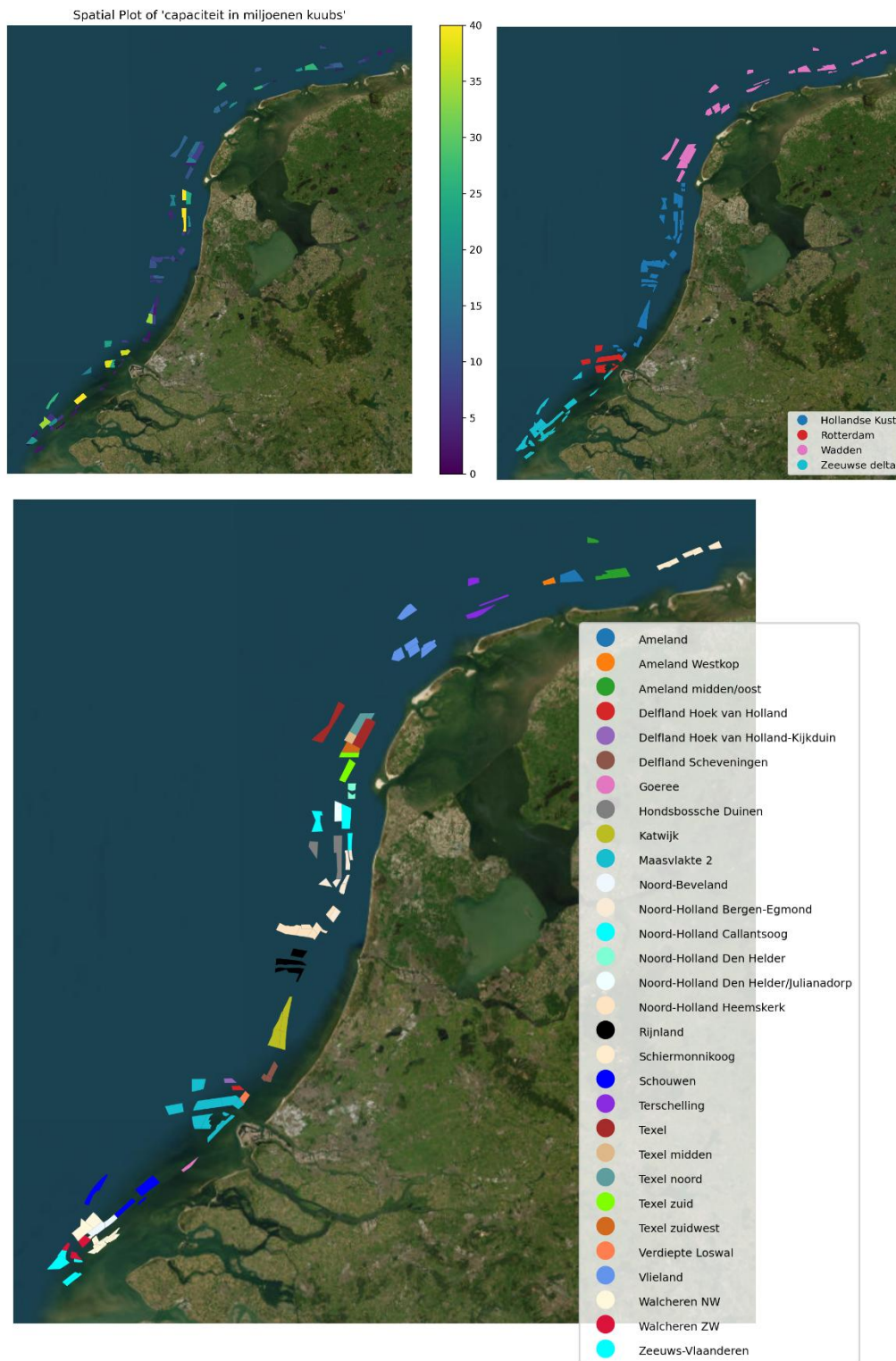
Figuur 2-1. Diepte van zoekgebieden voor zandwinning periode 2018-2027 (linksboven), 2028-2037 (rechtsboven), de overlap tussen de zoekgebieden, met geel omlijnd de gebieden uit MER Maasvlakte2 en Zwakke Schakels (linksonder) en de veranderingen in diepte tussen beide periodes (rechtsonder). Voor een uitvergroting van deze figuren zie Bijlage A.



Figuur 2-2 Areaal per zoekgebied per diepteklasse. Links 2017-2028 MER, rechts 2028-2037 MER zoekgebieden.

Tabel 2-2 Geplande suppleties (in miljoen m³ over de periode 2028-2037) Kustlijnzorg (KLZ) en commerciële zandwinning (LaMER), met bijbehorende capaciteit van de zoekgebieden zoals gedefinieerd in Figuur 2-3

	Kustvak	Suppletielocatie	Zandvraag KLZ	Capaciteit KLZ	Zandvraag / Capaciteit KLZ (%)	Zandvraag laMER	Capaciteit laMER	Zandvraag / Capaciteit laMER (%)	Totale zandvraag
Wadden	Schiermonnikoog	Schiermonnikoog	8,1	18,8	43,0	11,5	213,6	5,4	
	Ameland	Ameland Westkop	11,2	46,8	23,9				
		Ameland midden/oost	9,8	29,4	33,3				
	Terschelling	Terschelling	8,1	52,1	15,6				
	Vlieland	Vlieland	11,5	71,1	16,2				
	Texel	Texel zuidwest	6,9	30,7	22,5				
		Texel midden	9,4	32,6	28,8				
		Texel noord	4,7	21,8	21,5				
Totaal Wadden			69,7	303,4	23,0	11,5	213,6	5,4	81,2
Hollandse kust	Noord-Holland	Noord-Holland Den Helder/Julianadorp	10,4	45,0	23,1	28,8	246,3	11,7	
		Noord-Holland Callantsoog	8,6	42,2	20,4				
		Hondsbossche Duinen	5,8	77,0	7,5				
		Noord-Holland Bergen-Egmond	9,2	43,0	21,4				
		Noord-Holland Heemskerk	2,3	31,8	7,2				
	Rijnland	Rijnland	5,2	40,8	12,8				
		Katwijk	2,1	58,7	3,6				
	Delfland	Delfland Scheveningen	1,7	8,2	20,7				
		Delfland Hoek van Holland-Kijkduin	3,7	7,0	52,9				
Totaal Hollandse Kust			49,0	353,7	13,9	28,8	246,3	11,7	77,8
Rotterdam	Maasvlakte 2	Maasvlakte 2	5,8	132,0	4,4	51,8	362,5	14,3	57,6
Zeeuwse Delta	Goeree	Goeree	3,5	51,7	6,8	57,5	232,9	24,7	
	Schouwen	Schouwen	4,0	65,0	6,2				
	Noord-Beveland	Noord-Beveland	2,3	25,6	9,0				
	Walcheren	Walcheren NW	3,5	17,3	20,3				
		Walcheren ZW	5,5	37,2	14,8				
	Zeeuws-Vlaanderen	Zeeuws-Vlaanderen	6,6	28,2	23,4				
Totaal Zeeuwse Delta			25,4	224,9	11,3	57,5	232,9	24,7	82,9



Figuur 2-3 Geplande zoekgebieden gekleurd naar regio

Geplande zandwinning voor tijdvak 2028-2037 zijn gekoppeld aan de verschillende zoekgebieden (Figuur 2-3). Per suppletie locatie is het geplande suppletievolume (zandvraag) ingeschat door Rijkswaterstaat en st. Ia MER (Tabel 2-2). Ook is de capaciteit van de gelinkte zoekgebieden berekend (Tabel 2-2):

- Zeeuwse Delta: Zoekgebieden tot 6 m diep, 11-25% van capaciteit ingezet.
- Rotterdam (Maasvlakte 2): Zoekgebieden tot 12 m diep, 4-15% van capaciteit ingezet.
- Hollandse Kust: Zoekgebieden voor Delfland tot 10 m diep, rest 2-6 m diep, 11-14% van capaciteit ingezet.
- Wadden: Zoekgebieden 2-6 m diep, 5-23% van capaciteit ingezet

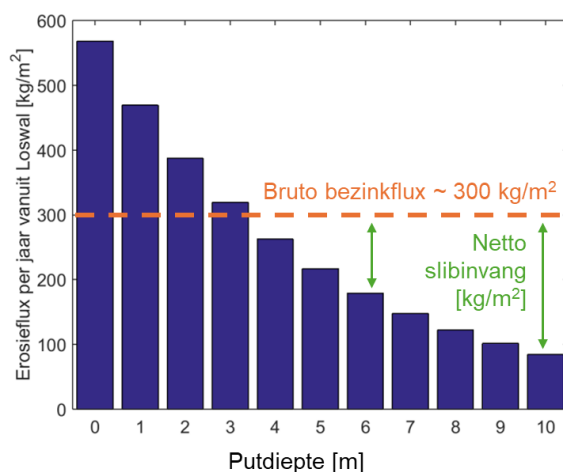
Het grootste gedeelte van de Maasvlakte 2 gebieden komt of uit de MER 2018-2027 ofwel uit de beschikking voor Maasvlakte 2 (Staatsecretaris van Verkeer en Waterstaat, 2008).

Voor het kleine deel nieuwe zoekgebieden, maakt dat de onzekerheid van het slibgehalte op deze locatie door beperkte beschikbaarheid of kwaliteit metingen, nog belangrijker wordt vanwege de mogelijk diepe winning. Daarnaast kunnen diepere putten netto meer slib invangen. Hier zal in de volgende sectie op worden ingegaan.

2.2 Slibinvang in putten

De slibhuishouding wordt zowel beïnvloed door het vrijkomen bij winning als door het invangen in de zandwinputten. De slibinvang kan ingeschat worden met de methodiek die in een TKI-studie van Haskoning en Deltares is gepresenteerd (Hendriks en Schuurman, 2017).

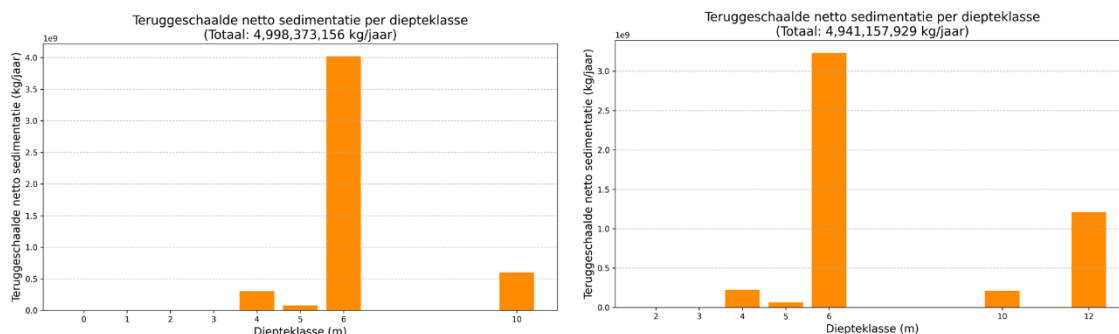
Op basis van valsnelheid (w_s) en concentratie van slib in de waterkolom (C) is de bruto bezinkflux te berekenen. Door de bruto bezinkflux en de (potentiële) erosieflux vanuit de put van elkaar af te trekken, wordt de netto slibinvang berekend. Het blijkt dat deze toeneemt naarmate de put dieper wordt (Figuur 2-4).



Figuur 2-4 Netto slibinvang als functie van bruto bezinkflux $w_s \times C$ (ca. $300 \text{ kg/m}^2/\text{jaar}$) en erosieflux vanuit de put. w_s is valsnelheid (ca. 0.5 mm/s) en C in slibconcentratie in de waterkolom (ca. 20 mg/l).

Op basis van Figuur 2-4 is te concluderen dat bij putten dieper dan 4 m t.o.v. de omgeving er netto slibinvang optreedt. Bij het verder uitdiepen van bestaande putten die dieper zijn dan 4 m, kan het eerder ingevangen slib vrijkomen. Omdat op dit moment niet duidelijk is tot welke diepte er zand is gewonnen in bestaande putten, leidt dit tot onzekerheid over de bronterm van slib bij winning. Bij winning is dus aan te bevelen om de putten of gelijk maximaal uit te diepen, zodat er tussen winningen geen invang plaatsvindt, of niet dieper dan circa 4 m te winnen als wel in fases gewonnen wordt. Bij putten ondieper dan circa 4 m is de potentiële erosieflux van slib groter dan de bruto sedimentatie, zodat er netto geen slib accumuleert. Er kan wel tijdelijke sedimentatie optreden in rustige periodes

Op basis van de berekende netto slibvang per diepteklasse per areaal (4-10 m), kan voor elke diepteklasse de maximale netto slibvang per jaar berekend worden. Het areaal per diepteklasse is immers bekend (Figuur 2-2). Dit moet worden gecorrigeerd voor het percentage uitbating van de zoekgebieden. Voor de periode 2017-2028 is slechts 10% uitgebaat om op 30 miljoen m³ zand/jaar te komen. Voor de zoekgebieden van de MER 2028-2037 is dat zelfs maar 5%. Uit schaling van de netto sedimentatie per diepteklasse volgt een zeer vergelijkbare netto slibvang per jaar voor de zoekgebieden van de MER 2017-2028 en 2028-2037 (Figuur 2-5), van bijna ~5 MT/jaar. Let wel dat dit een orde-grootte schatting van de gemiddelde sedimentatie is op basis van een uniform aanbod van slib en een uniform golfklimaat. Deze schatting kan worden verfijnd door rekening te houden met lokale omstandigheden per put.



