

Vergelijking bagger- en verspreidingsscenario's Delfzijl

Slibmodellering t.b.v. beoordeling ecologische effecten

Groningen Seaports & Rijkswaterstaat (NN)

23 januari 2024 - [REDACTED]

Contactpersoon

[Redacted]

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel en samenhang met Passende Beoordeling	5
1.3	Leeswijzer	5
2	Het Eems-Dollard estuarium: huidige situatie	6
2.1	Waterbeweging	6
2.2	Morfologie	7
2.3	Slibhuishouding	8
2.4	Beschouwing gevolgen vertroebeling en slibsedimentatie i.r.t. achtergrondconcentratie	11
3	Beschrijving werkzaamheden	13
3.1	Algemeen	13
3.2	Samenstelling baggerspecie	13
3.3	Toegepaste baggertechnieken	14
3.4	Baggerlocaties, verspreidingslocaties en het moment van verspreiden	15
3.5	Baggerwerkzaamheden van de afgelopen jaren	16
3.6	Eerder vergunde baggerwerkzaamheden en de mogelijke mitigerende maatregelen	18
3.7	Scenario's	19
3.7.1	Totstandkoming scenario's	19
3.7.2	Baggervolumes scenario's	20
4	Slibmodel en schematisering scenario's	22
4.1	Delft3D modelopzet	22
4.1.1	Rekenrooster en modelbathymetrie	22
4.1.2	Randvoorwaarden	23
4.2	Schematiseren verspreiding baggermateriaal	24
4.2.1	Brontermen: van data naar modelinvoer	24
4.2.2	Sedimenteigenschappen in het model	26
4.2.3	Modelvisie verspreiden baggermateriaal	27

4.3	Modelonzekerheden	27
5	Resultaten modelberekeningen	28
5.1	Slibconcentratie	29
5.1.1	Daggemiddelde slibconcentraties op representatieve punten	31
5.1.2	Ruimtelijke variatie in slibconcentratie in de zomermaanden	34
5.2	Sedimentatie	37
5.3	Sedimentatie snelheid	40
6	Conclusies	42
7	Bibliografie	43
	Colofon	47

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In de haven van Delfzijl vindt sedimentatie plaats van zand en slib, waardoor de diepte van de haven geleidelijk afneemt. Om de haven toegankelijk te houden voor zeeschepen dient met regelmaat te worden gebaggerd, zodat de waterdiepte weer voldoende groot is. Bij het baggeren wordt het zand en slib van de bodem hetzij direct opgezogen van de bodem, verzameld in het baggerschip en daarna op een aangewezen verspreidingslocatie in het Eems-Dollard estuarium verspreid, of het zand en slib wordt van de bodem “geblazen” en dan door de ebstroming weggevoerd. Bij de bagger- en verspreidingswerkzaamheden en na afloop van het verspreiden, komt slib vrij in de waterkolom, zodat daar verhoogde slibconcentraties optreden. Dit slib zakt uit de waterkolom naar de bodem en komt daar dan tot afzetting.

1.2 Doel en samenhang met Passende Beoordeling

In het voorliggende rapport worden de resultaten gepresenteerd van modelberekeningen van het baggeren en verspreiden in de haven van Delfzijl en Paapsand Süd. De berekeningen betreffen verschillende scenario's:

- De situatie zoals vergund (WVO-vergunning uit 1993), zijnde de 'referentie situatie',
- De huidige situatie voor Delfzijl haven gebaseerd op de afgelopen jaren,
- De voorgenomen baggerinspanning voor Delfzijl haven met mitigerende maatregelen (de nieuwe Wnb-vergunning),
- De baggerinspanning voor Paapsand Süd, gebaseerd op de afgelopen jaren, en
- De baggerinspanning voor Paapsand Süd, na mitigerende maatregelen.

De resultaten worden relatief beschouwd, dat wil zeggen dat de toe- en afnames ten opzichte van andere scenario's worden bekeken.

Het doel van het voorliggende rapport is om kwantitatief inzicht te geven in de vertroebeling en bedekking in het estuarium als gevolg van het baggeren en verspreiden bij Delfzijl en Paapsand Süd bij verschillende scenario's. De mitigatie scenario's omvatten mitigerende maatregelen die zijn gericht op het beperken van de ecologische gevolgen van baggeren en verspreiden. Het voorliggende rapport geeft kwantitatief weer wat het resultaat is van de mitigerende maatregelen ten opzichte van de vergunde situatie in 1993. Daarnaast geeft het rapport weer wat het verschil is tussen de huidige situatie ten opzichte van de vergunde situatie in 1993.

De ecologische beoordeling van het baggeren en verspreiden wordt uitgevoerd op basis van de resultaten van de numerieke modelsimulaties. Deze ecologische beoordeling is geen onderdeel van het voorliggende rapport, maar is onderdeel van de Passende Beoordeling (Arcadis, 2024) voor deze activiteit.

1.3 Leeswijzer

Het volgende staat in de voorliggende rapportage:

In **Hoofdstuk 2** is een beschrijving gegeven van de belangrijkste systeemprocessen en de daaraan gekoppelde slibhuishouding.

Hoofdstuk 3 gaat in op de baggerwerkzaamheden. Hierin worden de samenstelling van het gebaggerde materiaal, de baggertechnieken, de baggervolumes van de afgelopen jaren en de vergunde baggerwerkzaamheden toegelicht. Tenslotte zijn de doorgerekende scenario's benoemd.

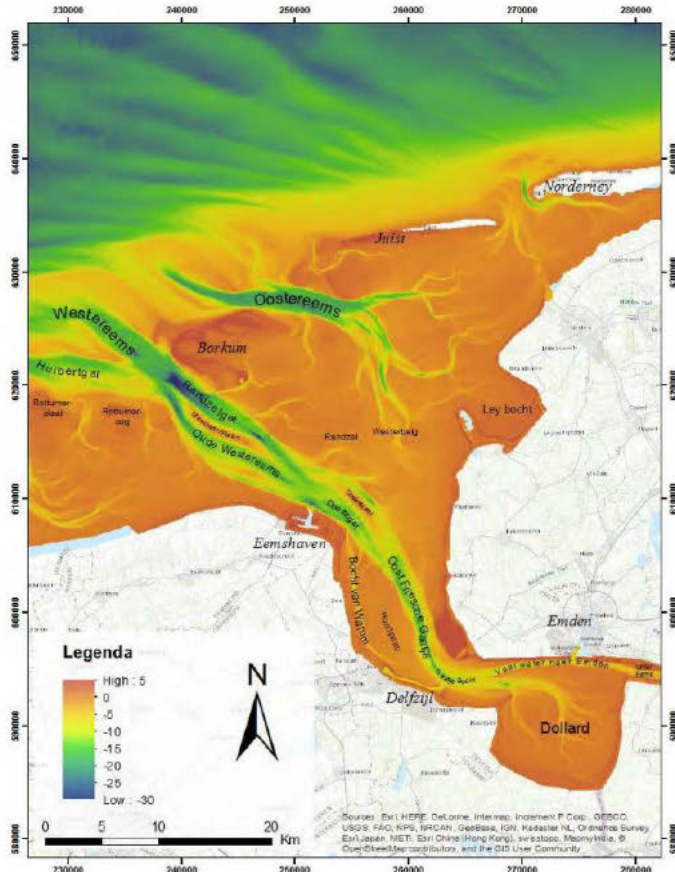
Hoofdstuk 4 beschrijft de modelopzet en de modelonzekerheden. Hoe zijn de baggervolumes in het model gebracht?

In **Hoofdstuk 5** staan de belangrijkste resultaten van het model. De focus van dit hoofdstuk ligt op de verschillen tussen de scenario's.

Tenslotte zijn de conclusies en aanbevelingen ondergebracht in **Hoofdstuk 6**.

2 Het Eems-Dollard estuarium: huidige situatie

Het Eems-Dollard estuarium is gelegen in het noordoosten van Nederland tegen de grens met Duitsland (Figuur 2-1). Het is een dynamisch gebied door het getij en de zoetwatertoevoer vanuit de Eems (paragraaf 2.1). Deze waterbewegingen zorgen voor morfologische veranderingen in het systeem: de geulen en platen verplaatsen zich (paragraaf 2.2). Daarnaast is het systeem slibrijk, waardoor het water een relatief hoge slibconcentratie bevat. Deze concentratie varieert in de tijd, waarover meer in paragraaf 2.3.



Figuur 2-1 De Eems-Dollard met bodemligging uit 2017 (Deltares, 2017).

2.1 Waterbeweging

De getijamplitude varieert over het gebied. Bij het Huibertgat is de gemiddelde getijamplitude 1,08 m en bij de Eemshaven is de gemiddelde amplitude toegenomen tot 1,28 m. Het getij wordt gegenereerd door de posities van de zon en de maan ten opzichte van de aarde. Het getij kent ook een cyclische periode van ongeveer 18,6 jaar (de zogenaamde Saros periode). De karakteristieken van de waterstanden in het gebied variëren door de jaren. In Tabel 2-1 zijn over de Saros periode gemiddelde waarden van springtij, gemiddelde tij en doottij gepresenteerd (Hartsuiker, 2007).

Tabel 2-1 Karakteristieke waterstanden bij springtij, gemiddelde tij en doottij (waarden in cm ten opzichte van NAP).

Locatie	Springtij			Gemiddeld tij			Doottij		
	HW [cm]	LW [cm]	HW-LW [cm]	HW [cm]	LW [cm]	HW-LW [cm]	HW [cm]	LW [cm]	HW-LW [cm]
Huibertgat	108	-135	243	94	-121	215	77	-98	175
Eemshaven	133	-153	286	118	-138	256	101	-116	217

De maximale stroomsnelheid in de grootste getijdegeulen van het gebied bedragen orde 1,0 tot 1,4 m/s gedurende gemiddelde getijomstandigheden (Hartsuiker, 2007). In de kleineren geulen en boven de platen kunnen maximale snelheden voorkomen van orde 0,6 tot 1,0 m/s. De maximale snelheden variëren onder invloed van de doottij-springtij cyclus met hogere maximale snelheden tijdens springtij, en lagere maximale snelheden tijdens doottij.

Vanuit de Eems stroomt zoet water het estuarium in. Jaargemiddeld liggen de debieten tussen de 38 en 131 m³/s met een gemiddelde van 81 m³/s. Door seizoenveranderingen variëren de maandgemiddelde debieten tussen de 141 m³/s in januari tot 38 m³/s in augustus (Arcadis, 2013).

2.2 Morfologie

Huidige bodemligging

De huidige bodemligging van het Eems-Dollard estuarium wordt gekenmerkt door een diepe hoofdgeul die vanuit de Eems doorloopt richting de Waddenzee (Westereems), van 15 à 25 m diep (Figuur 2-1). Langs deze hoofdgeul zijn in het zuiden vertakkingen naar de ondiepe Dollard. Daarnaast bevindt zich ter hoogte van Delfzijl een grote plaat, de Hond-Paap (Figuur 2-2). Hoewel er veel dynamiek is in het estuarium, is de ligging van de geulen en platen (o.a. Hond-Paap) relatief stabiel (ED2050, 2021).