Figuur 2-5 Berekende netto sedimentatie in putten per diepteklasse op basis van methode van Hendriks en Schuurman (2017) toegepast voor zoekgebieden MER 2018-2027 (links) en MER 2028-2037 (rechts), geschaald naar respectievelijk 10% en 5% daadwerkelijke uitbating

Een indicatie voor de locatiegevoeligheid van de slibvang kan op basis van modeluitvoer worden bepaald, zie Tabel 2-3. Hieruit blijkt dat op locaties dicht bij de kust zowel de bruto bezinkflux als de bruto erosieflux (voor putdiepte 0 m d.w.z. een vlakke bodem) groter zijn dan verder uit de kust. Verder is te zien dat naar het noorden toe (bij Terschelling) deze bruto fluxen lager zijn dan bij de Hollandse en Zeeuwse kust. Dit betekent dat de netto invangsnelheid in de Maasmond, zoals getoond in Figuur 2-4, een bovengrens is. Elders is deze invangsnelheid kleiner. Dus de schatting van ~5 MT/jaar netto slibsedimentatie in putten is een bovengrens. Deze flux kan met een detailanalyse nauwkeuriger worden berekend, waarbij rekening wordt gehouden met de vorm en oriëntatie van de putten. Ook is validatie aanbevolen op basis van waarnemingen van de sedimentatiesnelheid in putten en veranderingen in bodemsamenstelling.

Tabel 2-3 Erosie- en sedimentatieflux op verschillende MWTL-locaties (Figuur 2-6) berekend uit het ZUNO-DD model zoals gebruikt voor de MER 2018-2027. Voor een putdiepte van 10 m is aangenomen dat de bruto erosieflux 20% bedraagt van de bruto erosieflux bij een vlakke bodem, conform de bovenstaande analyse voor de IJswal Rotterdam. Dit percentage is indicatief en hangt af van de vorm van de put en de relatieve bijdrage van het getij en golven aan de bodemschuifspanning.

Station	Bruto bezinkflux (kg/m ² /jaar)	Bruto erosieflux (kg/m ² /jaar) putdiepte = 0 m	Netto bezinkflux (kg/m ² /jaar) bij putdiepte 0 / 10 m
Terschelling 10 km	18	116	-98 / -5
Noordwijk 10 km	92	570	-478 / -22
Ter Heide 10 km	124	441	-317 / 36
Ter Heide 4 km	261	888	-627 / 83
Goeree 10 km	242	795	-553 / 83



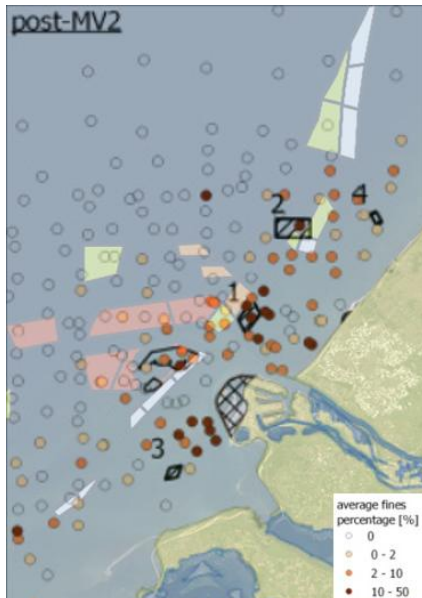
Figuur 2-6 MWTL-stations

Een slibinvang van enkele MT/jaar is niet verwaarloosbaar t.o.v. het jaarlijkse slibtransport langs de Noordzeekust in de orde van 10 -20 MT/jaar (volgens diverse studies, samengevat in Colina et al. 2023). Conclusie is dat, ondanks dat er relatief meer diepe zoekgebieden zijn opgenomen in de MER van 2028-2037 t.o.v. 2018-2027, de netto slibinvang in de putten ongeveer gelijk blijft. In de MER van 2017-2028 is geen rekening gehouden met invang en het effect daarvan op transport naar de Waddenzee. Het is opmerkelijk dat de invang van slib na winning van orde enkele MT/jaar mogelijk groter is dan de bronterm van slib tijdens winning (orde 0.5 MT/jaar, zie Van Duren et al., 2017). Deze tegengestelde effecten kunnen gelijktijdig optreden en de gecombineerde effecten op de troebelheid zijn met monitoring in de praktijk moeilijk vast te stellen op grote schaal (op kleine schaal is de vertroebeling van pluimen wel goed meetbaar).

Een kanttekening bij voorafgaande is wel dat veel van de 12-m putten in de nieuwe zoekgebieden samenvallen in een klein gebied rond de tweede Maasvlakte. Wanneer deze allemaal uitgebaat zouden worden, zou dat lokaal een sedimentatie van max ~1 MT/jaar betekenen (Figuur 2-5).

De netto slibinvang neemt toe met de putdiepte totdat resuspensie vanuit de put verwaarloosbaar is (Figuur 2-4). Voor nog diepere putten neemt de slibinvang per m² niet verder toe, maar doordat bij een gelijkblijvend zandwinvolume het putareaal bij diepe winning kleiner is dan bij ondiepe(re) winning, neemt de totale slibinvang dan weer af. Figuur 2-4 -

In Figuur 2-7 zijn de slibpercentages in de bodem, zoals geanalyseerd in Hendriks et al. (2020), geprojecteerd op de zoekgebieden. Hier is te zien dat hier percentages tot 10% zijn gevonden. Hoewel het grootste deel van deze zoekgebieden al eerder is vergund, is het toch goed bewust te zijn van deze percentages en de samenhangende slibconcentraties bij winning. Voor de andere nieuwe zoekgebieden is de onzekerheid in potentiële slibconcentraties vergroot t.o.v. de MER 2018-2027, omdat er onzekerheid is in het slibgehalte door beperkte beschikbaarheid of kwaliteit van metingen.

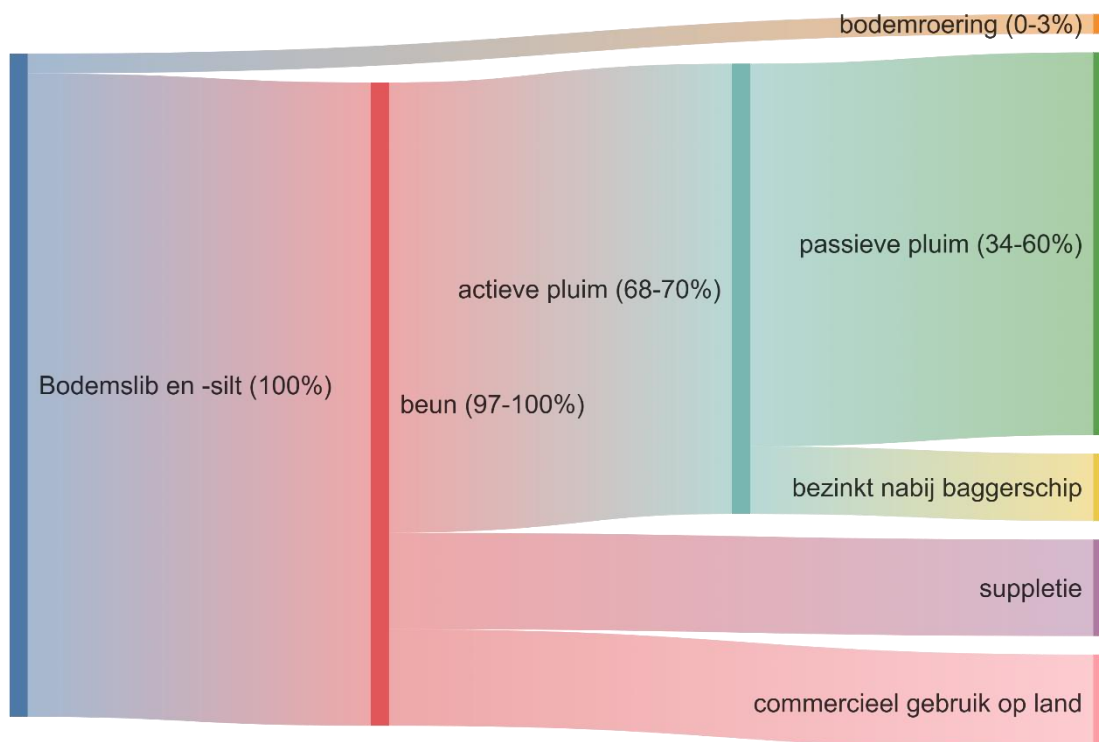


Figuur 2-7 Waargenomen slibpercentage in de toplaag van de zeebodem in het Maasmondgebied (Hendriks et al., 2020).

Een toename in de netto slibvangst kan een verhoogde slibconcentratie in de waterkolom compenseren en het effect op primaire productie verminderen. Aan de andere kant kan vangst ook de beschikbaarheid van sediment voor 'de kusttrivier' met transport richting Waddenzee verminderen. Dit is aan de orde als de slibvangst in de (diepe) putten significant is t.o.v. de natuurlijke slibflux in de kusttrivier.

2.3 Hoeveel komt vrij?

-In de vorige MER (2018-2027) is de conservatieve aanname gedaan dat al het fijne sediment ($<63 \mu\text{m}$) in het gewonnen zand vrijkomt in de waterkolom tijdens de winning en bijdraagt aan grootschalige vertroebeling. Op basis van nieuwe inzichten kan geconcludeerd worden dat een slibblast van 70% van de fijne sedimentmassa uit het gewonnen zand een betere bovengrens is. Hierbij kan nog onderscheid worden gemaakt tussen slib dat in de waterkolom blijft en slib dat bezinkt nabij het baggerschip en via resuspensie bijdraagt aan vertroebeling. Dit wordt hieronder toegelicht op basis van Figuur 2-8, die de belangrijkste brontermen weergeeft voor verschillende fasen van het zandwinningsproces. Hierbij is aangenomen dat de werkzaamheden door sleephopperzuigers worden uitgevoerd. Dit type baggerschepen wordt doorgaans gebruikt bij zandwinning in de Noordzee en is ook geschikt voor de nieuwe, diepere putten van 12 meter (L. de Wit, pers. communicatie, 15 oktober 2025).



Figuur 2-8 Brontermen tijdens zandwinningsproces door sleephopperzuigers, op basis van literatuur (Becker, et al., 2015; Laboyrie, et al., 2018) en CFD-modelstudies (de Wit, 2019). Percentages geven een conservatieve schatting van het aandeel van de fijne sedimentmassa in de bodem die in verschillende brontermen nog beschikbaar is.

Het is bekend in de literatuur dat fijn sediment in verschillende fasen van het zandwinningsproces vrijkomt (Becker, et al., 2015; Laboyrie, et al., 2018). Sleephopperzuigers zuigen al varend sediment op via een sleepkop en laten het bezinken in de beun van het schip. Om de capaciteit van het schip te vergroten, wordt het oppervlaktewater in de beun van het schip geloosd via een overvloeipijp. Een conservatieve aanname is dat hierbij 70% van de ingenomen silt- en slibmassa overboord gaat, zo blijkt uit literatuur (Becker, et al., 2015; Laboyrie, et al., 2018) en CFD-modelstudies (de Wit, 2019). Dit water-sedimentmengsel vormt een actieve pluim. De verspreiding daarvan hangt sterk af van de dichtheid van het overvloeimengsel en de relatieve stroomsnelheid van het water. Het deel van de actieve pluim dat niet nabij het schip bezinkt en directe, grootschalige troebelheid veroorzaakt, wordt de passieve pluim genoemd (groen in Figuur 2-8). Omdat een deel van het fijne sediment in de actieve pluim in de directe omgeving van het schip bezinkt (geel Figuur 2-8), bevat de passieve pluim vaak *minder* dan 70% van de initiële fijne sedimentmassa. Het fijne sediment dat in de directe omgeving van het schip bezinkt, kan op langere tijdschalen (maanden tot jaren) bijdragen aan vertroebeling via resuspensie.

Doordat in de modelstudie voor de MER *Zandwinning Noordzee 2018–2027* is aangenomen dat al het fijne sediment in het gewonnen zand vrijkomt, is de directe vertroebeling van de Noordzee overschat. Een betere bovengrens gaat uit van een sliblast die naar schatting minimaal 30% lager ligt (zie actieve pluim, Figuur 2-8). Het fijne sediment dat niet overboord gaat en in de beun van het schip blijft (~30%), draagt namelijk niet bij aan een directe vertroebeling binnen het juridische kader van de MER *Zandwinning Noordzee*. Grofweg de helft (~15%) wordt verwerkt voor commercieel gebruik op land en wordt dus aan het systeem onttrokken. De andere helft (~15%) wordt gesuppleerd in het kustfundament. Hoewel de fijnere fracties in het suppletiezand wel degelijk kunnen bijdragen aan vertroebeling, valt dit onder regulier kustbeheer en wordt het daarom niet beoordeeld binnen de MER van de

zandwinning. Tot slot komt door bodemroering van de sleepkop slechts 0–3% van de totale bodemslibmassa vrij, wat verwaarloosbaar is binnen de onzekerheidsmarge van de overige brontermen (Laboyrie, et al., 2018).

De conservatieve, aanbevolen slibblast van 70%, in plaats van 100%, kan eventueel worden verfijnd in twee componenten die op verschillende tijdschalen bijdragen aan vertroebeling. Namelijk een bronterm die direct bijdraagt aan vertroebeling via de waterkolom (zie passieve pluim, Figuur 2-8) en een kleiner deel wat neerslaat op de bodem of in zandwinputten en met vertraging kan bijdragen aan vertroebeling (zie 'bezinkt nabij schip', Figuur 2-8). Tijdens de vorige MER-modelstudie is aangenomen dat al het slib dat overboord gaat in suspensie blijft wanneer het de passieve pluim bereikt. CFD modelstudies laten echter zien dat zo'n 15-50% van het fijne sediment uit de actieve pluim bezinkt na 15 minuten en de overige 50–85% van de actieve pluim in suspensie blijft (de Wit, Talmon, & van Rhee, 2014).¹ Dit impliceert dat slechts 35 tot 60% van de initiële hoeveelheid slib uit het gewonnen zand bijdraagt aan directe vertroebeling via de passieve pluim (zie passieve pluim, Figuur 2-8). De overige 10 tot 35% van de initiële hoeveelheid slib uit het gewonnen zand bezinkt in of nabij de zandwinput (geel, Figuur 2-8). Hier is in de vorige MER-modelstudie geen rekening gehouden. Hoewel het slib dat in de zandwinput bezinkt minder snel opwervelt dan in de onverdiepte omgeving, verdwijnt het niet definitief uit het systeem en kan het nog steeds periodiek opwervelen en bijdragen aan vertroebeling op langere tijdschalen. Dit blijkt uit Figuur 2-4, waarin te zien is dat op jaarbasis opwerveling nog steeds kan optreden bij een putdiepte van 10 m (bij een waterdiepte van 24 m) onder hydrodynamische condities die representatief zijn voor de zandwinzone nabij Maasvlakte 2 (Hendriks & Schuurman, 2017). Wel neemt opwerveling sterk af bij een toenemende putdiepte (tot wel 5× minder dan de opwerveling in de omgeving) en hangt het daadwerkelijke transport uit de put sterk af van de geometrie van de put.

Hoewel slib dat lokaal bezinkt niet verwaarloosd mag worden in de totale slibblast, heeft de implementatie in het slibmodel wel invloed op de mate en duur van vertroebeling. Als het neergeslagen sediment wordt meegerekend in de passieve pluim in de waterkolom, zoals bij de vorige MER, geeft dat een conservatieve inschatting van de kortstondige piekvertroebeling. Bij een realistischere aanpak, waarbij sediment aan de bodem wordt toegekend, is de initiële vertroebeling kleiner. Wel blijft een lichte vertroebeling langer aanwezig dan bij de vorige MER-modelaanpak, doordat de bodem als een buffer werkt waaruit periodiek resuspensie kan optreden. Bij deze aanpak dient rekening gehouden te worden met bemoeilijkte resuspensie uit zandwinputten.

Er kan worden geconcludeerd dat 70% in plaats van 100% van het fijne sediment (<63µm) in het gewonnen zand kan bijdragen aan vertroebeling. Hierbij kan nog onderscheid worden gemaakt tussen een bronterm die direct bijdraagt aan vertroebeling via de waterkolom (35-60%) en een kleiner deel wat neerslaat op de bodem of in zandwinputten en op langere tijdschalen kan bijdragen aan vertroebeling via resuspensie (10-35%). De gevolgen per eenheid slibblast worden nader besproken in Paragraaf 5.2.

¹ De keuze voor 15 minuten is gemaakt omdat de passieve pluim vanaf dat moment niet langer subgrid is in het numerieke slibmodel met een roosterresolutie van 1x1 km, en dus expliciet gemodelleerd kan worden.

3 Transport

3.1 Valsnelheid

Een bepalende factor voor de verspreiding van slibpluimen is de verdeling van de valsnelheden van de slibdeeltjes. Dicht bij de bron speelt het dichtheidsverschil tussen het pluimwater en het omringende zeewater een dominante rol. Dit is de actieve pluimfase. Voor deze zeer lokale processen is een grootschalig verspreidingsmodel niet geschikt. Verder van de bron neemt het dichtheidsverschil door menging met zeewater snel af. In deze zone is dichtheid niet langer bepalend en is de valsnelheid van de sedimentdeeltjes de dominante factor. Dit is de passieve pluimfase. De valsnelheid is voornamelijk bepaald door de dichtheid, korrelgrootte en korrelvorm van het sediment/ slib. Naast de valsnelheid hebben getijstroming en opwerveling door golven een grote invloed op de verspreiding van de pluim (zie verderop). Het verspreidingsmodel is specifiek ontwikkeld om deze processen te beschrijven.

Voorafgaand aan de vorige MER is uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar de valsnelheid van de $<63 \mu\text{m}$ -fractie. Hierbij zijn diverse analytische technieken toegepast, waaronder laserdiffractie, sedigraafmetingen, de traditionele pipetmethode en zeefkolommen. In een expertsessie met vertegenwoordigers van o.a. Rijkswaterstaat, Universiteit Utrecht, Wageningen University & Research, TNO en Deltares zijn destijds goed onderbouwde keuzes gemaakt voor de te hanteren methodiek. Vervolgens zijn circa 1500 monsters volgens deze methode geanalyseerd. Daarnaast is door Deltares op een kleinere sets monsters een validatie uitgevoerd ter onderbouwing van de gekozen aanpak.

De gekozen methodiek had als doel de in-situ omstandigheden zo goed mogelijk te benaderen. De gehanteerde methodiek voor de korrelgrootteverdeling van de $<63 \mu\text{m}$ -fractie was een sedigraaf, zonder voorbehandeling en de meting vond plaats in suspensie met zeewater. Deze sedigraafmetingen zijn zowel door een commerciële partij als op een beperkte set door Deltares uitgevoerd.

Doordat bij de gehanteerde methodiek geen voorbehandeling werd toegepast, was de dichtheid van het materiaal niet uniform. Hierdoor kon de omrekening naar korrelgrootte niet correct worden uitgevoerd, voor het toepassen van Stokes-law is een uniforme dichtheid vereist. De gerapporteerde fracties gaven daarmee het percentage materiaal weer dat bezinkgedrag vertoont dat overeenkomt met een bepaalde korrelgroottefractie, maar dit kan sterk afwijken wanneer de dichtheid of korrelvorm varieert. Bovendien werkt een sedigraaf op basis van röntgendetectie, waardoor materiaal met een lage dichtheid (zoals organisch materiaal) niet wordt gedetecteerd.

Uit het omvangrijke sedigraafonderzoek kwam een hoog percentage sediment naar voren met gedrag dat overeenkomt met de korrelgrootte $< 2 \mu\text{m}$. Dit materiaal heeft een zeer lage valsnelheid. Wanneer in de modellen het op basis van de sedigraafmetingen vastgestelde hoge aandeel $< 2 \mu\text{m}$ (met lage valsnelheid) zou worden toegepast, zouden aanzienlijk hogere troebelheidspieken ontstaan, in combinatie met een veel kortere verblijftijd van slib in het systeem.

Door het zeer korte tijdsbestek in 2016 tussen het verzamelen van de data, het modelleren van de uitkomsten en het indienen van de MER, én gezien de potentieel verstrekkende gevolgen van het rechtstreeks toepassen van de gemeten lage valsnelheden, is destijds besloten om bij de modellering afwijkende valsnelheden te hanteren. Hierbij werd de volgende beredeneerlijn gehanteerd.

Slib met een zeer lage valsnelheid wordt nauwelijks in de bodem vastgelegd, terwijl er in werkelijkheid wel slib in de bodem aanwezig is. Daarom is in de MER 2018–2027 gerekend met een valsnelheidsverdeling die aansluit bij de modelkalibratie van de natuurlijke achtergrond. Daarbij wordt aangenomen dat de fractie $< 2 \mu\text{m}$ grotendeels geflocculeerd is onder invloed van zout en organische stof. In dit MER-model werden twee deeltjesklassen onderscheiden (micro- en macrovlokken) met valsnelheden van respectievelijk 0,125 en 1 mm/s, in een verhouding van 1:1. Zie onder andere Van Gils (2016) en Veld et al. (2016) voor verdere toelichting. In het rapport is ook aanbevolen om het verschil tussen de diverse meetresultaten, zowel onderling als met de in de vorige MER toegepaste modelparameters, nader te verklaren.

Dit onderzoek is nog niet opgenomen in het MEP of elders. Dit betekent dat er nog geen nieuwe inzichten beschikbaar zijn. De noodzaak van dergelijk onderzoek is er nog steeds. Zonder verdere duiding blijft de onzekerheid in valsnelheidsverdeling uit de vorige MER bestaan.

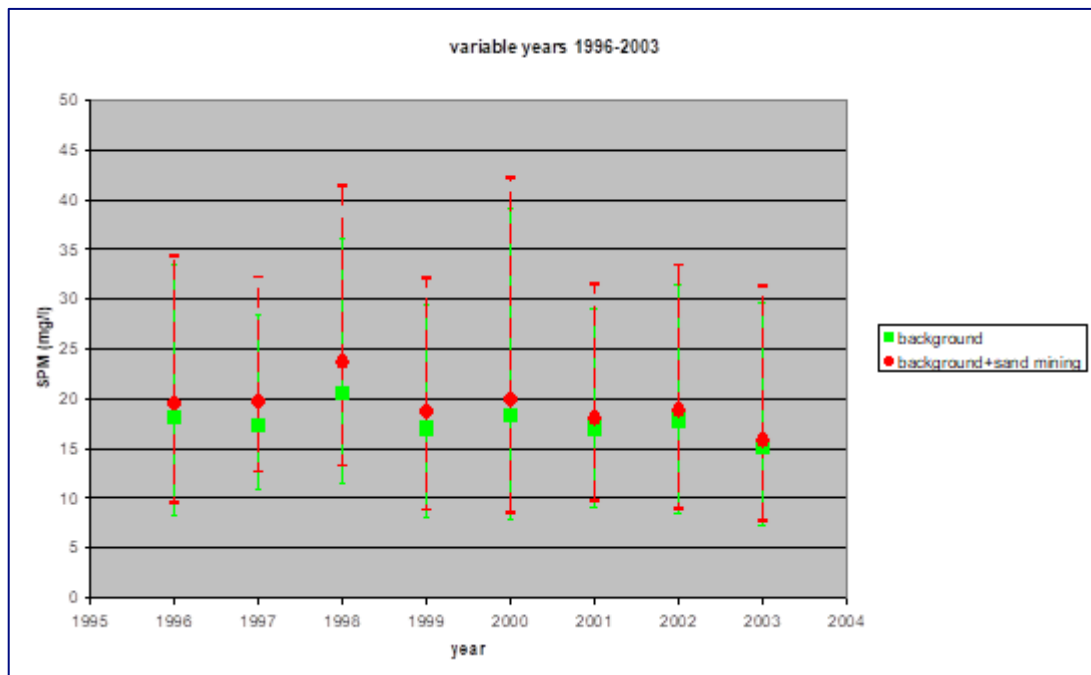
3.2 Invloed stroming en golven

Stroming en golven beïnvloeden via opwerveling, menging en advectie het sedimenttransport. De aandrijvende krachten van stroming en golven zijn een combinatie van getij, gradiënten in luchtdruk, wind, temperatuur en zoetwaterafvoer. De vraag is welke aandrijving representatief is voor het lange termijn verspreidingsgedrag. Voor de afgelopen twee MER-studies naar zandwinning op zee is het jaar 2007 gebruikt, met het astronomische getij en per uur variërende luchtdruk, wind, temperatuur en rivierafvoeren.

De vraag is of dit jaar nog altijd representatief is. Er is hierbij een onderscheid te maken tussen jaarlijkse variaties en langjarige trends. Jaarlijkse variaties zijn groot, zie ter illustratie Figuur 3-1. Hieruit blijkt dat de troebelheid in een kalm jaar met zandwinning lager kan zijn dan in een stormachtig jaar zonder zandwinning.