Veranderingen in de bodemligging

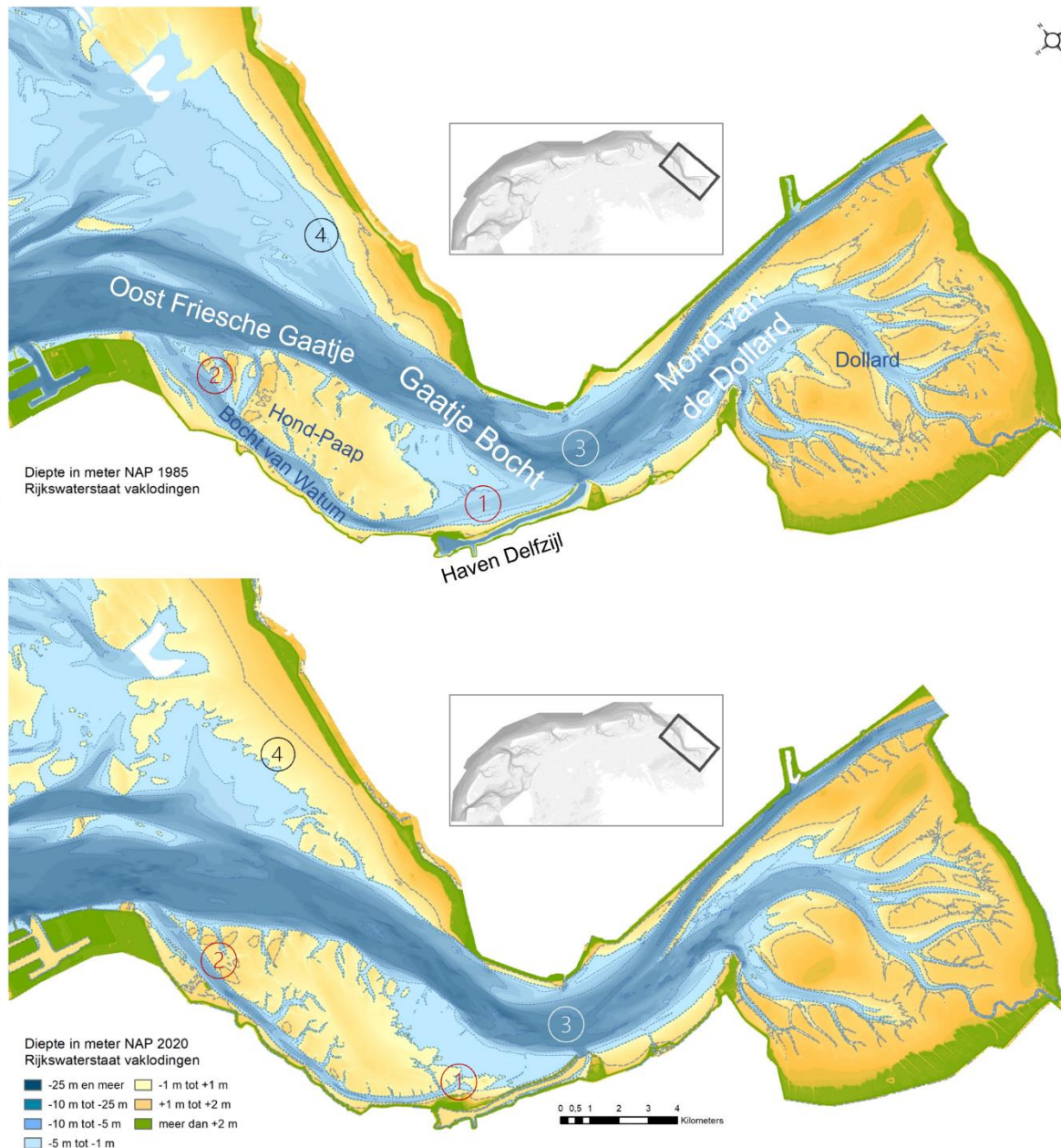
Het projectgebied wordt gekenmerkt door grote morfologische dynamiek die hoort bij een estuarium. Ook momenteel is het systeem zich nog aan het aanpassen tot een nieuw dynamisch evenwicht. De tijdschaal waarop deze aanpassingen zich voordoen is orde van grootte 100 jaar. Door de stromingen en de golven migreren bodemvormen en veranderen platen en geulen voortdurend in vorm en diepte.

In het Eems-Dollard estuarium hebben verschillende morfologische veranderingen plaatsgevonden tussen 1985 en 2020 (Figuur 2-2). Slechts een beperkt deel van die veranderingen is van belang voor de verspreiding van slib vanuit de haven van Delfzijl en die worden onderstaand beschouwd.

De omvang van de Bocht van Watum is in de loop van de tijd sterk afgenomen (Figuur 2-2). De afname is het grootst geweest aan het zuidoostelijke uiteinde, bij Delfzijl. Tegenwoordig is de geul nabij Delfzijl eigenlijk niet meer als zodanig herkenbaar. De afname van de omvang van de Bocht van Watum is samen opgegaan met uitbreidingen van het plaatcomplex Hond-Paap (Figuur 2-2). Aan de zuidzijde is de plaat iets uitgebreid en aan de noordzijde zijn kleine platen verheeld met de grote plaat.

De morfologische ontwikkeling nabij Delfzijl hebben praktische gevolgen gehad voor het verspreiden van de baggerspecie. De doorgaande sedimentatie aan de zuidzijde van de Bocht van Watum heeft ervoor gezorgd dat de waterdiepte dermate beperkt is dat hier geen baggerspecie meer verspreid kan worden. Deze baggerspreidingslocatie is tegenwoordig niet meer bereikbaar voor de baggerschepen. Al eerder is de waterdiepte dermate klein geworden dat de baggerschepen niet meer konden onderlossen door middel van kleppen.

In dit rapport wordt niet dieper ingegaan op de oorzaken van de morfologische veranderingen in het estuarium, omdat de oorzaken hiervan geen directe relatie hebben met de gevolgen van de slibverspreiding in de huidige situatie. Daarbij geldt dat in het estuarium veel verschillende ontwikkelingen hebben plaatsgevonden, waarvan een deel kan worden beschouwd als autonome grootschalige ontwikkeling en een deel het directe of indirecte gevolg is van menselijke ingrepen. De afname van de omvang van de Bocht van Watum is waarschijnlijk het resultaat van zo'n autonome verandering, waarbij de rol van de hoofdgeul Oost-Friesche Gaatje in het estuarium is toegenomen ten koste van de nevengeul (Bocht van Watum). Het verspreiden van sediment aan de zuidzijde van de Bocht van Watum kan de afname van de omvang hebben versterkt.



Figuur 2-2 De bathymetrie van 1985 en 2020 (op basis van de vaklodingen data van Rijkswaterstaat)

2.3 Slibhuishouding

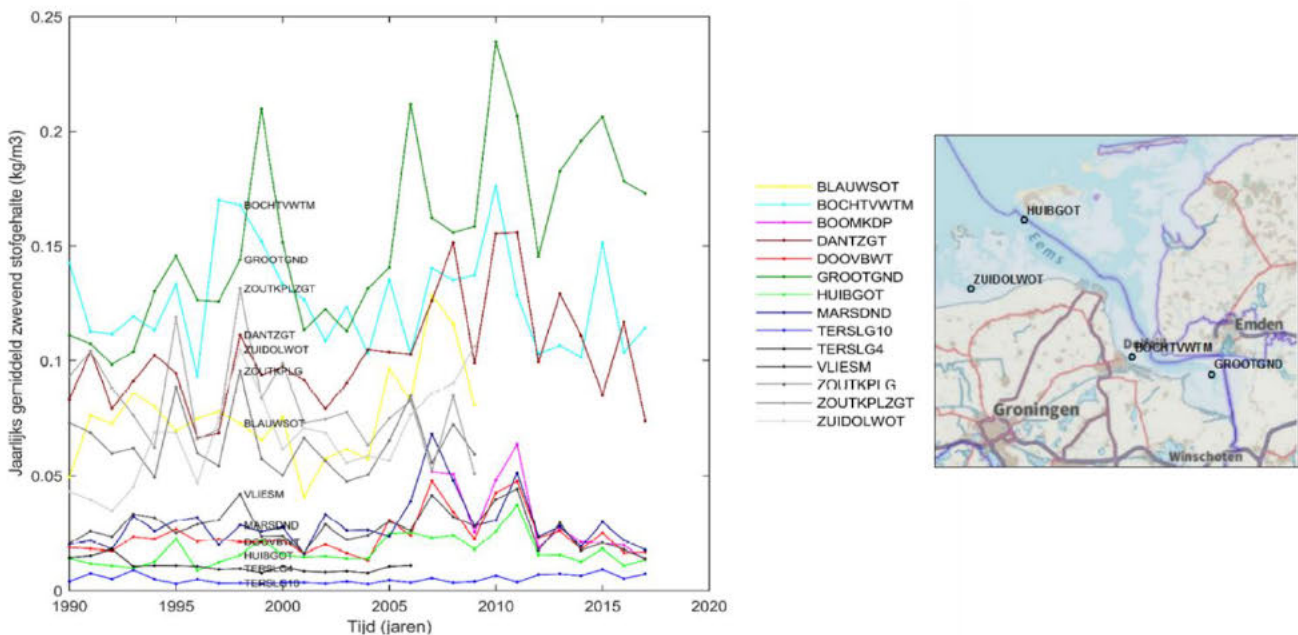
De slibhuishouding van het Eems-estuarium is onderwerp van veel verschillende studies (IMARES, 2015) (Deltares, 2011), omdat een duidelijke, en in de Eems-rivier extreme, toename van de slibconcentraties heeft plaatsgevonden (ED2050, 2021). Aan deze veranderingen ligt een combinatie van factoren ten grondslag, waarbij de veranderingen van de vorm van het estuarium en de daaruit volgende verandering in de waterbeweging een zeer belangrijke rol speelt. De diepte van de hoofdgeul is toegenomen en de omvang van de oeverlanden bij de Eems-rivier is afgenomen, waardoor de vloedasymmetrie in het getij is toegenomen. De essentie van de toename van de vloedasymmetrie is dat het sedimenttransport in de vloedrichting (dus gericht naar het estuarium) is toegenomen ten opzichte van het ebgerichte sedimenttransport (gericht naar de Noordzee). Het heeft een zelfversterkend proces in gang gezet, dat bekend staat als "tidal pumping", waarbij steeds meer slib in het water van de Eems-rivier wordt 'gevangen'. Andere factoren die mogelijk bijdragen hebben geleverd aan de toename van de slibconcentraties in met

name het stroomopwaartse deel van het estuarium zijn de afname van de onttrekking van slib aan het estuarium voor toepassing op land en een verandering van de baggertechnieken van de inzet van een sleephopperzuiger voor het opbaggeren, verplaatsen met een schip en verspreiden, naar opwoelen (agiteren) en beluchten (in paragraaf 3.3 worden verschillende baggertechnieken beschreven). De bijdragen van alle verschillende factoren aan de veranderingen aan de toename van de slibconcentratie in de onderdelen van het estuarium zijn niet bekend (Deltares & RHDHV, 2022). Het is niet mogelijk gebleken om de specifieke bijdrage van de verschillende factoren vast te stellen, omdat de verschillende factoren met elkaar verbonden zijn en omdat er ook nog onzekerheden bestaan over individuele factoren.

Achtergrondconcentraties zwevend slib

De zwevend slib concentratie in de Eems-Dollard is hoger dan van nature verwacht mag worden in een dergelijk estuarium. Deze zogenaamde achtergrondconcentratie is een resultante van natuurlijke processen die het slib opwoelen, in combinatie met baggerwerkzaamheden die op verschillende plekken in de Eems-Dollard plaatsvinden. Zo leveren ook de baggerwerkzaamheden bij Delfzijl een onderdeel van de achtergrondconcentratie. De natuurlijke processen die voor opwoeling van het slib zorgen zijn golven, wind en (getijde)stroming. Daarnaast zijn de slibconcentraties afhankelijk van de diepte.

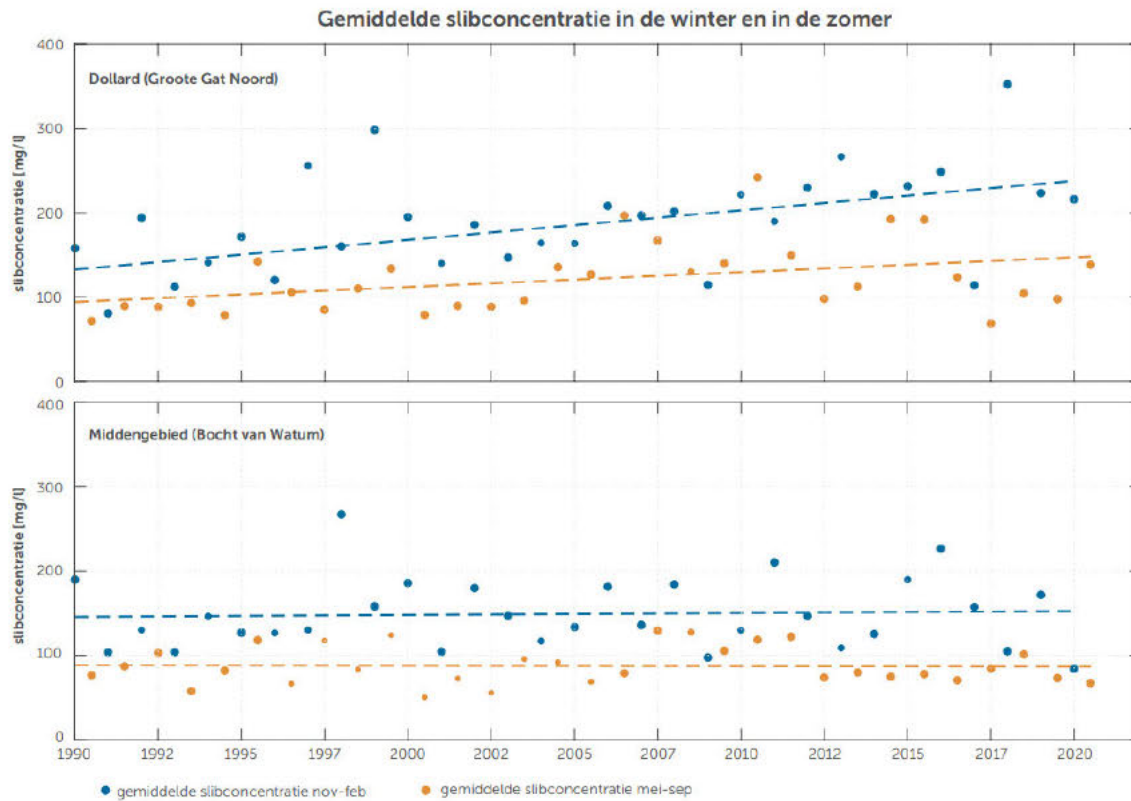
De achtergrondconcentratie varieert per locatie in de Eems-Dollard. Zo is de concentratie rond de Dollard ongeveer 150 mg/l en rond Delfzijl ongeveer 120 mg/l (Figuur 2-3). In de Westereems (Waddenzee) is de concentratie veel lager, ongeveer 20 mg/l (Huibgot, Figuur 2-3). Daarnaast is de slibconcentratie in de Eems-Dollard flink toegenomen als gevolg van vaargeulverdiepingen (voornamelijk in de Eems-rivier) en het verlies van locaties waar het slib kan bezinken. De toename van de slibconcentratie is het grootst in de Eems-rivier maar is ook zichtbaar in het estuarium (Figuur 2-4).