Klimaatscenario's (KNMI 2023) laten geen duidelijke trends zien qua wind en golven. De afvoerdivergentie van zoet water wijzigt wel, met hogere afvoeren in de winter en lagere afvoeren in de zomer. Er is een trendmatige toename van waterstand, temperatuur en lichtinstraling, waardoor opwerveling van slib wat kan afnemen t.g.v. verminderde golfinvloed aan de bodem en de lichtbeschikbaarheid bovenin de waterkolom wat kan toenemen (Deltares, 2025). Over een periode van 10 jaar zijn deze trends klein t.o.v. de jaarlijkse variatie. Echter, omdat het einde van de komende MER-periode (2037) 30 jaar na het huidige referentiejaar ligt, is het raadzaam de representativiteit van referentiejaar 2007 als forcering en achtergrond voor de periode 2018-2027 te onderbouwen en indien noodzakelijk dit referentiejaar aan te passen.

Qua modellering van stroming, golven en sedimenttransport zijn er geen belangrijke wijzigingen in de procesformuleringen. Wel zijn er sinds de MER 2018-2027 belangrijke wijzigingen in de modelschematisatie, namelijk een overstap van het D3D4 ZUNO-DD model naar het DFM DCSM model. Voor recente effectstudies naar windparken op zee (WOZEP) is het DCSM-model gebruikt. Het nieuwe instrumentarium is beter gekoppeld met de Waddenzee (d.m.v. een gedetailleerder deelmodel), is beter gevalideerd voor offshore locaties (waar windparken zijn gepland) en is meer geïntegreerd met het primaire productiemodel. Het is echter nog niet gevalideerd voor lange termijn pluimstudies zoals de MER-zandwinning, m.b.t. buffercapaciteit en verblijftijd in de bodem (zie Hoofdstuk 4). De verwachting is dat resultaten met het nieuwe instrumentarium m.b.t. lange termijn pluimverspreiding weinig zullen afwijken van het oude instrumentarium voor een gelijk aandrijving door getij en golven, een gelijke valsnelheidsverdeling en gelijke instellingen voor water-bodemuitwisseling.



Figuur 3-1: 10, 50 en 90-percentielwaarden voor de berekende jaargemiddelde slibconcentratie in de Voordelta in de periode 1996 – 2003. Groen: achtergrondconcentratie; rood: achtergrond + effect zandwinning. Bron: Desmit et al., 2007.

4 Water-Bodemuitwisseling

4.1 Invloed op slibpluimen

De langetermijneffecten van sedimentpluimen (zoals t.g.v. zandwinning) worden in belangrijke mate bepaald door de uitwisseling met de bodem. Zonder deze uitwisseling zou de vertroebeling relatief groot zijn (alle slib blijft dan immers in de waterkolom), maar kortdurend (want de verblijftijd van water in de kustzone is orde 1-2 maanden). Doordat slib wordt omgewerkt in de bodem, nemen de pieken in troebelheid af, maar duurt het wel veel langer totdat het systeem is 'schoongespoeld' (de verblijftijd van slib in de kustzone neemt hierdoor toe tot enkele jaren). De vraag is hoe groot deze uitwisseling met de bodem is.

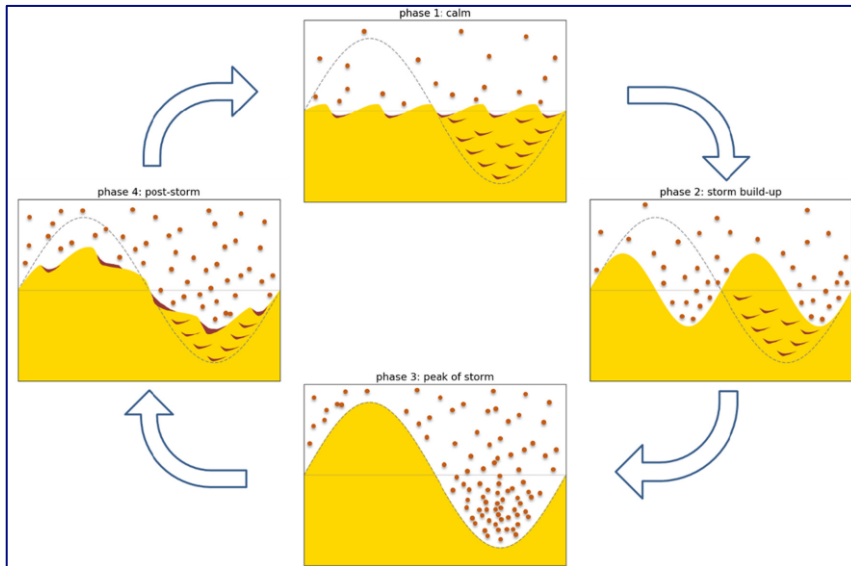
De instellingen voor de verblijftijd in de bodem en de doormengdiepte ('buffercapaciteit') zijn in 2012 afgeleid uit metingen bij Egmond en het verloop van de cadmium-concentratie in de kustzone. Voor meer details hierover zie het rapport van Kessel et al. (2012). Hierover zijn geen nieuwe inzichten. Het is een modelonzekerheid, waarnaar gevoeligheidsonderzoek is uitgevoerd in 2012. Hierdoor is bekend hoe gewijzigde modelinstellingen doorwerken in de grootte en duur van de (extra) vertroebeling.

Sinds de MER-studie 2018-2027 is meer onderzoek gedaan naar de uitwisseling van slib met de (Noord)zeebodem, zie Figuur 4-1 voor een conceptueel model van Hendriks (2022). Op basis hiervan kan de huidige implementatie van het buffermodel, gebaseerd op één bufferlaag met één vaste en uniforme actieve laagdikte, worden uitgebreid met meerdere lagen die, afhankelijk van lokale (storm)condities, wel of niet meedoen aan de water-bodemuitwisseling. Hiermee kan niet alleen de gemiddelde verblijftijd in de bodem, maar ook de ruimtelijke verblijftijdsspreiding (in horizontaal en verticaal) beter worden gemodelleerd. Deze uitbreiding is echter nog niet beschikbaar in gebiedsmodellen voor de Noordzee en het vereist ook een (her)kalibratie en validatie, waarvoor voldoende meetgegevens beschikbaar moeten zijn.

4.2 Invloed op de achtergrondconcentratie

Als gevolg van de bovengrensbenadering zijn in vorige MER-en alleen de concentratie-verhogende effecten van zandwinning beschouwd en zijn concentratieverlagende effecten verwaarloosd. Zo is de invloed invang van slib in zandwinputten die ontstaan bij zandwinning niet meegenomen. In hoofdstuk 2 is berekend dat deze invang voor putten dieper dan ca. 4 m significant is en concentratieverlagend werkt. De reden hiervoor is dat (een deel van) het slib in deze putten permanent kan worden onttrokken, d.w.z. niet langer beschikbaar is voor resuspensie. Dit wijkt fundamenteel af van de basisaanname van het buffermodel: dat slib weliswaar tijdelijk wordt opgeslagen in de bodem, maar hieruit ook weer kan vrijkomen tijdens stormen.

Het verwaarlozen van permanente sinks, zoals in de vorige MER, past goed bij een bovengrensbenadering, maar minder goed bij een ondergrensbenadering. Het zijn immers niet alleen sinks voor de pluimen t.g.v. zandwinning, maar ook voor de natuurlijke slibflux. Deze kan hierdoor afnemen. Een mogelijke afname van de slibflux naar de Waddenzee is in het verleden in het kader van de MER aanleg Maasvlakte-2 het onderwerp geweest van uitgebreide (model)studies.



Figuur 4-1: Conceptueel model voor water-bodemuitwisseling (Hendriks, 2022).

5 Impact

Dit hoofdstuk beschouwt in hoeverre de impact van de sliblast kan afwijken ten opzichte van de vorige MER. Eerst wordt de sliblast door zandwinning afgezet tegen de autonome ontwikkeling (Paragraaf 5.1). Vervolgens wordt besproken of er nieuwe inzichten zijn met betrekking tot de ecologische gevoeligheid (Paragraaf 5.2).

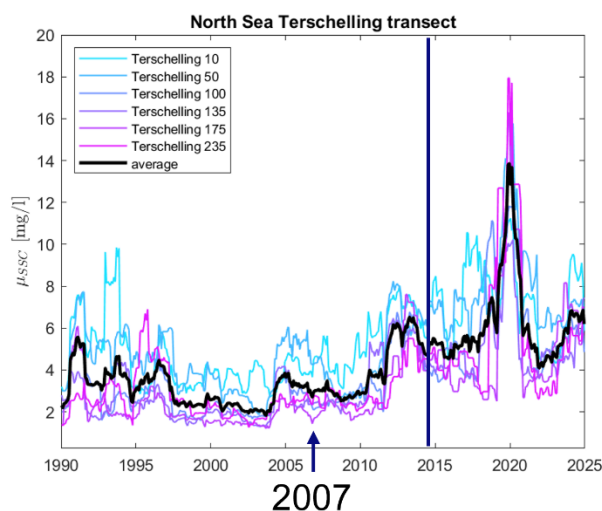
5.1 Autonome ontwikkeling

De autonome ontwikkeling van de slibconcentratie is afhankelijk van veel verschillende factoren. Naast de jaar op jaar variatie is er sprake van trends door de invloed van vergunde activiteiten, zoals windparken, specieverspreiding vanuit de havens en projecten rondom kabels en leidingen.

5.1.1 Jaar op jaar variatie

In hoofdstuk 3 is gerefereerd aan de jaar op jaar variatie van de achtergrondconcentratie (Figuur 3-1). In de periode 1995-2004 is bij de Voordelta geen duidelijke trend te herkennen. De achtergrondconcentratie fluctueert ook los van de zandwinning. Dit wordt veroorzaakt door jaarlijkse variatie in gradiënten in luchtdruk, wind, temperatuur en zoetwaterafvoer.

Een blik op metingen van sediment in suspensie over een langere periode bij Terschelling suggereert in de periode 2010-2013 een trendbreuk (Figuur 5-1). De gemiddelde concentratie lijkt gemiddeld hoger, ook zonder de piek rond 2020. Deze resultaten zijn nog niet gerapporteerd, maar zijn relevant als een aanbeveling voor vervolgonderzoek moet worden gedaan. In deze figuur is ook het jaar 2007 aangegeven, het referentiejaar in de vorige MER-studies. Met een verticale lijn is aangegeven welke meetdata al is beschouwd in de vorige MER (tot 2014) en welke meetdata 'nieuw' is (daarna).

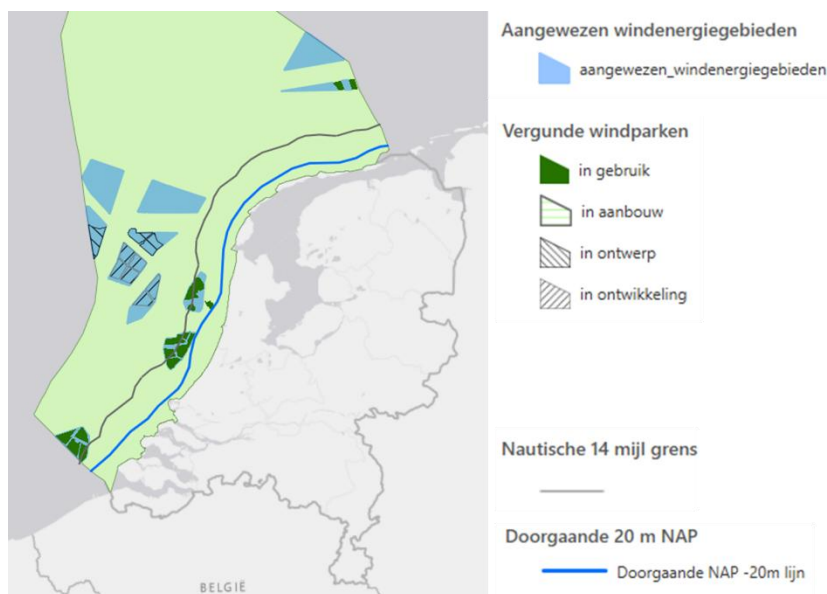


Figuur 5-1 Gemeten sediment in suspensie op 10, 50, 100, 135, 175 en 235 km uit de kust van Terschelling (sediment concentratie data verzameld binnen het MWTL meetprogramma (Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands; <https://waterinfo-extra.rws.nl/monitoring/>))

5.1.2

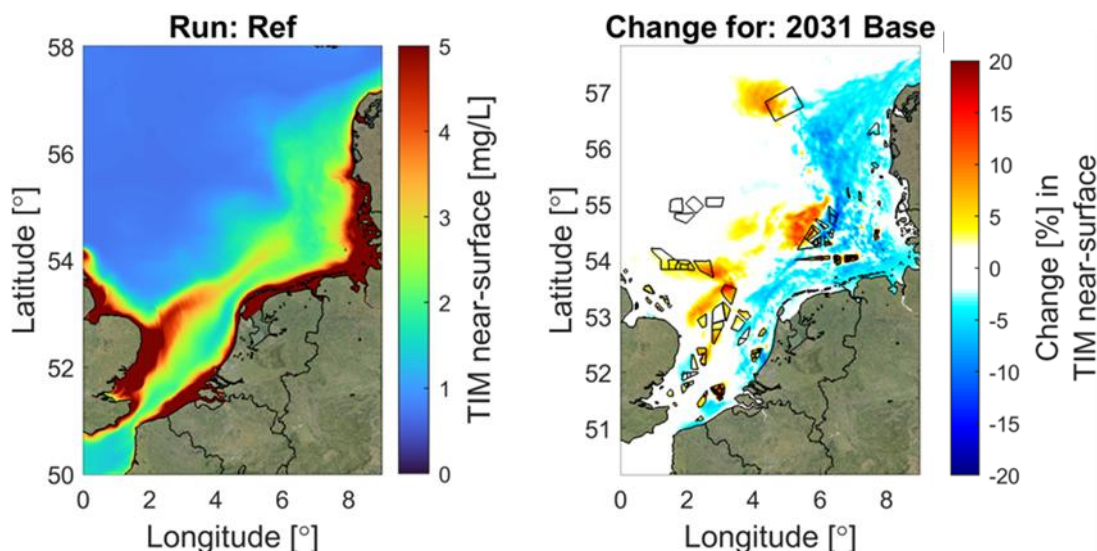
Andere bestaande activiteiten met impact op de slibhuishouding

De eerste te bespreken vergunde activiteiten zijn de ‘wind op zee’-projecten. Een aantal daarvan zijn al in gebruik en behoren tot de autonome effecten, maar er zijn ook windparken op zee die in aanbouw zijn of in ontwikkeling (Figuur 5-2).