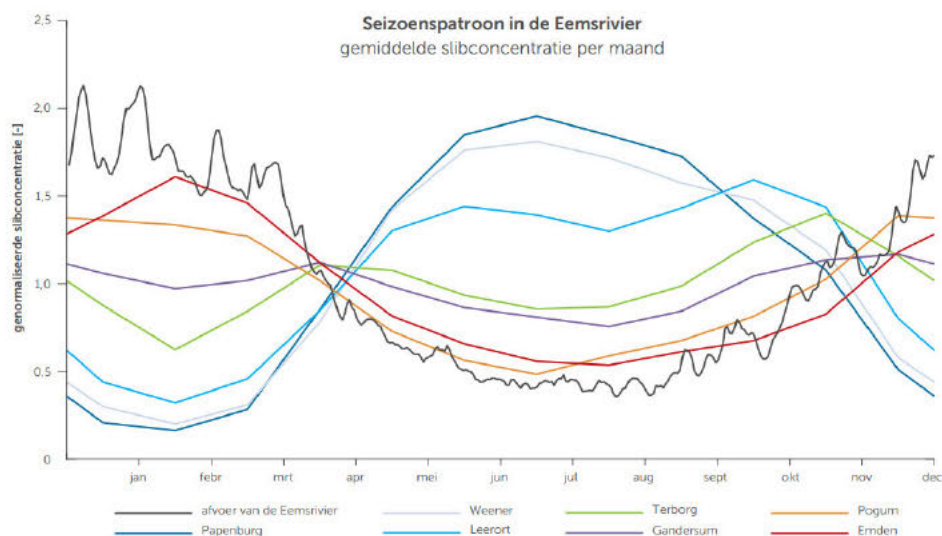
Figuur 2-3: Het jaarlijks gemiddelde zwevende stofgehalte in het Eems-Dollard estuarium (RHDHV, 2018)

Seizoenvariatie in slibconcentratie

De variabiliteit van de achtergrondconcentraties is groot als gevolg van seizoenvariatiën en optredende stormen. In Figuur 2-4 is zichtbaar dat de concentraties in de zomer lager liggen ten opzichte van de concentraties in de winter. In de winter zijn meer stormen welke resulteren in een hogere slibconcentratie. Verder richting bovenstrooms in de Eems-rivier is de concentratie soms juist lager in de winter ten opzichte van de zomer. Dit komt doordat de debieten van de rivier in de zomer juist lager liggen dan in de winter (Figuur 2-5).



Figuur 2-4 De gemiddelde slibconcentratie in de winter en de zomer in de Dollard (boven) en in het midden van het estuarium (Bocht van Watum) (ED2050, 2021).



Figuur 2-5 De afvoer van de Eemsrivier en de gemiddelde slibconcentratie per maand op verschillende plekken in de Eems rivier (ED2050, 2021).

2.4 Beschouwing gevolgen vertroebeling en slibsedimentatie i.r.t. achtergrondconcentratie

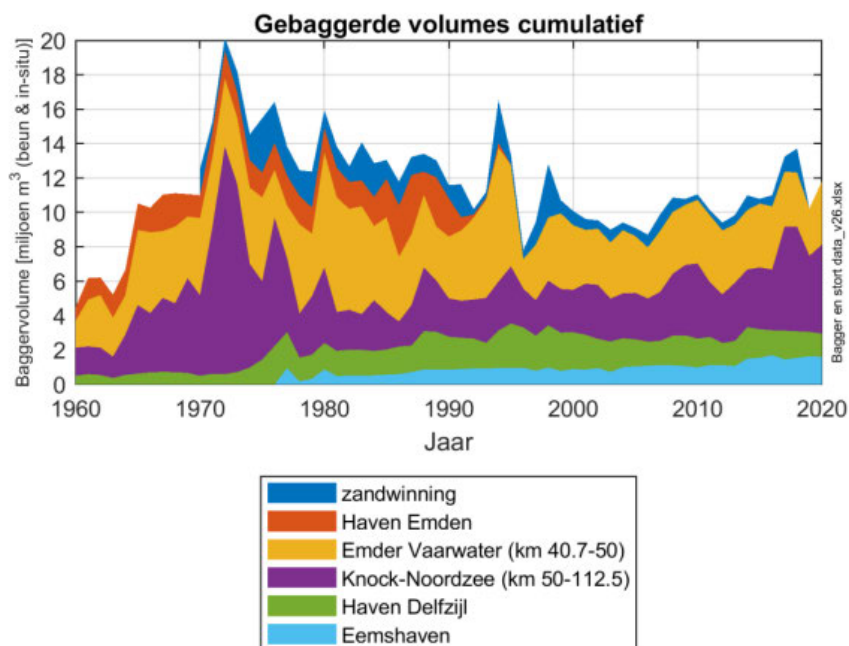
Zoals in paragraaf 2.3 toegelicht, is in het Eems-Dollard estuarium sprake van een duidelijk veranderde slibhuishouding, waardoor de achtergrondconcentraties met name in het stroomopwaartse deel van het estuarium sterk zijn toegenomen ten opzichte van de oorspronkelijke situatie. Dit is overigens niet de natuurlijke situatie, omdat al sinds eeuwen sprake is van bedijking, dammen zijn aangelegd en ook al langer baggerwerkzaamheden worden uitgevoerd. Over de bijdrage van de haven van Delfzijl valt hierbij op te merken dat:

- Het baggeren van de haven geen bijdrage levert aan de veranderingen van de vorm van het estuarium en de veranderingen in de voortplanting van het getij en de waterbeweging.
- De omvang van het baggeren van de haven niet wezenlijk is veranderd sinds de jaren '80 van de vorige eeuw (na het verleggen van de havenmonding, inclusief de aanleg van de schermdam), zoals zichtbaar in Figuur 2-6.
- Veranderd aan het baggeren en verspreiden zijn de verspreidingslocaties (omdat de Bocht van Watum ondieper is geworden en daar na 2004 niet meer is verspreid) en de baggertechniek (van sleehopperzuiger naar Airset, sinds begin 2000).

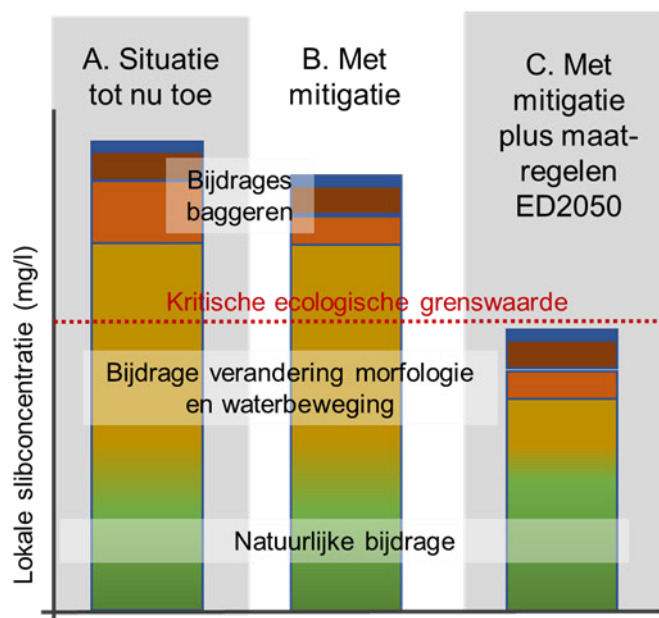
Dit betekent ook dat de haven van Delfzijl alleen via het derde punt kan bijdragen aan het verlagen van de concentraties in het estuarium.

Uit onderzoek dat is uitgevoerd in het kader van ED2050-programma en in aanloop naar dat programma is gebleken dat de aanbevolen maatregelen om de slibhuishouding in het estuarium te verbeteren, bestaan uit het onttrekken en het vastleggen van slib (ED2050, 2021). Een jaarlijkse onttrekking van 1 miljoen ton is noodzakelijk gevonden om de ecologische kwaliteit van het estuarium te vergroten. In Figuur 2-7 is aangegeven hoe de mitigerende maatregelen bij het baggeren bij Delfzijl en de maatregelen uit het ED2050-programma zich tot elkaar verhouden. In de situatie tot nu toe is sprake van de natuurlijke gradiënt in slibconcentraties in het estuarium, met lage concentraties aan de zeezijde en hogere concentraties stroomopwaarts, in combinatie met een toename van de vertroebeling als gevolg van de veranderingen in morfologie en waterbeweging (RHDHV & Deltares, 2022). Het baggeren op verschillende locaties en het verspreiden van de baggerspecie houdt de verhoogde concentraties in stand (RHDHV & Deltares, 2022). De mitigerende maatregelen van het baggeren bij Delfzijl leveren een reductie van de bijdrage van het baggeren en verspreiden bij Delfzijl, zoals wordt aangetoond in het voorliggend rapport. Maar voor verbetering van de kwaliteit van het estuarium is het ook noodzakelijk om de maatregelen uit het ED2050-programma uit te voeren, om de gevolgen van de veranderingen in de morfologie en waterbeweging te reduceren.

De uitkomsten van de simulaties worden niet beschouwd ten opzichte van een natuurlijke achtergrondconcentratie, maar tonen enkel de concentratieverhoging ten gevolge van de baggerwerkzaamheden, zoals beschreven in de voorgaande paragraaf.



Figuur 2-6 Baggervolumes in het Eems-estuarium voor de periode 1960-2020, inclusief zandwinning maar exclusief data van de Eems-rivier (figuur uit RHDHV & Deltares, 2022).

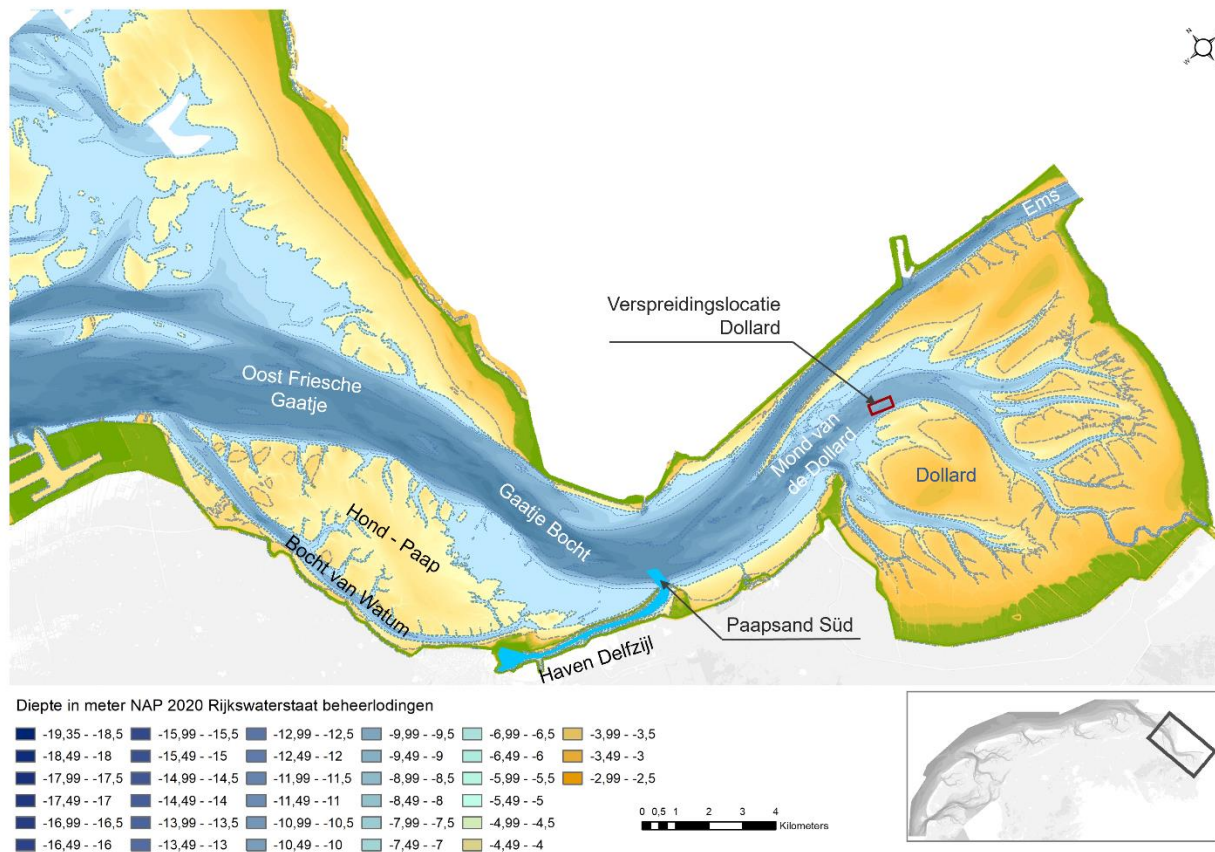


Figuur 2-7 Schematische weergave van de (jaargemiddelde) slibconcentratie op een fictief punt in het Eems-Dollard estuarium, met de bijdragen van de verschillende processen aan de slibconcentratie. De verschillende kleuren bij de bijdrages van baggeren tonen de bijdrages vanuit verschillende havens en vaargeulen. In de grafiek is ook een ecologische grenswaarde aangegeven, waarmee wordt bedoeld dat bij waarden daarboven negatieve ecologische effecten niet kunnen worden uitgesloten.

3 Beschrijving werkzaamheden

3.1 Algemeen

De werkzaamheden die worden beschouwd omvatten het baggeren in de haven van Delfzijl en in de aangrenzende vaargeul Paapsand Süd (Figuur 3-1). Onder haven van Delfzijl verstaan wij het gehele gebied vanaf de havendammen tot aan de sluizen (dit omvat dus ook het Zeehavenkanaal).



Figuur 3-1 Kaart van de haven van Delfzijl en het aangrenzende deel van het Eems-Dollard estuarium (kaart op basis van vakloding gegevens Rijkswaterstaat).

3.2 Samenstelling baggerspecie

De samenstelling van de baggerspecie is gemeten op basis van een aantal bodemonmonsters (boringen) die zijn genomen in de haven van Delfzijl (zie Figuur 3-1). Het gebaggerde materiaal in de haven bestaat grotendeels uit slib. De vaargeul Paapsand Süd bestaat zelf uit zand, maar in de vaargeul bezinkt ook slib, afkomstig uit onder meer de haven. Bij het baggeren in deze vaargeul wordt dus zowel zand als slib verplaatst.

Drie korrelgroottefracties zijn te onderscheiden:

1. lutum en fijn silt (korrelgrootte fijner dan 32 μm);
2. silt (korrelgrootte tussen 32 – 63 μm en
3. (fijn) zand (korrelgrootte groter dan 63 μm)

De verdeling tussen deze drie fracties is 70%, 20% en 10%. Dit is gebaseerd op korrelgrootteanalyses die zijn uitgevoerd voor het bepalen van de kwaliteit van het sediment in de haven van Delfzijl. Het overgrote deel van de

baggerspecie bestaat uit zeer fijn materiaal ($<63\ \mu\text{m}$) dat gemakkelijk in suspensie raakt. Samen vormen de korrelgroottefracties lutum en fijn silt en silt de slibfractie. De slibfractie omvat in deze studie dus alle deeltjes fijner dan $63\ \mu\text{m}$.

3.3 Toegepaste baggertechnieken

Het op diepte houden van de haven en de vaargeul Paapsand Süd gebeurt met twee verschillende baggerwerktuigen: de Airset en de sleephopperzuiger.

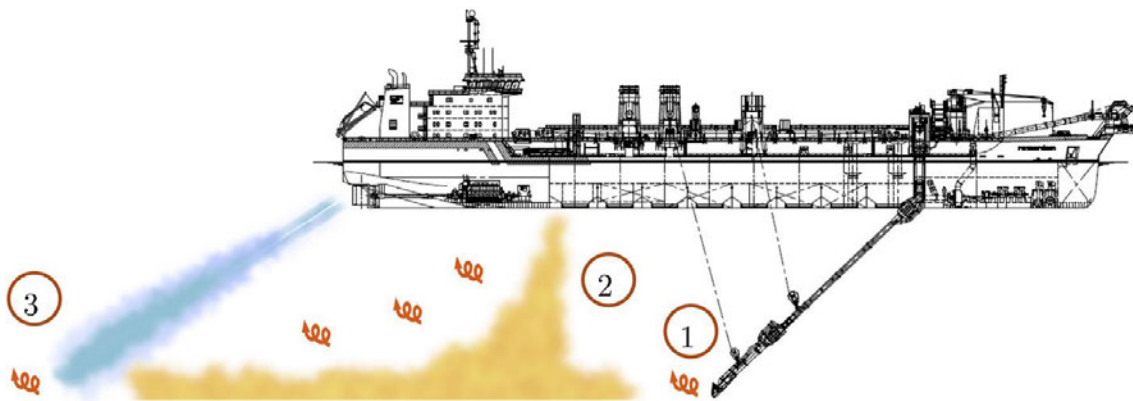
Airset

De Airset is een baggertechniek wat het slib vanaf de bodem opwoelt met behulp van water- en luchtinjectie, waarna het opgewervelde sediment in suspensie raakt en wordt meegevoerd door de (getijde)stroming, ook wel agitatie-techniek genoemd. De Airset brengt het sediment op de bodem in suspensie, waarna het door de waterkolom omhoog wordt gebracht door de luchtbellen. De Airset baggert vrijwel uitsluitend in de haven en op de rand van de vaargeul. Door de Airset te verplaatsen binnen de haven wordt het sediment steeds een stukje verder verplaatst totdat het bij de havenmonding uiteindelijk wordt meegevoerd door de getijdestroom.

Sleephopperzuiger

De sleephopperzuiger is een vaartuig dat fungeert als een grote sedimentstofzuiger. Met een krachtige pomp wordt water en sediment van de bodem door een pijp gezogen en naar de beun gepompt. Hierna stroomt het overtollige water overboord (overvloei) en blijft het sediment achter in het schip. De hoeveelheid slib en de wijze waarop het slib in de waterkolom in suspensie wordt gebracht is te relateren aan de werkwijze van een sleephopperzuiger. Figuur 3-2 toont drie oorzaken van het in suspensie komen van slib tijdens baggerwerkzaamheden met een sleephopperzuiger.

1. Opwoelen van materiaal door de sleepkop;
2. Terugbrengen van zeer fijn sediment via de overvloei-installatie;
3. Opwoelen (van al dan niet) gedeponeerde materiaal door de scheepsschroef en de hydrodynamica



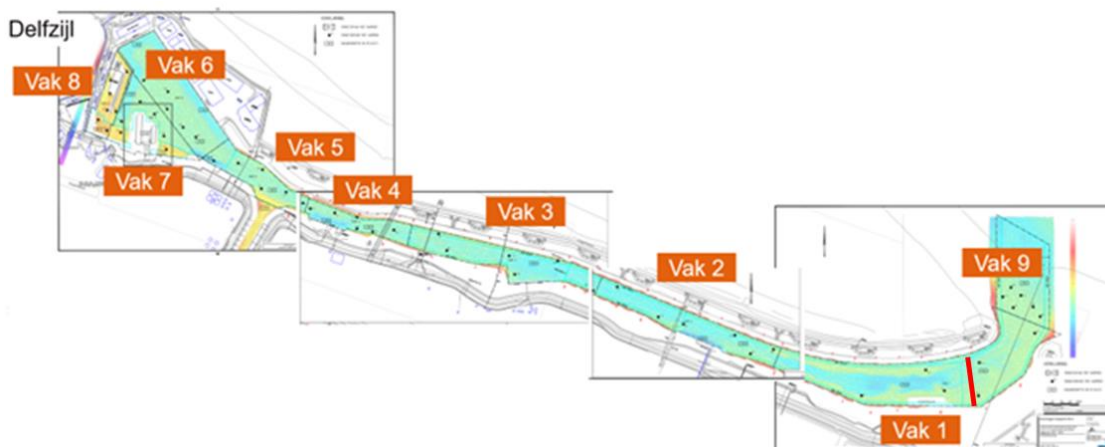
Figuur 3-2: Verschillende oorzaken van het in suspensie komen van slib tijdens baggerwerkzaamheden met een sleepkopzuiger (Becker, 2014).

Bij het verspreiden van baggerspecie valt het sediment als een jetstroom naar beneden (niet weergegeven in Figuur 3-2). Bij het bereiken van de bodem wordt de valenergie omgezet in turbulentie en het zijdelings verspreiden van het sediment langs de bodem. Deze zal zich vervolgens als een dichtheidsstroom langs de bodem bewegen en een laagdikte hebben van enkele decimeters (Kessel, 2010). Afhankelijk van de hoeveelheid zand zal deze dichtheidsstroom geleidelijk dunner worden. Door de dichtheidsstroom zal het materiaal over een aanzienlijke afstand (enkele honderden meters) over de bodem verspreid worden. Een relatief klein percentage komt, door de turbulentie bij het verspreiden, in suspensie boven de dichtheidsstroom. Daarnaast heeft ook de scheepsschroef effect op de grootte en richting van de turbulente sedimentstroom bij het verspreiden.

3.4 Baggerlocaties, verspreidingslocaties en het moment van verspreiden

Baggerlocaties

Voor de baggerwerkzaamheden van de afgelopen jaren, maar ook voor de te vergunnen baggerwerkzaamheden, kent het gebied een aantal bagger- en verspreidingslocaties. Figuur 3-3 geeft de baggervakken in de haven van Delfzijl weer. In vakken 2 t/m 8 en het westelijk deel van vak 1 (vak 1B) wordt gebaggerd door de sleephopperzuiger. In het oostelijk deel van vak 1 (vak 1A) en het zuidelijk deel van vak 9 en vaargeul Paapsand Süd wordt gebaggerd door de Airset.



Figuur 3-3: Onderverdeling van baggervakken in de haven van Delfzijl. Vak 1 bestaat uit een linkerdeel (vak 1B) en een rechterdeel (vak 1A). De scheidelingslijn ligt bij de rode lijn.

Verspreidingslocaties

De baggerspecie uit vakken 1 t/m 8 wordt verspreid op een tweetal locaties. De sleephopperzuiger verspreidt het overgrote deel van het baggermateriaal naar vak 1a (het oostelijk deel van vak 1 in Figuur 3-3), waarna dit met de Airset weggewerkt wordt naar vak 9 (Paapsand Süd; rood in Figuur 3-4). Na verspreiding in vak 9 gaat het slib mee met de getijdestroom. In vak 9 wordt dus zowel het baggermateriaal van de haven van Delfzijl als het materiaal van Paapsand Süd in suspensie gebracht zodat het vervolgens meegenomen wordt met de getijdestroom. Gedurende een deel van het jaar verspreidt de sleephopperzuiger ook baggermateriaal naar verspreidingslocatie Dollard (lichtblauw in Figuur 3-4).



Figuur 3-4: Verspreidingslocaties Paapsand Süd (rood) en Dollard (lichtblauw).

Het moment van verspreiden: getij

Op locatie Dollard wordt het baggermateriaal van de sleepopper vanaf 1 uur voor laagwater tot ongeveer 1 uur voor hoogwater verspreid (voornamelijk vloed). Dit om hercirculatie richting de haven van Delfzijl te minimaliseren. Vanwege ditzelfde proces wordt de Airset ingezet met afgaand tij, dus gedurende eb tussen hoogwater en laagwater.