Figuur 5-2 Ligging aangewezen en vergunde windparken tot 2032 (vlakken) ten opzichte van kustzone waar zandwinning plaatsvindt (strook tussen grijze en blauwe lijn). Bron: RWS.

Het uitbaten van wind op zee heeft naar verwachting een verlagend effect op de slibconcentratie in het grootste deel van de kustzones van Nederland, Duitsland en Denemarken (Zijl et al., 2023, zie Figuur 5-3). Dit verlagende effect op de troebelheid in de Nederlandse kustzone heeft procentueel dezelfde ordegrootte als het verhogende effect t.g.v. zandwinning. Er is in de kustzone dus sprake van tegengestelde effecten die elkaar gedeeltelijk compenseren. Wel is de verlaging in de kustzone t.g.v. windparken het grootste in de winter en is de verlaging kleiner in het voorjaar (zowel in absolute en relatieve zin t.o.v. de achtergrondsconcentratie), wanneer de invloed op de primaire productie het grootst is. Binnenin en benedenstrooms van windparken heeft wind op zee juist een verhogend effect op slibconcentraties van ca. 5 – 10%. Dit is met name relevant rondom de windparken die binnen de 14 mijl grens liggen (zie windparken HKZ en HKN Figuur 5-2). Dit verhogende effect houdt het gehele jaar aan en versterkt lokaal mogelijk de effecten van zandwinning.



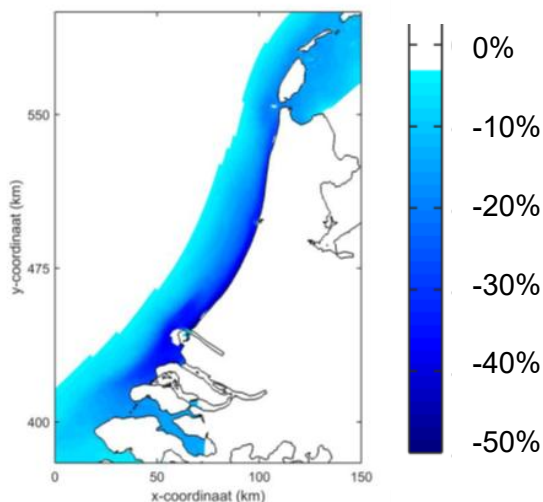
Figuur 5-3 Effect van windparken op de slibconcentratie nabij de oppervlakte. Links: achtergrond-concentratie (mg/l). Rechts: procentuele verandering t.g.v. windparken 2031 (Zijl et al., 2023).

Het tweede type bestaande activiteiten is specieverspreiding t.g.v. baggeronderhoud van verschillende havens. Hierbij kijken we naar de havens van Rotterdam, IJmuiden en de Waddenzee en Eems. Gebaggerd slib uit deze havens wordt verspreid op zee in verschillende daartoe aangewezen nabijgelegen vakken ('loswallen').

Vanuit de haven van Rotterdam werd, tussen 2000 en 2016, 2 tot 4,5 MT droge stof per jaar verspreid (Hendriks en Schuurman, 2017). Dit komt neer op gemiddeld 2,9 MT droge stof per jaar. In de toegangseul en het buitenhavencomplex van IJmuiden is het jaarlijkse baggerbezwaar voor de periode 2021–2029 ca. 1 MT droge stof per jaar (Gebr. Van der Lee, 2025). Dit is in dezelfde orde van grootte als oudere bronnen, waaruit 0.5-2 MT volgt (Winterwerp, 2001; van Heijst et al. 2005). Het totale jaarlijkse baggeronderhoud in de Waddenzee is meer dan 10 miljoen m³ zand en slib, waarvan ongeveer de helft in de Eems-Dollard plaatsvindt (De Wit et al., 2024). Omgerekend naar tonnen droge stof van de slibfractie is dit ca. 3 MT/jaar.

Deze verspreidingen zijn duidelijk veel groter dan de slibbron t.g.v. zandwinning, die orde 0.5 MT/jaar bedraagt volgens van Duren et al. (2017). Een belangrijk verschil is wel dat de onderhoudsspecie slib betreft dat kort daarvoor is gesedimenteerd vanuit de waterkolom (d.w.z. recirculatie), terwijl het 'zandwinslib' vanuit de diepe ondergrond komt en wordt toegevoegd aan de actieve voorraad. Anderzijds kan invang in zandwinputten leiden tot een onttrekking van enkele MT/jaar zoals geschat in §2.2.

De wijze van verspreiding van onderhoudsspecie kan naast een versterkend ook een dempend werken op de vertroebeling t.g.v. zandwinning. Zo heeft de berging van onderhoudsspecie in diepe loswallen of op land een verlagend effect op de troebelheid in de kustzone (zie Figuur 5-4 uit Hendriks en Schuurman, 2017).



Figuur 5-4: Effect van de onttrekking van alle onderhoudsspecie van Rotterdam op de slibconcentratie in de kustzone (in %) (Hendriks en Schuurman, 2007).

5.1.3 Activiteiten in het verleden – Pluim Maasvlakte 2

Behalve nog lopende activiteiten, is het interessant om de potentiële effecten van de aankomende zandwinning uit te zetten tegen activiteiten in het verleden. De zandwinning voor de aanleg van Maasvlakte 2 is een goed voorbeeld.

De metingen suggereren dat de invloed van zandwinning voor Maasvlakte 2 minder groot was dan bij voorhand voorspeld. De daadwerkelijke toename in slibconcentraties kan echter niet volledig worden vastgesteld. In een eerste modelstudie wordt voorspeld dat de pluim zich in een voornamelijk noordelijke richting verplaatst met hoge concentraties (tot 5-10 mg/l) dichtbij de kust die snel afnemen naar <2 mg/l (Cronin, 2013). In een vervolgstudie van Blaas et al. (2014) wordt op basis van metingen geconcludeerd dat de Maasvlakte 2 zandwinning heeft bijgedragen aan een toename van regionaal gemiddeld slibconcentratie van niet meer dan 1 mg/l over de jaren 2009-2011 in vergelijking met 2003-2008. Deze trend is echter niet statistisch significant in metingen aan te tonen vanwege de grote natuurlijke variabiliteit (zie ook Sectie 5.1.1). De modelstudies hadden een bovengrensbepending, dus dat de trend niet significant meetbaar is, bevestigt dat deze inderdaad onder de gemodelleerde bovengrens valt.

5.2 Ecologische gevoeligheid sliblast

De ecologische doorvertaling van slib en vertroebeling is geen onderdeel van deze redeneerlijn. Maar deze redeneerlijn vormt wel één van de basiselementen voor deze doorvertaling. Daarom wordt in deze paragraaf kort stilgestaan bij deze doorvertaling. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen effecten van de sliblast op primaire productie (paragraaf 5.2.1) en suggesties voor de ecologische doorvertaling (paragraaf 5.2.2).

5.2.1 Effecten primaire productie

In de Nederlandse kustwateren waar zand gewonnen wordt, heeft vertroebeling een direct effect op primaire productie. Dit komt doordat primaire productie in de Nederlandse kustwateren licht-gelimiteerd is, terwijl er doorgaans genoeg nutriënten beschikbaar zijn afkomstig uit rivierwater. Een vertroebeling door zandwinning kan de hoeveelheid primaire productie verminderen en de piek tijdens de voorjaarsbloei uitstellen. Beiden effecten zijn relevant voor verschillende ecologische functies van de Noordzee. Voor duikende vogelsoorten waarvoor instandhoudingsdoelstellingen gelden, zoals de zwarte zee-eend, zijn

veranderingen in primaire productie en algengroei relevant omdat hun prooien - tweekleppige filtervoeders - algen begrazen.

De effecten op primaire productie wordt niet alleen beïnvloed door de onzekerheid in de totale sliblast zoals beschreven in §2.3, maar ook door modelaannames over de verdeling van de sliblast in ruimte en tijd. Zo is aangenomen dat de sliblast door zandwinning evenredig verdeeld is over het jaar. Zoals beschreven in van Duren et al. (2017), heeft deze aanname beperkte gevolgen voor slibconcentraties op grotere tijd- en ruimteschalen, maar is deze wel relevant voor de primaire productie tijdens de voorjaarsbloei. Het uitsmeren van de sliblast over het jaar kan bijvoorbeeld leiden tot een overschatting van effecten wanneer er buiten het groeiseizoen wordt gebaggerd, maar dezelfde aanname leidt juist tot een *onderschatting* wanneer baggeractiviteiten plaatsvinden tijdens de voorjaarsbloei. Verder is aangenomen dat binnen de zandwingebieden het slib in de passieve pluim gelijkmatig verdeeld is over de waterkolom. Uit metingen en simulaties is echter bekend dat het merendeel van de far-field pluim zich nabij de bodem bevindt (de Wit, van Rhee, & Talmon, 2014). Lokaal rondom de zandwingebieden kan het uitsmeren van de pluim over de diepte leiden tot een overschatting van de vertroebeling in de bovenste waterlaag, waar primaire productie optreedt. Effecten op grotere schaal langs de Nederlandse kust zijn echter onwaarschijnlijk, omdat het slib in de bovenste waterlaag doorgaans al binnen enkele uren bezinkt.

5.2.2 Suggesties voor de ecologische doorvertaling

Voor de voorgaande MER werden binnen de Noordzee vooral effecten van veranderende primaire productie door toenemende troebelheid op de populaties van Amerikaanse zwaardschede (*Ensis directus*) gemodelleerd. Deze soort was destijds het dominante schelpdier langs de Nederlandse Noordzeekust en geselecteerd als belangrijke voedselbron voor de zwarte zee-eend (van Duren, et al., 2017). Voor de Waddenzee is in de vorige studie de mossel (*Mytilus edulis*) als belangrijkste soort genomen.