Het moment van verspreiden: seizoenen

Volgens de huidige Wnb-vergunning mag jaarrond de Airset gebruikt worden. Dit geldt niet voor de verspreiding met de sleepopper bij de Dollard. Dit mag volgens de huidige vergunning alleen plaatsvinden binnen de maanden oktober t/m februari (tenzij nautische problemen ontstaan). Van maart t/m september wordt de sleepopperzuiger gebruikt om binnen te haven te baggeren, waarna het verspreid wordt in vak 9. In paragraaf 3.5 zijn de baggerwerkzaamheden van de afgelopen jaren en de bijbehorende maandelijkse variatie verder toegelicht.

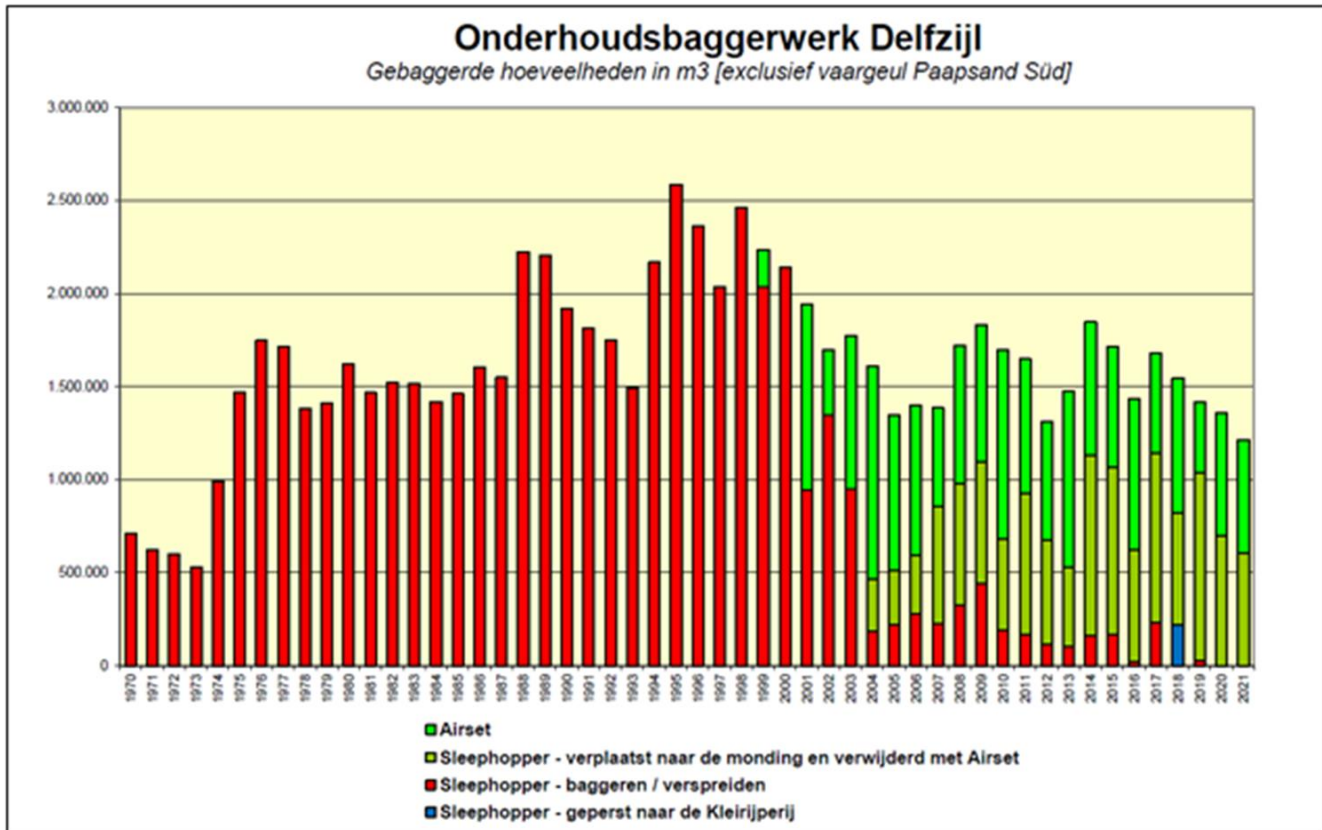
Het moment van verspreiden: werkdagen

De sleepopperzuiger wordt met name in dag- en nachtdienst van maandagmorgen t/m donderdagavond ingezet. Soms werkt de sleepopper ook uitsluitend in dagdienst, maar dan betreft het zeer lange dagen (06:00-20:00). Ook wordt soms gedurende de weekenden gebaggerd met de sleepopperzuiger.

De Airset wordt ongeveer acht getijdeperiodes per week ingezet van 6 – 6,5 uur. Omdat de tijdstippen van hoog- en laagwater elke week weer anders zijn, zijn de aanvang- en eindtijden van de baggersessies ook elke keer anders. Zo kan het voorkomen dat de Airset de ene week maandagmorgen heel vroeg begint, een andere week maandagmiddag. Hetzelfde geldt voor de eindtijden van de Airset.

3.5 Baggerwerkzaamheden van de afgelopen jaren

Baggerwerkzaamheden vertonen een grote spreiding over de verschillende jaren. Vanaf de beginjaren van dit millennium wordt er gebruik gemaakt van de Airset voor een gedeelte van het onderhoudswerk van de haven van Delfzijl en is er een grote afname te zien in het gebruik van de sleepopper. De verzette baggervolumes per jaar zijn weergegeven in *Figuur 3-5*. In dit figuur staan zowel de verzette volumes met de sleepopper (ook binnen de haven zelf), de verzette volumes met de Airset, en de verzette volumes met de sleepopper naar verspreidingslocatie Dollard. De verzette volumes voor het onderhoudswerk van vaargeul Paapsand Süd zijn niet weergegeven in het figuur. *Figuur 3-5* laat zien dat de hoeveelheid onderhoudswerkzaamheden de laatste jaren (vanaf 2017) zijn afgenomen. Ook wordt er sinds 2018 (vrijwel) niet meer gestort op de locatie Dollard. In 2009 is er nog wel 441.000 m³ verspreid naar de Dollard. Recentelijk is er alleen in 2017 nog 231.000 m³ verspreid naar de Dollard.



Figuur 3-5: Onderhoudswerkzaamheden Delfzijl (bron: Groningen Sea Ports)

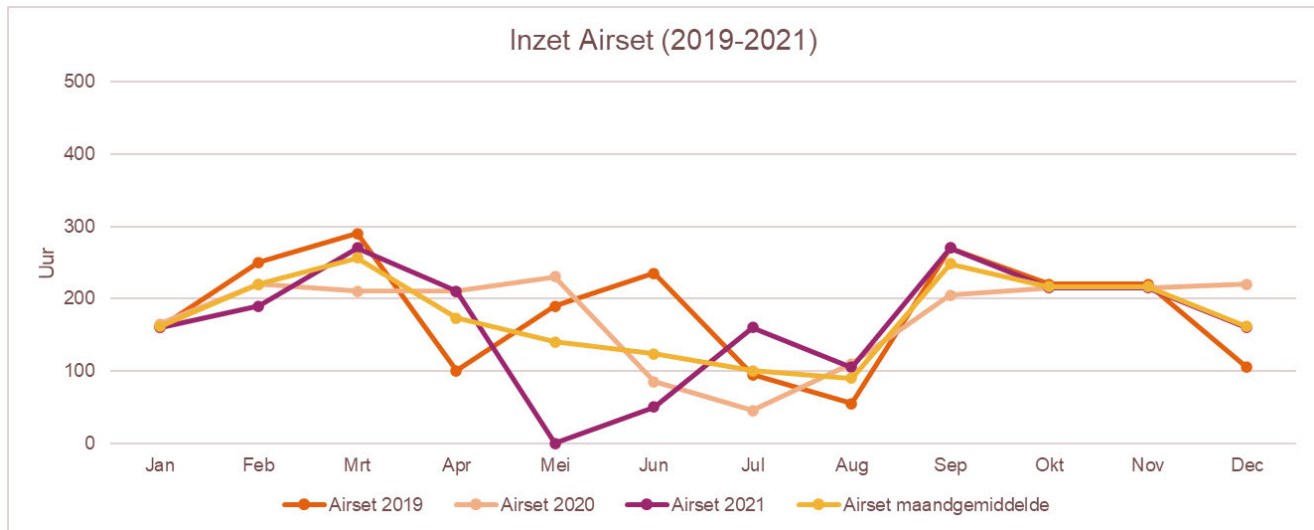
Ook binnen de jaren is er veel variatie te zien in de baggerwerkzaamheden. Figuur 3-6 en Figuur 3-7 laten de recente inzet van de Airset en de sleephopper op maandbasis zien van 2019 t/m 2021.

Maandvariatie Airset in de afgelopen jaren

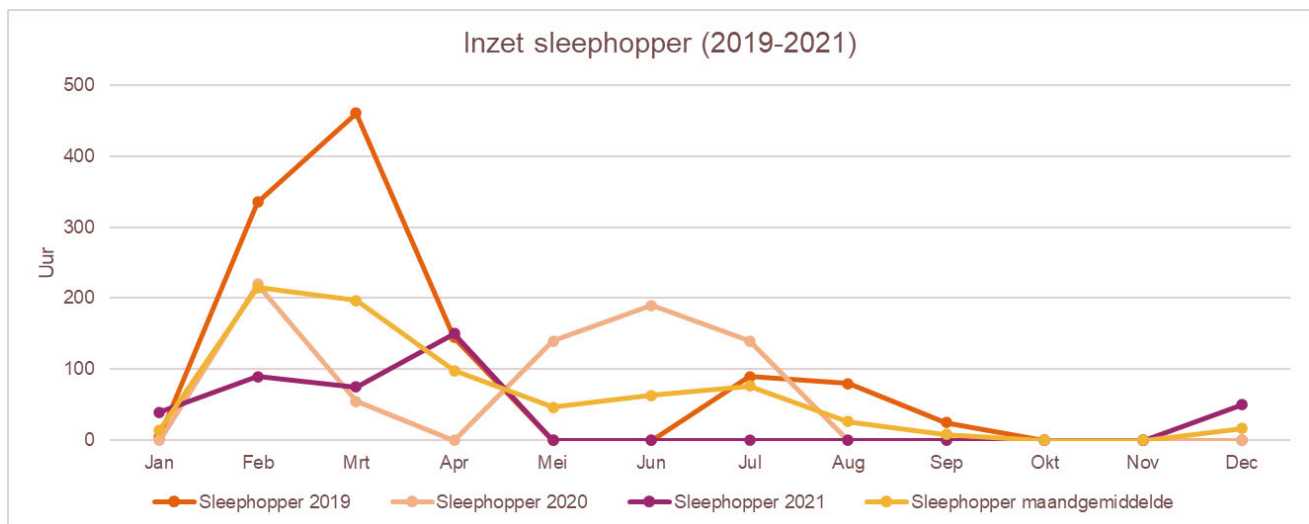
In Figuur 3-6 is te zien dat de Airset vrijwel het gehele jaar door wordt ingezet, met een daling in de zomerperiode en een hogere inzet in de maanden februari, maart en september. Gemiddeld wordt de Airset vier dagen per week gedurende 40 weken per jaar ingezet. Per ingezette dag worden er twee sessies van 6 tot 6,5 uur gedraaid. De inzet op maandbasis bleef de laatste maanden altijd onder de 300 uur. Uitgaande van een gemiddelde sessieduur van 6 tot 6,5 uur wordt de Airset maximaal 45 – 50 sessies per maand ingezet.

Maandvariatie sleephopper in de afgelopen jaren

De sleephopper vertoont een grotere variatie over de maanden dan de Airset (Figuur 3-7). In de afgelopen jaren werd de sleephopper amper ingezet in de periode september t/m januari. Van februari t/m april is over het algemeen een grotere inzet te zien. De uren in Figuur 3-7 bevatten zowel de baggerwerkzaamheden binnen de haven als de baggerspreiding bij locatie Dollard. Doorgaans wordt alleen van februari t/m oktober gebaggerd en verspreid in de haven. Alleen van oktober t/m februari mag worden verspreid bij de Dollard.



Figuur 3-6: Inzet Airset in de periode 2019 - 2021 op maandbasis.



Figuur 3-7: Inzet sleephopper in de periode 2019 - 2021 op maandbasis.