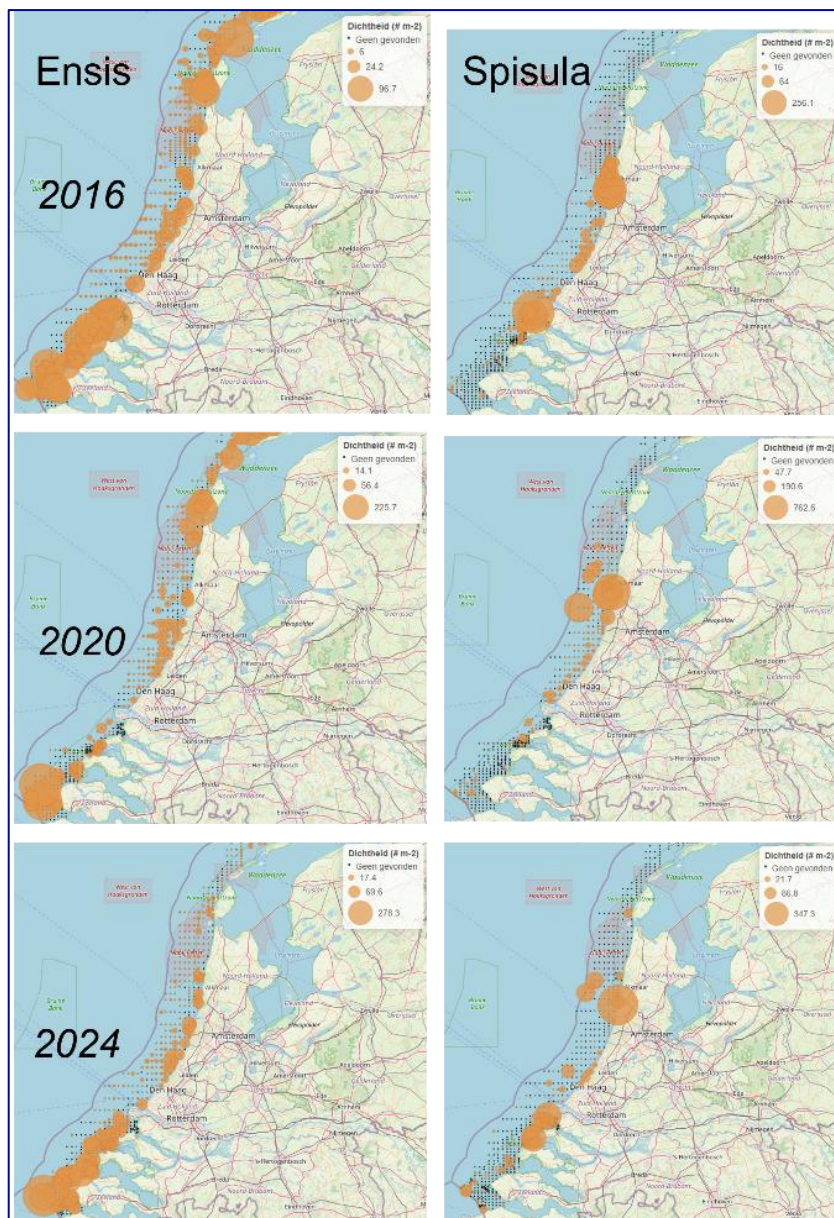
Sinds de vorige MER-studie is de halfgeknotte strandschelp (*Spisula subtruncata*) weer in aantallen en biomassa toegenomen. Dit is een soort die de voorkeur geniet voor foeragerende zwarte zee-eenden (de Fouw, et al., 2024). Ook populaties van *Ensis sp.* zijn de afgelopen jaren blijven groeien (Troost, et al., 2023). Hoe deze verhoudingen in de toekomst veranderen is onzeker vanwege sterke fluctuaties in populatiegrootte tussen verschillende jaren (Figuur 5-5). Omwille van hun belang voor de voedselvoorziening van vogels, loont het de moeite om beide soorten te evalueren.

Vanwege het relatief grote belang van *S. subtruncata* in het dieet van zwarte zee-eenden, en de recente toename in voorkomen van deze soort, kan het de moeite waard zijn om verder te onderzoeken wat zandwinning voor effect heeft op deze soort. Hierbij zijn twee verschillende aanpakken te overwegen. De eerste betreft onderzoek naar impacts op habitatgeschiktheid. Voor zowel *Ensis* als voor *Spisula* zijn mogelijke veranderingen in sedimentsamenstelling van de bodem bepalend voor hun voorkomen (Witbaard, et al., 2015; de Fouw, et al., 2024). Als de beschikbare modellering voldoende betrouwbare impacts kan voorspellen op belangrijke habitatsparameters (zoals D50) t.g.v. zandwinning, dan zou een habitatgeschiktheids-modellering op basis van machine learning een goede aanpak kunnen zijn. Dit is eerder toegepast op het voorkomen van rifbouwende soorten (Herman en Van Rees, 2022; van Rees et al 2025) en op in de bodem levende soorten zoals Noordkromp en zandspiering (Herman en Witbaard, 2023; Witbaard et al. 2024).

Daarnaast kan vertroebeling een impact hebben op primaire productie en daarmee op de draagkracht voor deze scheldiersoorten. Dit is in de vorige MER-studie onderzocht met DEB (Dynamic Energy Budget) modellering (Van Duren et al 2017), waarin de groei van de zwaardschede en de mossel zijn onderzocht onder verschillende zandwinningscenario's. Er

zijn in online databases² DEB-parameters voorhanden voor *S. subtruncata*. Het runnen van volledige 3D modellering met deze twee schelpdieren is zeer rekenintensief en het is de vraag of dit heel veel meer inzicht gaat geven, ook gezien de onzekerheden die gepaard gaan met het model. Echter, het runnen van 1D kolommodellen voor verschillende locaties die zowel belangrijk zijn voor deze schelpdiersoorten en onder invloed staan van vertroebeling en daarmee verminderde productiviteit, kan inzicht geven in zowel de te verwachten impact en in de verschillende gevoeligheid van de twee schelpdiersoorten voor veranderingen in voedselbeschikbaarheid.

De twee benaderingen (impact via habitatgeschiktheid en impact via voedselbeschikbaarheid) zijn in principe complementair. Het verschaft informatie over verschillende processen.



Figuur 5-5 Populatie *Ensis directus* en *Spisula subtruncata* voor de jaren 2016, 2020 en 2024

² https://www.bio.vu.nl/thb/deb/deblab/add_my_pet/species_list.html

6 Synthese

Dit hoofdstuk bespreekt de praktische implicaties van het opnieuw draaien van oude modellen en het opzetten van nieuwe modellen (6.1) en geeft een samenvatting van zowel de benoemde componenten die de sliblast beïnvloeden als de mogelijkheid kennisleemtes daarin op te vullen (6.2) en (6.3).

6.1 Slibmodel

Voor de vorige MER 2018-2027 is een slibmodel ontwikkeld. Dit slibmodel is feitelijk een modelketen (waterbeweging, slibtransport en -verspreiding, primaire productie). Het model wat in 2017 is gebruikt wordt door Deltares niet meer onderhouden en uitgeleverd. De vraag of er nieuwe modelberekeningen moeten worden gedaan voor de MER 2028-2037 heeft dus ook een praktisch element.

Het nieuwe DCSM-model op basis van DFM is beter gekoppeld met Wadden (d.m.v. een gedetailleerder deelmodel; Van Weerdenburg, 2024), is beter gekalibreerd offshore (in het kader van de WOZEP-studies; Zijl et al., 2023) en heeft een betere integratie tussen het slibmodel en het primaire productiemodel. Anderzijds is dit rekenintensieve model minder geschikt voor langjarige (10+) berekeningen voor veel verschillende scenario's. Ook zijn de instellingen van het model m.b.t. water-bodemuitwisseling nog niet gevalideerd voor de toepassing 'langjarige pluimverspreiding'.

Bronnen en putten

Bronnen toevoegen op locaties waar nieuwe zoekgebieden liggen is in het oude model geen probleem. Om ook sinks toe te voegen is lastiger, want de resolutie van het model is dusdanig dat de zandwinputten niet in de bodem kunnen worden toegevoegd. Om de putten als sinks te modelleren, is kennis nodig over hoeveel nu precies bezinkt. Voor een nauwkeurige schatting daarvan is eerst meer onderzoek nodig. Uit een eerste globale schatting uit §2.2 blijkt dat de afvang in putten (mits voldoende diep en luw) een compensatie kan zijn voor een significant deel van de bronterm door zandwinning.

Transport

Een aanpassing in valsnelheid is technisch geen probleem in het oude model. Er is sinds de vorig MER nog geen aanvullende studie uitgevoerd om de onzekerheid in de valsnelheid te verkleinen.

Bodem

Modelinstellingen wat betreft water-bodemuitwisseling kunnen gelijk blijven, omdat er vanuit de MEP of andere projecten hierover geen nieuwe gegevens beschikbaar zijn.

Implementatie van een meerlaags buffermodel met variabele actieve laagdikte vraagt eerst om een ontwikkeltraject, wat niet op korte termijn is te realiseren.

In bovenstaande beschouwing wordt ervan uitgegaan dat de tijdsperiode die wordt doorgerekend gelijk blijft. Omdat het model (ZUNO-DD) niet meer wordt ondersteund, wordt het doorrekenen van nieuwere jaren ingewikkeld. Er zou kunnen worden overgestapt naar het DCSM-FM model. Dit model moet echter eerst geschikt worden gemaakt voor de huidige toepassing.

6.2 Slibblast door zandwinning

6.2.1 Bronnen en Putten

De zoekgebieden zijn in capaciteit verdubbeld ten opzichte van de vorige MER (2018-2027). Er zijn gebieden bijgekomen waarvan op dit moment de slibpercentages in de bodem onbekend zijn en bovendien is de maximale winddiepte 12 meter i.p.v. 10 meter. Slechts 5% van de capaciteit van de zoekgebieden zal worden uitgebaat en er wordt redelijk uniform gewonnen over de verschillende gebieden. Enkele nieuwe zoekgebieden met een maximale diepte van 12 m verhogen de kans op hogere slibconcentraties bij winning. Voor de andere nieuwe zoekgebieden is de onzekerheid in potentiële slibconcentraties vergroot, omdat hier het geologisch onderzoek nog moet plaatsvinden en de beschikbaarheid of kwaliteit van de metingen nog niet bekend is.

6.2.2 Transport en uitwisseling bodem

De onzekerheden in transport en uitwisseling van de bodem, zoals ze in de vorige MER zijn benoemd, zijn niet wezenlijk veranderd. Dit geldt voor de instellingen voor de valsnelheid en de instellingen voor water-bodemuitwisseling. Op basis van eerder uitgevoerde gevoeligheidsberekeningen is bekend hoe deze instellingen doorwerken op de hoogte en duur van de vertroebeling.

Een dominante factor voor transport en water-bodemuitwisseling is de aandrijving door getij, wind, golven en rivierafvoer. De verschillen tussen jaren zijn groot. Daarom is de keuze voor het referentiejaar (of de jaarreeks) essentieel. In eerdere MER-studies was het referentiejaar 2007. Voor een MER met een looptijd tot 2037 is dit lang geleden. Het gaat hierbij niet alleen om eventuele veranderingen in dominante factoren, maar ook om eventuele veranderingen in de achtergrond (ten opzichte waarvan de effecten van de zandwinpluimen moeten worden beoordeeld).

6.3 Impact

Teruggrijpend op de hoofdvraag, namelijk wat wordt (a.d.h.v. de veranderingen in inzicht) verwacht van de belasting van slib op het systeem door zandwinning, geeft Tabel 6-1 een overzicht van de geïdentificeerde veranderingen.

Tabel 6-1: Invloed op belasting van slib op het systeem door zandwinning

+ (verhoging)	– (verlaging)	+/- (onzeker)
Winning vanuit bestaande putten: verstoring sliblaag in put (§2.2)	Putten: sedimentatie en berging slibrijke baggerspecie (§2.2)	Wintabellen → geologisch onderzoek (§2.1)
Lokaal begraven slib draagt bij aan lange termijn effecten (§4)	Slibblast 100% → ~70% (§2.3)	Valsnelheid → monsteranalyse (§3.1)
Onderhoudsbaggerwerk (§5.1.2)	Windparken (in de kustzone) (§5.1.2)	Achtergrondconcentratie (§5.1.1)

Tabel 6-1 is een combinatie van mogelijke verhogingen, verlagingen en onzekerheden. Deze laten zich als volgt clusteren:

Slibblast 100% → 70%: Dit leidt ontegenzeggelijk tot minder vertroebeling. Dit is geen aanleiding voor nieuwe modellering.

Putten: deze komen 2× terug, namelijk a) als verlaging van de troebelheid zodra putten een significante hoeveelheid slib invangen t.o.v. de natuurlijke slibflux en b) als verhoging van de troebelheid indien in oude winputten opnieuw zandwinning plaatsvindt. Een deel van het eerder ingevangen slib kan dan immers weer vrijkomen.

Deze effecten zijn tijdens eerdere MER-en niet beschouwd, maar naarmate het putareaal meer dan 4 m overdiepte toeneemt wordt dit een steeds relevantere bijdrage.

Kwantificering hiervan vraagt nadere studie, maar niet direct om nieuwe berekeningen met een grootschalig slibmodel, omdat de resolutie hiervan onvoldoende is om de invang van slib voldoende nauwkeurig te berekenen. Bij 'nadere studie' kan worden gedacht aan een uitbreiding op de berekening zoals gedaan in sectie 2.2 of aan een studie met een lokaal numeriek model. Voor de berekening van de effecten van deze invang op de slibconcentratie en de slibfluxen in de kustzone is het grootschalige model wel geschikt. Of dit zinvol is hangt af van de resultaten van de nadere studie.

Lokaal begraven: het huidige model gaat ervan uit dat al het slib dat in de bodem wordt opgenomen (dus ook rondom de winlocatie) beschikbaar is voor resuspensie. In werkelijkheid zal een klein deel dieper dan volgens de (gemiddelde) modelinstellingen worden begraven onder een dik zandpakket, b.v. lokaal tijdens winning of door langzaam migrerende bodemvormen. Dit kan op lange termijn alsnog vrijkomen. In vergelijking met de huidige modelaanpak kan dit resultaten geven met een wat lagere piek maar langere 'staart' van de vertroebeling, vanwege de bredere verblijftijdsspreiding.