3.6 Eerder vergunde baggerwerkzaamheden en de mogelijke mitigerende maatregelen

De baggervolumes, oorspronkelijk vergund in 1993 en de meeste recente (tijdelijke) vergunning tot mei 2023 zijn weergegeven in Tabel 3-1, waarbij de meeste linkse kolom de verspreidingsmethode weergeeft. De overige kolommen geven de eerder vergunde, de daadwerkelijk verzette baggervolumes in de periode 2019-2021, en aangevraagde baggervolumes voor de nieuwe vergunning. Zichtbaar is dat het totale baggervolume van de vergunning tot mei 2023 bijna 1.000.000 m³ groter is dan het te vergunnen baggervolume voor aangevraagde Wnb-vergunning. Ook ten opzichte van de oorspronkelijk vergunde volumes is het nieuw te vergunnen volume circa 70%.

Mitigerende maatregelen voor de nieuwe Wnb-vergunning

Bij de vergunning die tot mei 2023 gold, mocht de Airset jaarrond werken en mocht de sleephopperzuiger alleen ingezet worden in de periode oktober t/m februari (tenzij er nautische problemen ontstaan). In de aanvraag voor de nieuwe Wnb-vergunning mag de Airset alleen ingezet worden in de periode oktober t/m april (tenzij er nautische problemen ontstaan). Voor de sleephopperzuiger gelden dezelfde inzetrestricties als in de vergunning die tot mei 2023 gold. Daarnaast mag volgens de aanvraag voor de nieuwe Wnb-vergunning fors minder gebaggerd worden dan met de eerder geldende vergunning. Dit geldt zowel voor de Airset als voor de sleephopperzuiger.

Tabel 3-1: Verzet (2019-2021) en eerder vergunde baggervolumes voor de Haven Delfzijl en vaargeul Paapsand Süd en de te vergunnen baggervolumes voor de nieuwe Wnb-vergunning.

Baggervolume				
Verspreiden Bagger	Oorspronkelijk vergunning (1993) (m³)	Eerdere tijdelijke vergunning (tot mei 2023) (m³)	Situatie 2019-2021 (m³)	Aanvraag nieuwe Wnb-vergunning (m³)
Haven Delfzijl				
Airset	Nvt	1.600.000	1.350.817	1.100.000
Sleephopper	1.800.000	400.000	8.197	50.000
Paapsand Süd				
Airset	Nvt	200.000	197.517	135.000
Sleephopper	Nvt	60.000	0	0
Totaal	1.800.000	2.260.000	1.556.531	1.285.000

3.7 Scenario's

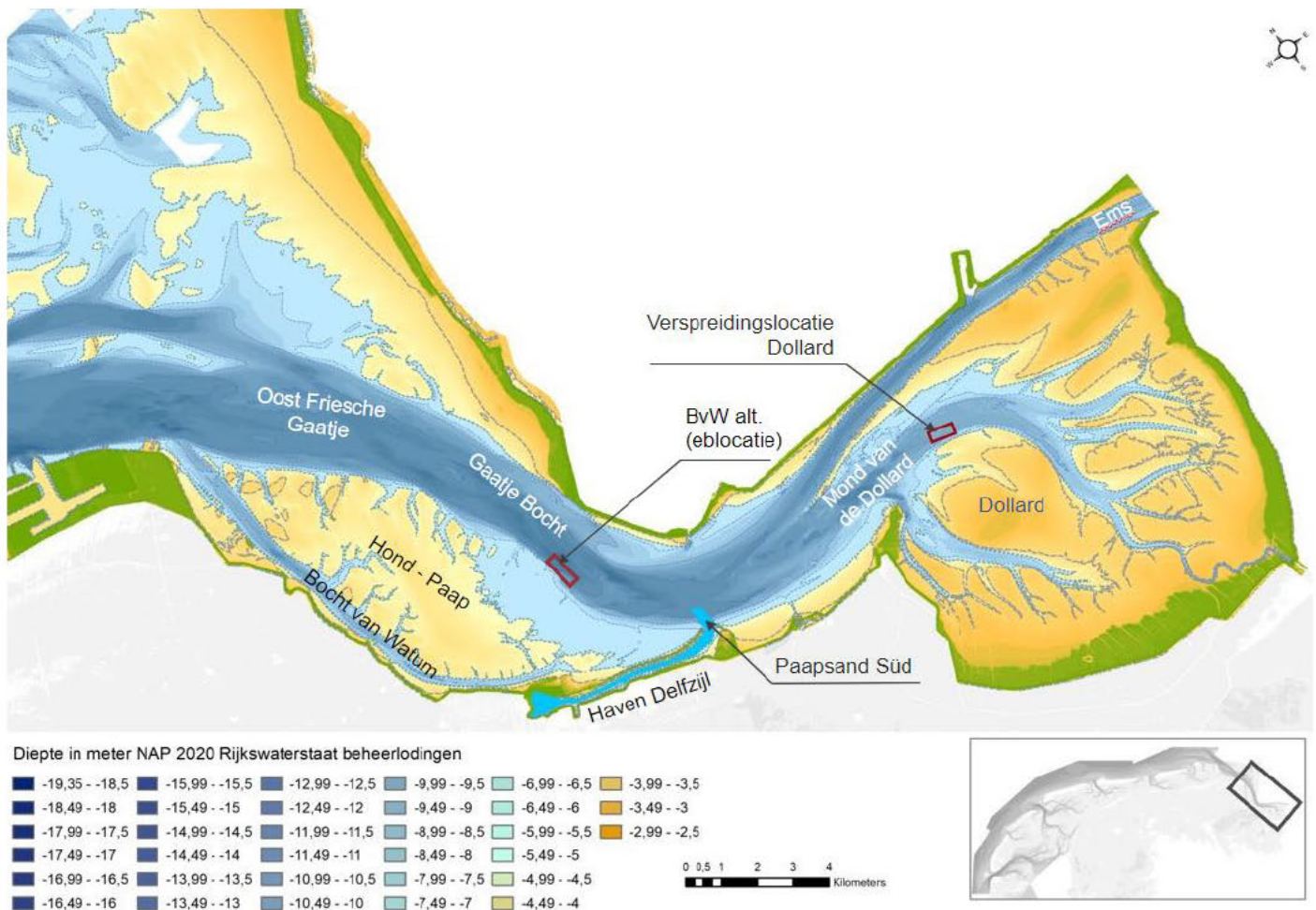
3.7.1 Totstandkoming scenario's

In deze studie zijn drie scenario's doorgerekend, het vierde scenario komt tot stand door de cumulatie van scenario's 2 en 3:

1. Een simulatie van de baggerwerkzaamheden zoals vergund in 1993 (WVO-vergunning 1993) (theoretische volumes).
2. Simulaties van de baggerwerkzaamheden Delfzijl haven;
 - a. Een simulatie van de huidige baggerwerkzaamheden, gebaseerd op de afgelopen jaren 2019-2021 (praktijk volumes).
 - b. Een simulatie van de baggerwerkzaamheden waarvoor een nieuwe Wnb-vergunning wordt aangevraagd, inclusief mitigerende maatregelen (theoretische volumes).
3. Simulaties van de baggerwerkzaamheden Paapsand Süd;
 - a. Een simulatie van de huidige baggerwerkzaamheden, gebaseerd op de afgelopen jaren 2019-2021 (praktijk volumes), uitgevoerd met de Airset.
 - b. Een simulatie van de huidige baggerwerkzaamheden, met in acht neming van de mitigerende maatregelen Delfzijl haven (theoretische volumes), uitgevoerd met de Airset.
 - c. Een simulatie van de huidige baggerwerkzaamheden, met in acht neming van de mitigerende maatregelen Delfzijl haven (theoretische volumes), uitgevoerd met de sleephopper.
4. Cumulaties van scenario's 2 en 3, te weten;
 - a. De cumulatie van 2b en 3b, en
 - b. De cumulatie van 2b en 3c.

Scenario 1 is de referentie situatie zoals vergund in 1993. Dit scenario beschrijft het toen vergunde baggervolume van gemiddeld 1.800.000 m³ in situ die vervolgens in het huidige systeem (huidige bathymetrie) worden verspreid. Volgens de vergunning mocht op twee locaties baggermateriaal verspreid worden: in de Bocht van Watum en in de Dollard. In de Bocht van Watum vond (en vindt nog steeds) sedimentatie plaats waardoor deze verspreidingslocatie op een gegeven ogenblik niet meer bruikbaar was. Doordat het verspreidingsvak in de Bocht van Watum in de praktijk niet meer bestaat, is er in samenspraak met Rijkswaterstaat¹ een representatief en logisch alternatief geselecteerd (voorts aangeduid als Bocht van Watum alt.), weergegeven in Figuur 3-8. Dit selectieproces is beschreven in Bijlage A van de PB.

¹ Op basis van het overleg en het mail contact met RWS NN d.d. 12-12-2023.



Figuur 3-8 Indicatie verspreidingslocatie Bocht van Watum alt., gelegen op de westelijke geulwand van Gaatje Bocht.

3.7.2 Baggervolumes scenario's

Scenario 1 is de referentiesituatie. Dit scenario wordt in de resultaten vergeleken met scenario 2a: ten opzichte van het huidige gemiddelde baggerbezwaar. Ook wordt de referentiesituatie vergeleken met scenario 2b: ten opzichte van het baggerbezwaar binnen de beoogde nieuwe Wnb-vergunning. Ook dient het effect van de baggerwerkzaamheden ter hoogte van Paapsand Süd gekwantificeerd te worden om de cumulatieve effecten in kaart te kunnen brengen. Dit valt onder scenario 3.

De volumes bijbehorend bij de bovenstaande scenario's zijn weergegeven in Tabel 3-2 tot en met Tabel 3-4. Hierin is ook onderscheid gemaakt tussen gebaggerd materiaal met de Airset en met de sleephopperzuiger.

Tabel 3-2 Verzette volumes per bagger- en verspreidingsmethode per locatie voor scenario 1.

Situatie/scenario	Baggerlocatie	Verspreidings-locatie	Materieel	Volume (per/jaar)	Verdeling over jaar
Referentiesituatie 1993	Delfzijl haven	Bocht van Watum	Sleephopperzuiger	900.000 m ³ in situ	Jaarrond (minus bouw vak en Kerst)
		Dollard	Sleephopperzuiger	900.000 m ³ in situ	Jaarrond (minus bouw vak en Kerst)
1. Modelstudie 1993	Delfzijl haven	Bocht van Watum alt.	Sleephopperzuiger	900.000 m ³ in situ	Jaarrond (minus bouw vak en Kerst)
		Dollard	Sleephopperzuiger	900.000 m ³ in situ	Jaarrond (minus bouw vak en Kerst)

Tabel 3-3 Verzette volumes per bagger- en verspreidingsmethode per locatie voor scenario 2.

Situatie/scenario	Baggerlocatie	Verspreidings-locatie	Materieel	Volume (per/jaar)	Verdeling over jaar
Gemiddeld 2019-2021	Delfzijl haven	Havenmond	Airset	1.350.817 m ³ in situ	Jaarrond (minus bouw vak en Kerst)
		Dollard	Sleephopper-zuiger	8.197 m ³ in situ	Jaarrond (minus bouw vak en Kerst)
2a. Modelstudie Delfzijl haven	Delfzijl haven	Havenmond	Airset	1.360.000 m ³ in situ	Jaarrond (minus bouw vak en Kerst)
		Dollard	Sleephopper-zuiger	0 m ³ in situ	Jaarrond (minus bouw vak en Kerst)
2b. Modelstudie Delfzijl haven + mitigatie	Delfzijl haven	Havenmond	Airset	1.100.000 m ³ in situ	Niet in primaire productie seizoen en Kerst
		Dollard	Sleephopper-zuiger	50.000 m ³ in situ	Niet in primaire productie seizoen en Kerst

Tabel 3-4 Verzette volumes per bagger- en verspreidingsmethode per locatie voor scenario 3.

Situatie/scenario	Baggerlocatie	Verspreidings-locatie	Materieel	Volume (per/jaar)	Verdeling over jaar
Gemiddeld 2019-2021	Paapsand Süd	Havenmond	Airset	197.517 m ³ in situ	Jaarrond (minus bouw vak en Kerst)
3a. Modelstudie Paapsand Süd	Paapsand Süd	Havenmond	Airset	198.000 m ³ in situ	Jaarrond (minus bouw vak en Kerst)
3b. Modelstudie Paapsand Süd + mitigatie	Paapsand Süd	Havenmond	Airset	135.000 m ³ in situ	Niet in primaire productie seizoen en Kerst
3c. Modelstudie Paapsand Süd + mitigatie	Paapsand Süd	Dollard	Sleephopper-zuiger	135.000 m ³ in situ	Niet in primaire productie seizoen en Kerst

4 Slibmodel en schematisering scenario's

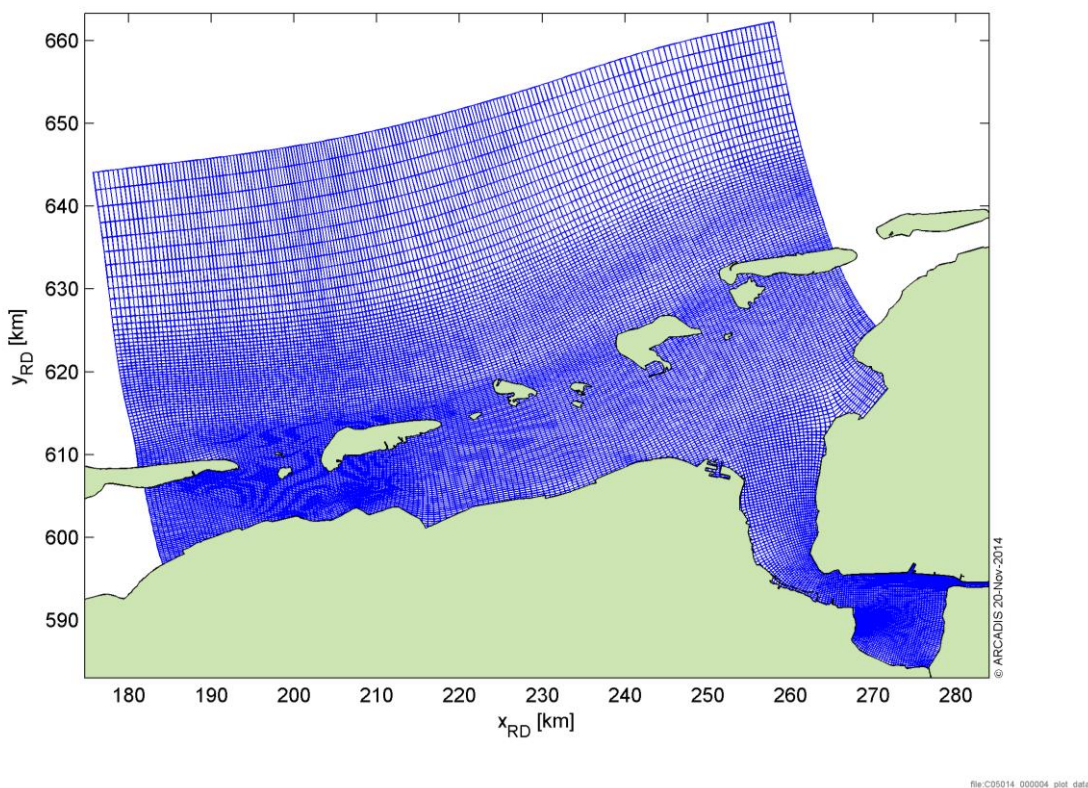
Om de vertroebeling en sedimentatie die optreedt tijdens en na de baggerwerkzaamheden te modelleren, is gebruik gemaakt van het numerieke rekenmodel Delft3D. Dit model is in staat de interactie tussen onder andere waterstroming en het slib te modelleren in 3D. In dit hoofdstuk is het model kort toegelicht, alsook de geschematiseerde scenario's en de vertaling van de scenario's in het model.

4.1 Delft3D modelopzet

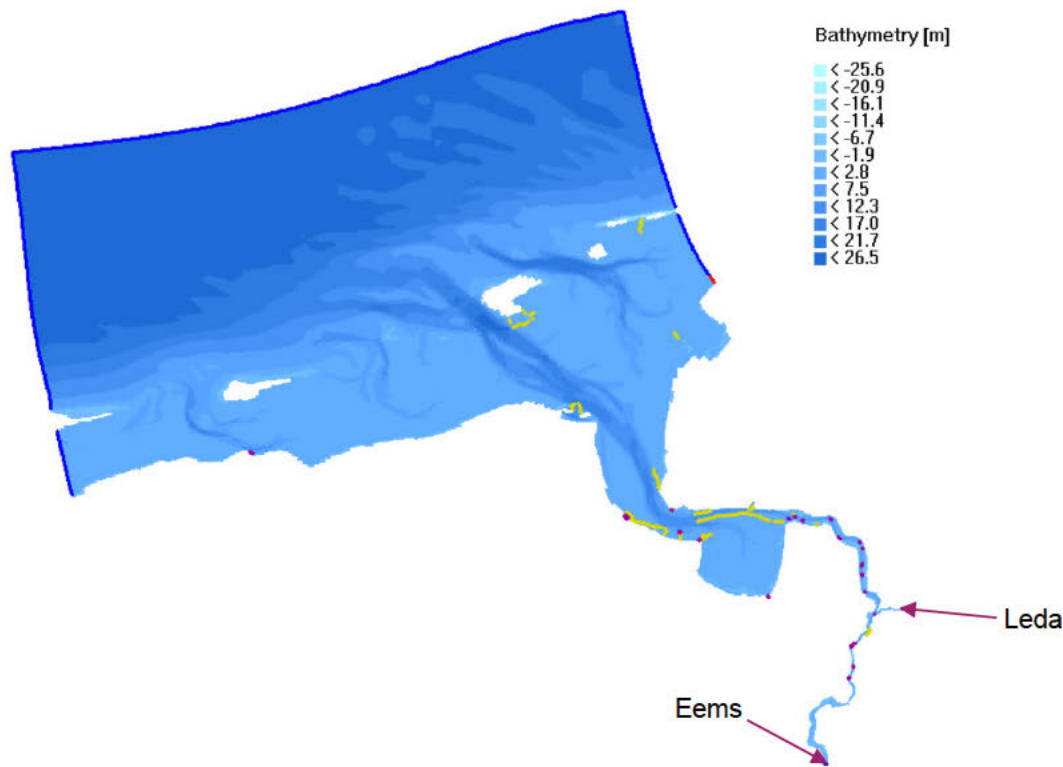
Voor het modelleren van de slibverspreiding is een Delft3D model gebruikt welke de volledige Eems-Dollard dekt en een stuk van de Wadden- en Noordzee. De gebruikte bathymetrie in het model komt uit 2012, maar gezien de beperkte grootschalige morfologische ontwikkelingen na de sluiting van de Bocht van Watum rond 2000, is deze bathymetrie toepasbaar voor de scenario's zoals opgenomen in paragraaf 3.7. Niet alle modules zijn gebruikt van het oorspronkelijke model in deze studie: golven en windeffecten zijn niet meegenomen. Getij en de resulterende stromingen wel. Ook zijn 24 lateralen/rivieren in het model opgenomen, waaronder de Eems en de Leda.

4.1.1 Rekenrooster en modelbathymetrie

Het rooster van het model bestaat uit 188 x 320 cellen in het horizontale vlak en 8 sigma lagen in het verticale vlak. De cellen in het interessegebied zijn ongeveer 200 x 400 m groot. Figuur 4-1 en Figuur 4-2 tonen respectievelijk het rekenrooster en de bathymetrie van het Eems-Dollard model. In Figuur 4-2 zijn ook de locaties van de inkomende lateralen zichtbaar en de modelrand waar het getijdesignaal is opgelegd.



Figuur 4-1 Het rekenrooster van het Eems-Dollard model.



Figuur 4-2 De bathymetrie van het Eems-Dollard Estuarium model. De blauwe randen zijn de modelranden waar het getij is opgelegd, de paarse punten zijn de locaties van de lateralen. De Eems en de Leda zijn de grootste lateralen.

4.1.2 Randvoorwaarden

Het getij

De getijrandvoorwaarden zijn gegenereerd met het Kustfijn model voor het gehele jaar 2012. Deze zijn vervolgens in het Eems-Dollard Estuarium model opgelegd op de randen zoals aangegeven in Figuur 4-2.

De lateralen

Alle modellateralen zijn variërend in de tijd en gebaseerd op metingen van 2012. De locaties van alle lateralen zijn inzichtelijk gemaakt in Figuur 4-2. In Tabel 4-1 staat een overzicht van de lateralen in het model en de gemiddelde debieten.

Tabel 4-1 Alle lateralen in het model met het bijbehorende gemiddelde debiet.

Lateraal/locatie	Gemiddelde debiet [m3/s]
Eems	65,4
Lauwersmeer	42,0
Leda	21,1
Oude Zeesluis	20,2
Gemaal Nw-Statenzijl	10,4
Siel Knock	4,3
Gemaal Rozema	2,4
Gemaal Duurswold	2,2
Siel Sautel	2,0
Siel Oldersum	1,7
Jemgumer Siel	0,6
Soltborger Siel	0,5
Pogumer Siel	0,5
Petkumer Siel	0,4
Coldeborger Siel	0,4
Terborger Siel	0,4

Siel Dizum	0,4
Nuttermoorer Siel	0,4
Gemaal Fiemel	0,3
Coldemuntje	0,3
Marker Siel	0,3
Muhder Siel	0,2
Siel Buschfeld	0,2
Stapelmoorer Siel	0,2

4.2 Schematiseren verspreiding baggermateriaal

De verspreiding van het slib dat in de waterkolom komt bij het baggerproces is door middel van een transportformule in beeld gebracht. In deze paragraaf is inzichtelijk gemaakt hoe de verspreiding van het baggermateriaal is opgelegd in het model.

4.2.1 Brontermen: van data naar modelinvoer

Voor alle scenario's is voor de Airset en de sleepopper het volgende nodig om tot modelinvoer te komen:

- Per maand het baggervolume van de haven Delfzijl
- Per maand het baggervolume van Paapsand Süd.
- Per maand de actieve uren

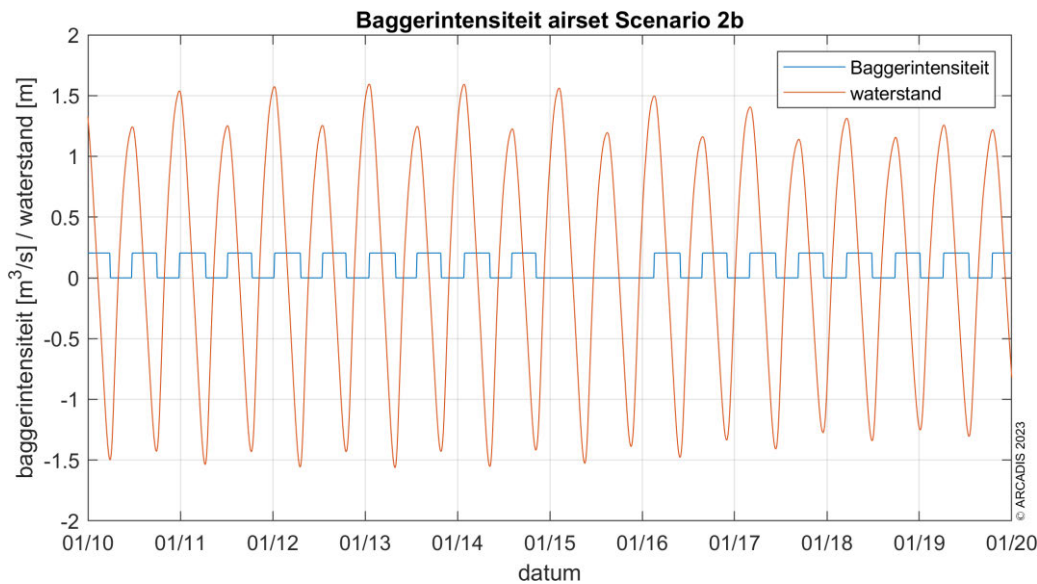
De actieve uren zijn nodig om tot een baggerintensiteit te komen. De baggerintensiteit van de Airset ligt rond de 735 m³/s en de baggerintensiteit van de sleepopper is ~433 m³/s.

In de tabellen in Bijlage A bij dit rapport, is een overzicht gegeven van de actieve uren en de baggervolumes per scenario. Er is aangegeven hoe tot de getallen is gekomen en welke specifieke aannames zijn gedaan. Hieronder is toegelicht hoe de verschillende werkzaamheden omgezet is naar modelinvoer.