Monsteranalyse voor percentage slib en valsnelheid: voor een nauwkeurige schatting van het percentage slib in de bodem zijn de resultaten vanuit het geologische onderzoek onontbeerlijk. Als hieruit blijkt dat de spreiding in ruimte en tijd van de brontermen voor de periode 2028-2037 binnen de bandbreedte blijven van de in de vorige MER gemodelleerde brontermen voor de periode 2018-2027 zijn nieuwe berekeningen niet noodzakelijk. Als de brontermen wezenlijk groter zijn, is dit wel noodzakelijk. Een verhoging tot 30% valt nog binnen de bandbreedte omdat niet al het slib beschikbaar komt voor verspreiding (zoals wel aangenomen als bovengrens voor de periode 2018-2027). Monsteranalyse kan ook de modelonzekerheid m.b.t. valsnelheid verkleinen (conform de aanbeveling vanuit het vorige MER).

Achtergrond en autonome effecten: de grootte van de slibpluim t.g.v. zandwinning is in principe onafhankelijk van de achtergrondstroefbeling en andere ingrepen zoals windparken of regulier baggeronderhoud. Maar dit geldt niet voor de ecologische effecten. Dezelfde verhoging van de vertroebeling kan voor verschillende referentiecondities (hoge of lage achtergrondswaarde) verschillende effecten hebben. Het is niet zeker of de huidige achtergrond, van 2007, nog voldoende representatief is. Een nieuwe(re) achtergrond kan worden verkregen uit metingen, modellering of een combinatie hiervan. Deze is vermoedelijk hoger dan de 2007-achtergrond, maar dit is niet zeker omdat windparken in de kustzone leiden tot een beperkte afname van de vertroebeling. Het vertroebelende effect van onderhoudsbaggerwerken zit impliciet in de achtergrond (omdat dit al tientallen jaren plaatsvindt). Dit is een veel grotere jaarlijkse slibblast dan t.g.v. zandwinning. Dat biedt perspectief op mitigatie (b.v. verspreiding van de baggerspecie in verdiepte loswallen verder uit de kust als te hoge troebelheid een zorg is of verspreiding in ondiepe loswallen nabij de kust als te lage troebelheid een zorg is).

Gecombineerde effecten: de vraag is wat de optelsom is van alle effecten met onzekerheden. In afwachting van de resultaten van het geologische onderzoek is deze optelsom nu nog niet te maken, maar wel kunnen al diverse scenario's worden geschetst.

- Bronterm voor slib binnen bandbreedte vorige MER → bestaande scenario's zijn bruikbaar.
- Bronterm buiten bandbreedte vorige MER → nieuwe scenarioberekeningen zijn aanbevolen.

Hierbij is rekening te houden met 30% reductie van de bronterm vanwege slib dat tijdens winning achterblijft in de beun. Dit geeft wat extra marge voor scenario's met een hoger winvolume of een hoger slibpercentage in het zand t.o.v. de vorige MER. Bij bandbreedte gaat het niet alleen om de totale hoeveelheid maar ook over de verdeling over de wingebieden en in de tijd. Dus als de bronterm qua totale hoeveelheid binnen de bandbreedte blijft maar de wintabellen in tijd en ruimte sterk afwijken van die van de vorige MER, is dit ook aanleiding voor nieuwe scenarioberekeningen. De inzet van zowel het oude als nieuwe modelinstrumentarium voor grootschalige pluimberekeningen kent daarbij beperkingen, zie §6.1.

In de vorige MER is de invloed van diepe(re) wingebieden op de invang van slib niet beschouwd. Als deze in de nieuwe MER wel wordt beschouwd, leidt dit tot een kleiner effect van de winpluimen, in combinatie met een verlaging van de natuurlijke achtergrondconcentratie beide door de invang van slib. Anderzijds kan bij het dieper winnen in bestaande putten de bronterm ook tijdelijk hoger zijn, doordat eerder ingevangen slib door verstoring tijdens winning opnieuw vrijkomt.

Deze redeneerlijn geeft een orde-grootte schatting voor deze invangsnelheid (bovengrens ~5 MT/jaar totale invang bij een netto depositieflux van ~100 kg/m²/jaar). Een nauwkeuriger bepaling valt buiten de reikwijdte van deze redeneerlijn en wordt aanbevolen voor een vervolg. Op basis hiervan kan worden vastgesteld of de invloed van zandwinning op de grootschalige troebelheid lager, of op de lange termijn mogelijks zelfs negatief (d.w.z. concentratieverlagend) wordt als de sliblast kleiner zou worden dan de slibinvang. Het grootschalige verspreidingsmodel is niet geschikt om deze invang te berekenen. Dit moet met een lokaal model gebeuren, waarbij voor de randvoorwaarden voor stroming en golven de gegevens uit het grootschalige model wel bruikbaar zijn. Validatie met meetgegevens van enkele winputten is aanbevolen.

Het overgrote deel van deze invangflux is afkomstig van de achtergrondconcentratie. In de huidige achtergrondconcentratie is de invloed van bestaande winputten aanwezig, evenals de invloed van bestaande winparken, baggeronderhoud van havens etc. Een tweede aanbeveling is om de achtergrondconcentratie van de vorige MER te toetsen t.o.v. actuele waarnemingen (op basis van lopende in-situ monitoring en satellietwaarnemingen). De slibpluimen t.g.v. zandwinning zijn hiervan weliswaar grotendeels onafhankelijk, maar voor de ecologische beoordeling is deze achtergrond belangrijk als referentie.

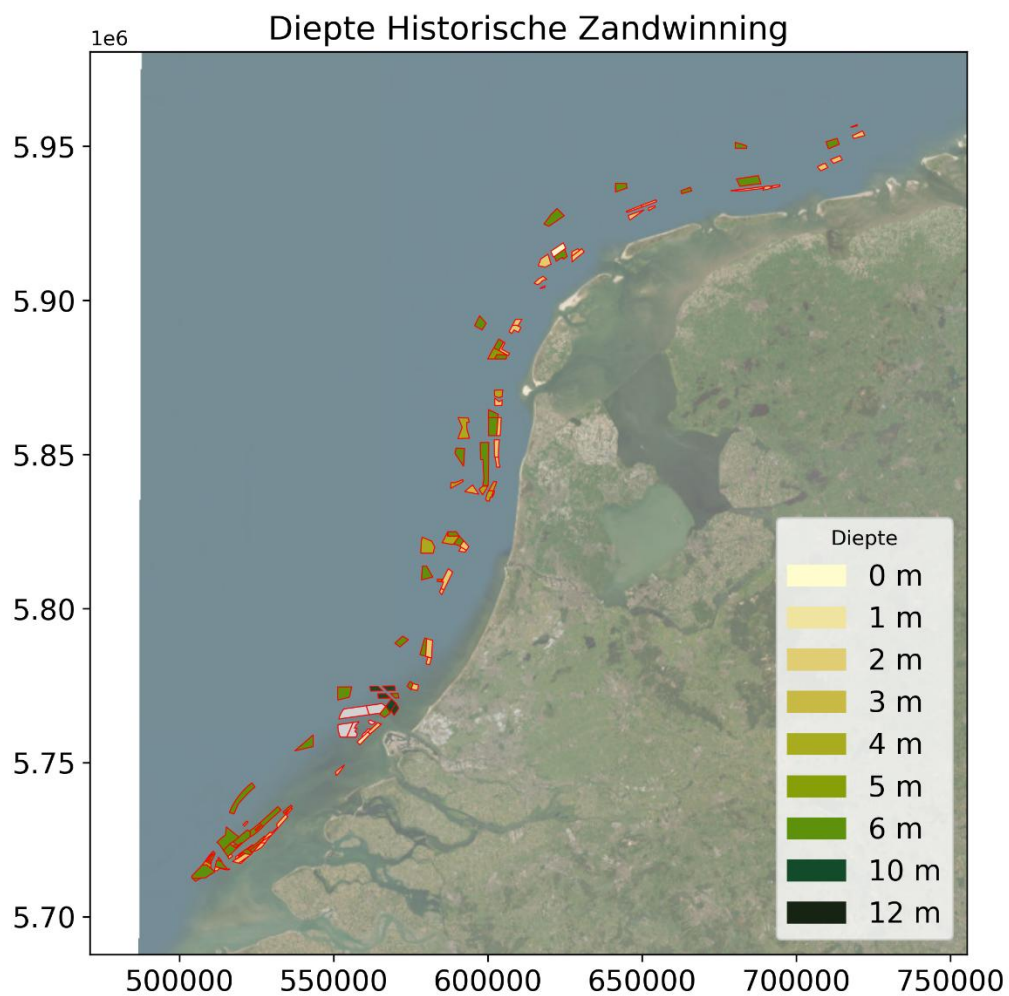
- Arentz, L. (2012). Kalibratie slibtransportmodel voor de Hollandse kustzone aan de hand van cadmium-metingen. Eindrapport Fase 2. Deltares rapport 1203191-001.
- Becker, J., van Eekelen, E., van Wiechen, J., de Lange, W., Damsma, T., Smolders, T., & van Koningsveld, M. (2015). Estimating source terms for far field dredge plume modelling. *J. Environ. Manage.*, 282–293.
- Blaas, M., Sumihar, J., Gaytan Aguilar, S., el Serafy, G., Cronin, K., Dijkstra, J., Villars, N. (2014). Model-supported trend analysis of SPM in the southern Northsea - MoS-III: Model-supported monitoring of SPM. Deltares report
- Colina Alonso, A., van Maren, D.S., Oost, A.P. et al. A mud budget of the Wadden Sea and its implications for sediment management. *Commun Earth Environ* 5, 153 (2024). <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01315-9>
- Cronin, K. (2013) MoS2-II: Sand Mining Mock-up scenario. Deltares rapport 1204561-000-ZKS-0020
- Cronin, K., Blaas, M., Plieger, R., Gaytan, S., & Rego, J. (2013). MoS2-II: Sand Mining Mock-Up Scenario – Assessment of Model Response. Deltares rapport 1204561-000-ZKS-0020.
- De Fouw J, van Horssen PW, Craeymeersch J, Leopold MF, Perdon J, Troost K, Tulp I, van Zwol J and Philippart CJM (2024) Spatiotemporal analysis of potential factors explaining fluctuations in population size of *Spisula subtruncata* in the Dutch North Sea. *Front. Mar. Sci.* 11:1476223. doi: 10.3389/fmars.2024.1476223
- De Wit, L. (2015). 3D CFD modelling of overflow dredging plumes. Delft: TU Delft.
- De Wit, L. (2019). 3D CFD modelling of hopper sedimentation. CEDA Dredging Days. Rotterdam.
- De Wit, L., Grasmeijer, B., Van Kessel, T., Dees, N., Meijers, C., Quataert, E. (2024). Abiotische effecten baggeren en verspreiden in de Waddenzee. Deltares rapport 11210370-014-ZKS-0001
- De Wit, L., van Rhee, C., & Talmon, A. (2014). Influence of important near field processes on the source term of suspended sediments from a dredging plume caused by a trailing suction hopper dredger: The effect of dredging speed, propeller, overflow location and pulsing. *Environmental Fluid Mechanics*, 41-66.
- Desmit, X., J. Boon, T. van Kessel, A. Nolte (2007). Sensitivity analysis sand mining scenarios Maasvlakte-2. WL | Delft Hydraulics report Z4103.70.
- Deltares (2025). Impact of Sea Level Rise and Altered Climate Scenarios on Sediment Dynamics in the Rhine-Meuse Delta. (In prep.)
- Gebr. van der Lee. (2025, November 12). IJmuiden: Meerjarig onderhoud vaarroute en buitenhaven. Geraadpleegd van <https://www.gebrvanderlee.nl/projecten/onderhoud-ijmuiden/>
- Gils, J. van (2016). Eigenschappen slib vrijkomend bij zandwinning. Deltares memo 20 december 2016.

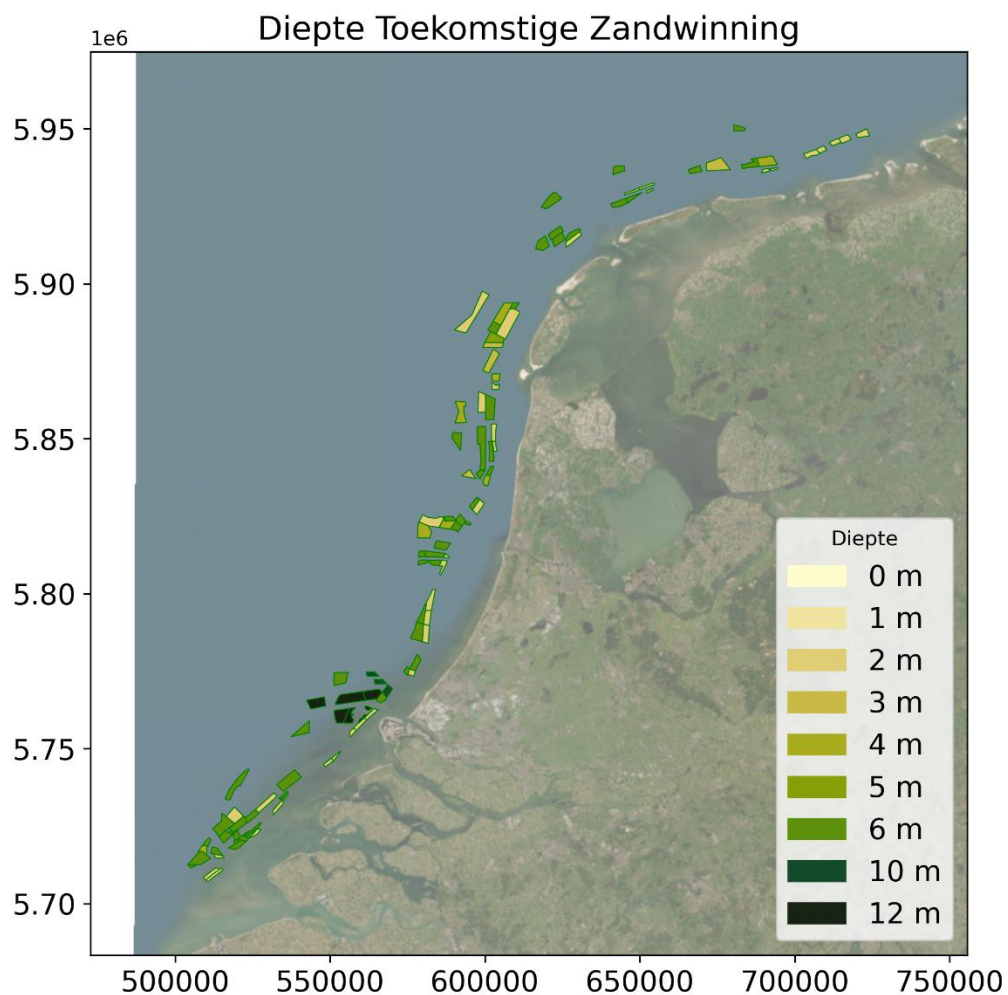
- Hendriks et al. (2020). How human activities affect the fine sediment distribution in the Dutch Coastal Zone seabed. *Geomorphology* Volume 367, 15 October 2020, 107314.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107314>
- Hendriks, E., Schuurman, F., (2017). Modelleren alternatieve loswal locaties. Deltares rapport 1230860-000-ZKS-0008
- Hendriks, E., van Prooijen, B., Cheng, C., Aarninkhof, S., Winterwerp, J., & Soetaert, K. (2022). An explanatory model for the burial of fines in the sandy seabed of the southern North Sea. *Marine Geology*. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2022.106953>
- Herman, P. M. J., and F. F. Van Rees. 2022. Mapping Reef forming North Sea Species. 11207716-000-ZKS-0001, Deltares, Delft.
- Herman, P. M. J., and R. Witbaard. 2023. Mapping *Arctica islandica*. 1209797-002-ZKS-0002, Deltares, Delft.
- Kessel, T. van, M.C. van Oeveren-Theeuwes, A.A. van Rooijen M.Sc.
- Kessel, T. van, V. van Zelst, J. Hanssen, L. Vilmin, L. van Duren (2022). Environmental effects of large-scale implementation of offshore wind farms. Further analyses. Deltares rapport 11208071-001-ZKS-0006.
- Kleijberg, R., Rozemeijer, M., & van der Wal, J. (2017). Zandwinning Noordzee 2018-2027: Nadere verdieping effecten Natura 2000. Arnhem: Arcadis.
- Laboyrie, P., van Koningsveld, M., Aarninkhof, S., Van Parys, M., Lee, M., Jensen, A., Kolman, R. (2018). Dredging for sustainable infrastructure. Calgary: CEDA.
- Staatsecretaris van Verkeer en Waterstaat (2008), Beschikking ontgrondingenwet/vergunning voor het winnen van zand in de Noordzee in verband met de aanleg van Maasvlakte 2, WSV738
- Troost, K., van Asch, M., Cornelisse, S., Glorius, S., van den Ende, D., van Es, Y., van Zwol, J. (2023). Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone, Waddenzee en zoute deltawateren in 2022. CVO rapport: 23.009. IJmuiden: Wageningen Marine Research.
- Van Heijst, M.W.I.M., Cleveringa, J., & De Kok, J.M. (2005). Vaargeulonderhoud, zandwinning & kustlijnverzorg: Risico's en perspectieven voor Rijkswaterstaat. Rijkswaterstaat rapport 2005.025.
- Van Dorland, R.; J. Beersma; J. Bessembinder; et al. (2024) KNMI National Climate Scenarios 2023 for the Netherlands. KNMI Scientific report; WR-23-02. De Bilt
- Van Duin, C., Vrij Peerdeman, M., Jaspers, H., Bucholc, A. (2017). Winning suppletiezand Noordzee 2018 t/m 2027
- Van Duren, L., van Kessel, T., Troost, T., Blauw, A., Kramer, L., van Gils, J., Villars, M. (2017). Scenariostudies ter ondersteuning van de MER zandwinning Noordzee 2018 – 2027. Delft: Deltares.
- Van Rees, F. F., S. Mestdag, and J. Rienstra. 2025. Habitat suitability *Sabellaria spinulosa* in wind area Nederwiek Noord. 11211673-002-ZKS-0001, Deltares, Delft.
- Veld, H., J. de Weert, T. van Kessel, M. Verheul, M. de Kleine, L. Vonhögen-Peters (2016). Monster- en meetprotocol. Ten behoeve van geologisch onderzoek zoekgebieden Noordzee zandwinning. Deltares rapport 1230624.

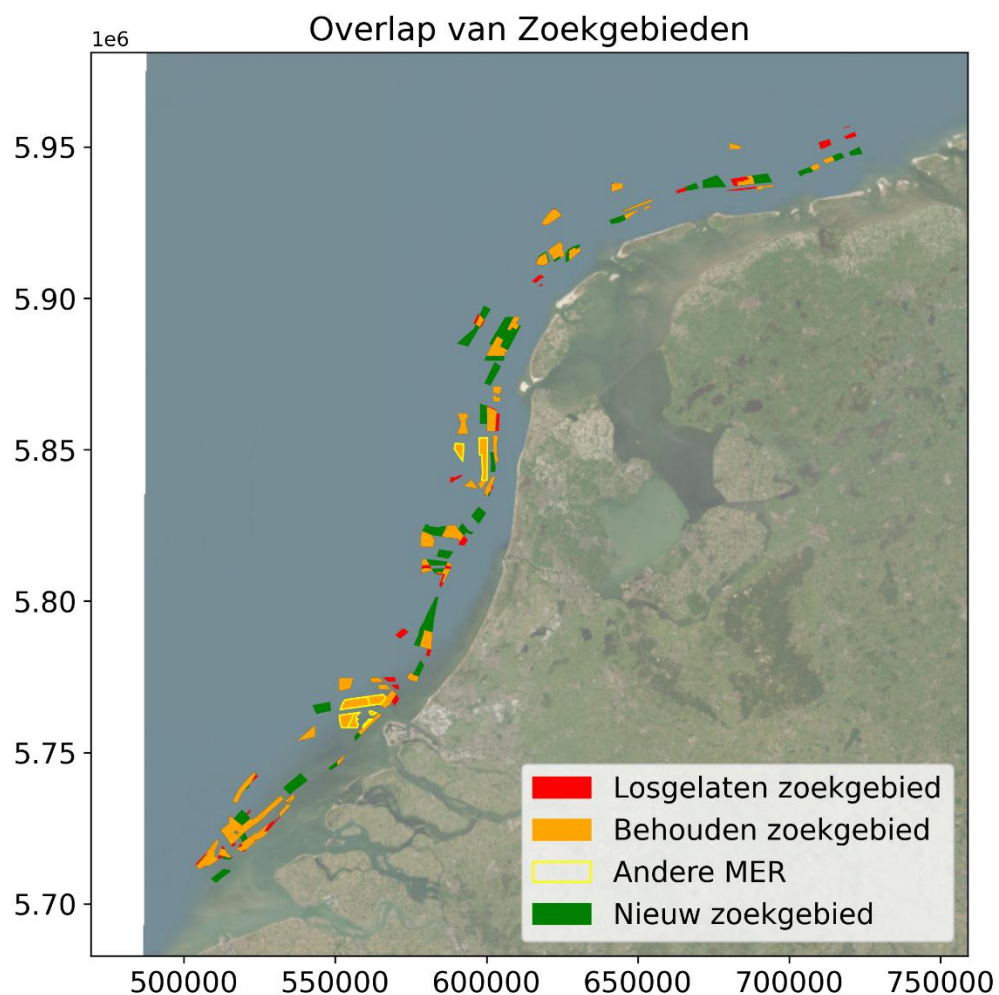
- Weerdenburg, R. van (2024). DWSM-Mud: a sixth-generation 3D model of the Dutch Wadden Sea for hydrodynamics and mud dynamics: 2023 release. Deltares report 11209231.
- Winterwerp, J.C. (2001). Voorstudie vermindering baggerbezwaar Voorhaven IJmuiden. WL Hydraulics rapport H3961
- Witbaard, R., Duineveld, G., Bergman, M., Witte, H., Groot, L., & Rozemeijer, M. (2015). The growth and dynamics of *Ensis directus* in the near-shore Dutch coastal zone of the North Sea. *Journal of Sea Research* 95, 95-105.
- Witbaard, R., B. Parmentier, and P. M. J. Herman. 2024. Distribution of Sandeel (*Ammodytes* sp.) in the Dutch North Sea. 11210234-000-ZKS-0001, Deltares, Delft.
- Zijl, F., Laan, S., Leummens, L., Zijlker, T., Van Kessel, T., Van Zelst, V., Jaksic, L., Vilmin, L., Schneider, L., Van Duren, L. (2023). Scenario studies on potential ecosystem effects in future offshore wind farms in the North Sea. Deltares rapport 11208071-001-ZKS-0010

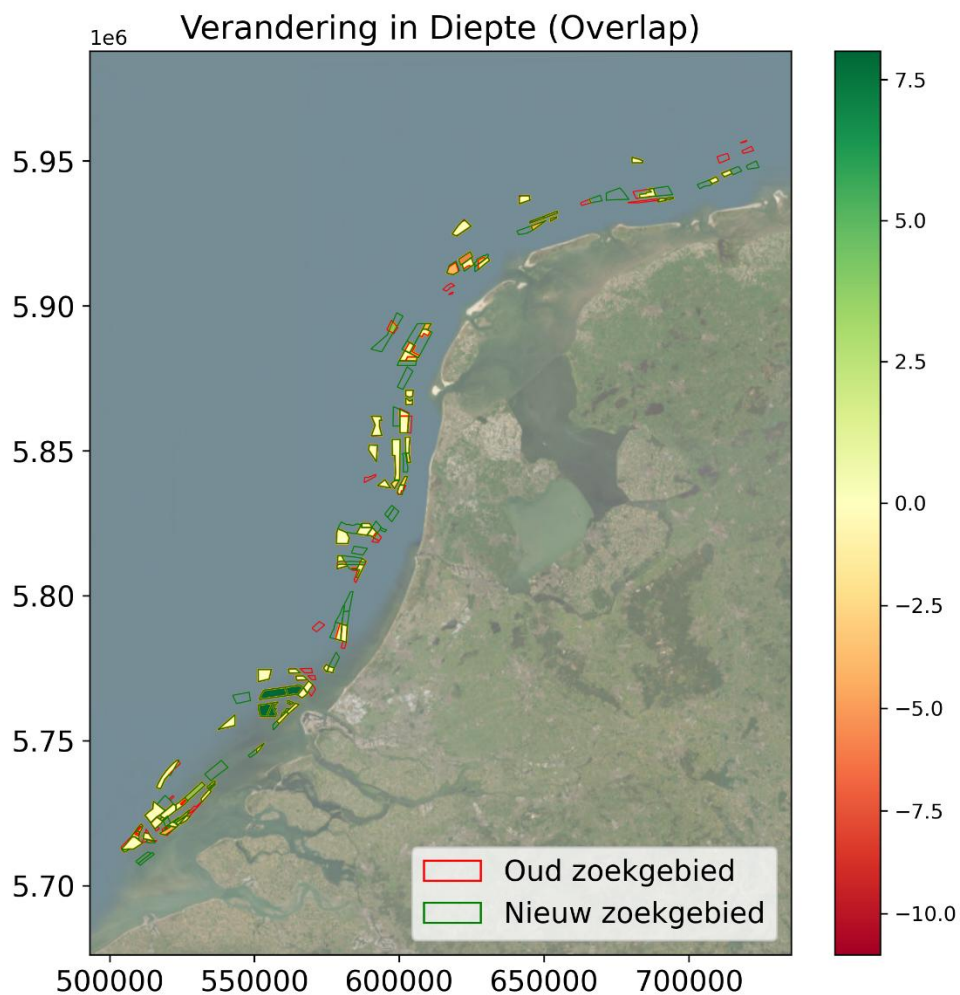
A Zoekgebieden

(uitvergroting van Figuur 2-1)









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