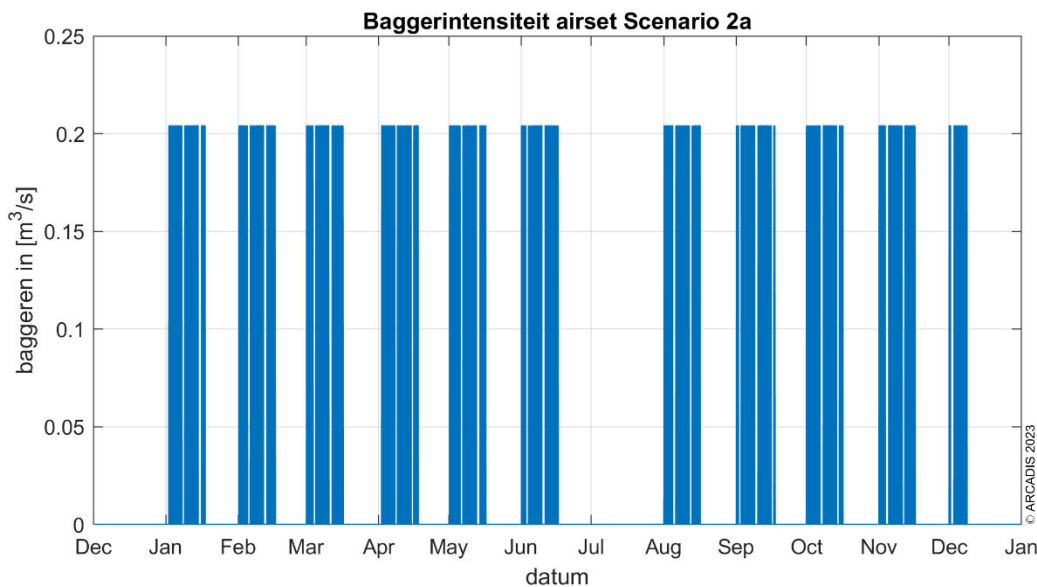
Schematisering van de Airset werkzaamheden

De volgende aannames zijn gedaan om de werkzaamheden van de Airset zo goed mogelijk te schematiseren in het model:

- De werkdagen zijn van maandag t/m zaterdag. Dit is zichtbaar in Figuur 4-3 waarin op 15 januari (zondag) even niet wordt gebaggerd.
- De verspreiding van het baggermateriaal vindt alleen plaats bij eb (de tijd tussen hoogwater en laagwater). Dit is ook zichtbaar in Figuur 4-3.
- De werkzaamheden starten aan het begin van de maand. Als ergens binnen die maand al het baggermateriaal is verspreid wat voor die maand is voorzien, dan stoppen de werkzaamheden tot en met het einde van die maand. Wanneer het nodig is om te baggeren wordt er vaak zo snel mogelijk gebaggerd tot het gewenste resultaat bereikt is. Dit is op deze manier meegenomen en is in Figuur 4-4 zichtbaar voor scenario 2a.
- Het baggermateriaal wordt dieptegemiddeld ingebracht in het model. Hoewel de Airset werkzaamheden alleen plaatsvinden aan de bodem, wordt het slib omhooggeduwd door de luchtbellen die vrijkomen (zie ook paragraaf 3.3). Aangezien geen literatuur beschikbaar is waarin staat tot waar het slib komt in de waterkolom, is voor deze studie gekozen voor deze conservatieve aanpak: het slib wordt dieptegemiddeld verspreid in het model. De gevoeligheid tussen het materiaal dieptegemiddeld inbrengen en aan de bodem is wel met een modelsom onderzocht. Hieruit bleek dat de gevoeligheid klein is.
- Het baggermateriaal voor de Airset is in het model verspreid over drie rekencellen die binnen baggervak 9 vallen.



Figuur 4-3 De baggerintensiteit van de Airset voor Scenario 2b met de waterstand



Figuur 4-4 De baggerintensiteit van de Airset voor Scenario 2a.

Schematisering van de sleepopper werkzaamheden

De volgende aannames zijn gedaan om de werkzaamheden van de sleepopper zo goed mogelijk te schematiseren in het model:

- De werkdagen zijn van maandag t/m zaterdag.
- De verspreiding van het baggermateriaal vindt alleen plaats vanaf één uur voor laagwater tot één uur voor hoogwater (voornamelijk gedurende vloed).
- De werkzaamheden starten aan het begin van de maand. Als ergens binnen die maand al het baggermateriaal is verspreid wat voor die maand is voorzien, dan stoppen de werkzaamheden tot en met het einde van die maand. Wanneer het nodig is om te baggeren wordt er vaak zo snel mogelijk gebaggerd tot het gewenste resultaat bereikt is. Dit is op deze manier meegenomen.
- Het baggermateriaal wordt dieptegemiddeld ingebracht in het model.
- Het baggermateriaal voor de sleepopperzuiger is in het model verspreid over vier rekencellen die binnen de baggerverspreidingslocatie 'Dollard' vallen.

- Specifiek voor Scenario 1 wordt gebruikt gemaakt van de baggerverspreidingslocatie Bocht van Watum alt. (zie ook paragraaf 3.7.1 en Bijlage A bij de PB). Hier wordt het baggermateriaal in het model verspreid over de drie rekencellen die binnen dit alternatieve verspreidingsvak vallen.

4.2.2 Sedimenteigenschappen in het model

Het gedrag van het slib (cohesief materiaal) wordt berekend met de Partheniades-Krone formule, (Partheniades, 1965) in (Deltares, 2016). Deze formule bepaalt, met gestelde kritische bodemschuifspanningen, het erosie/sedimentatie gedrag van het slib. Dit houdt in dat als de bodemschuifspanning boven een, voor sedimentatie gestelde, kritische waarde uitkomt, er geen sedimentatie zal plaatsvinden. Onder die gestelde waarde vindt er sedimentatie plaats volgens de Partheniades-Krone formule. Volgens eenzelfde wijze geldt ook; als de bodemschuifspanning kleiner is dan een, voor erosie gestelde, kritische waarde, vindt er geen erosie plaats. Is de lokale bodemschuifspanning groter dan de kritische waarde, dan wordt de hoeveelheid erosie berekend met de Partheniades-Krone formule.

De sedimenteigenschappen van het slib voor in het Eemsmodel zijn weergegeven in Tabel 4-2. Er is gewerkt met twee (cohesieve) sedimentfracties. De grofste slibfractie is representatief voor de fractie met een korreldiameter kleiner dan 63 µm en groter dan 32 µm, en de fijnste slibfractie representeert de fractie met een korreldiameter kleiner dan 32 µm. Zand is dus niet meegenomen in het model.

Wat betreft de gekozen representatieve modelparameters voor de fracties zijn hoofdzakelijk de gangbare waarden aangehouden. Voor deze studie levert dat een licht conservatieve representatie van de werkelijkheid wat betreft de gesimuleerde slibconcentratieverhoging:

- Op basis van de Navier Stokes formule voor cohesief materiaal (vereenvoudigd door van Rijn (WL | Delft Hydraulics, 2006), is een valsnelheid van 0,15 mm/s representatief voor een fractie van ca. 20 µm en een valsnelheid van 1,5 mm/s voor een fractie van ca. 45 µm aangenomen.
- Een kritische bodemschuifspanning voor erosie van 0,25 N/m² en 0,5 N/m² is aangenomen voor de twee slibfracties. Deze relatief lage waarde resulteert in een relatief hoge mate van resuspensie van slib met relatief hogere slibconcentraties in de waterkolom en een langzamere uitdemping van concentratieverhogingen tot gevolg.

Grondsamples van het bodem materiaal tonen aan dat het te baggeren materiaal gemiddeld bestaat uit 70% fijn slib, 20% slib en 10% (fijn) zand. De totale slibfractie van 90 % is gebruikt voor de bepaling van het soortelijk gewicht van de droge stof langs het traject, de zogenaamde droge dichtheid (kg/m³). Dit is berekend met de volgende formule (Van Rijn, 1990):

$$\text{Droge dichtheid} = 350 + 1250 * (\text{zandfractie})^2$$

Waarbij de zandfractie ongeveer gelijk is aan 1 minus de slibfractie. Uit de formule volgt een droge dichtheid van de baggerspecie van ca. 360 kg/m³.

Tabel 4-2 Modelinstellingen van het sediment.

Sediment fractie	Percentage van het baggermateriaal	D ₅₀ [µm]	Valsnelheid [mm/s]	Kritische erosie schuifspanning [N/m ²]
Fijn slib (cohesief)	70 %	<32	0.15	0.25
Slib (cohesief)	20 %	32 - 63	1.50	0.50

4.2.3 Modelvisie verspreiden baggermateriaal

Elk scenario is twee jaar doorgerekend. De bronterm van een jaar is dus tweemaal achterelkaar opgelegd. De reden hiervoor is dat wordt toegewerkt naar een evenwicht. Het model is in het begin een “betonnen bak”, oftewel een vaste bodem, waarin slibverspreiding plaatsvindt. Dit resulteert in een ophoping van sediment op de platen en in de geulen tot een evenwicht ten gevolge van de gesimuleerde werkzaamheden is bereikt. Dit geldt ook voor de slibconcentratie. Deze neemt toe totdat een evenwicht is bereikt. Aangezien het opbouwen van dit evenwicht ongeveer een half jaar tot een jaar duurt (afhankelijk van de locatie), is het van belang om de scenario's twee jaar door te rekenen. Het laatste jaar, het ingespeelde jaar, wordt beschouwd in de resultatenanalyse (Hoofdstuk 5).

4.3 Modelonzekerheden

In de studie van Arcadis (2020) zijn de modelonzekerheden onderzocht van een slibverspreidingsstudie in de Waddenzee gelegen bij de afsluitdijk. Aangezien de aanpak van Arcadis (2020) bijna gelijk is aan deze studie, en het ook een soortgelijk gebied betreft, zijn deze modelonzekerheden ook van belang voor deze studie. Onderstaand staan de uitkomsten samengevat en is de link met deze studie gelegd. Tenslotte is de modelonzekerheid als gevolg van de achtergrondconcentratie toegelicht.

Windgedreven stroming

Windgedreven stroming resulteert in een verdere verspreiding van het slib. De windrichting bepaald naar welke kant het slib verder verspreid wordt. Wanneer de wind vanuit het zuidoosten komt verspreidt het slib zich richting de Waddenzee, uit het estuarium. Wanneer de wind vanuit het noordwesten komt (het meest voorkomend in de herfst en winter), kan het slib meer in de Eems-Dollard blijven hangen. In het huidige model is geen wind meegenomen omdat wind een relatief klein effect heeft op de verspreiding ten opzichte van de getijdestroming.

Golven

Golven spelen een belangrijke rol in het verspreiden en herwerken van het slib boven de ondiepe platen van de Waddenzee. Hierdoor neemt de slibconcentratie en sedimentatie toe boven deze platen. Golven zijn in deze studie echter niet meegenomen, waardoor resuspensie door golven en verspreiding door golfgedreven stroming niet is gemodelleerd. De verspreiding van het baggermateriaal in deze studie kan dus onderschat worden ten opzichte van de realiteit wanneer de verspreiding bij golfslag plaatsvindt. Echter, bij significante golven gaat ook de natuurlijke achtergrondconcentratie omhoog, waardoor het effect van de werkzaamheden relatief gezien vergelijkbaar blijft. Bij een storm zijn de golfeffecten nog heviger, maar aangezien dan niet gebaggerd kan worden, worden deze niet verder beschouwd.

Bronterm

Voor de parameters van de bronterm is in Arcadis (2020) gekeken naar de invloed van de valsnelheid, de kritische schuifspanning en de erosieparameter. Hieruit kwam naar voren dat deze parameters een grote rol spelen in de verspreiding van het slib en daarmee de effectbeoordeling voor het uitvoeren van het baggeren. Voor deze studie is de erosieparameter op de standaardwaarde van $0,0001 \text{ kg/m}^2/\text{s}$ ingesteld en is voor de valsnelheid en de kritische schuifspanning een waarde genomen zoals in Tabel 4-2.

Achtergrondconcentratie

Zoals in paragraaf 2.3 benoemd is de achtergrondconcentratie relatief hoog in de Eems-Dollard door natuurlijke processen, autonome ontwikkelingen in de waterbeweging en de morfologie en door baggerwerkzaamheden. De totstandkoming van de achtergrondconcentratie is hierdoor complex, te complex om in het model te verwerken. Voor het berekenen van de achtergrondconcentraties met een slibmodel moeten alle slibbronnen en bezinkgebieden en alle processen rond de slibdynamiek in het estuarium in een model worden gevat. In de Eems-rivier, waar sprake is zeer hoge slibconcentraties gaan andere fysische processen een rol spelen, dan de processen die in het toegepaste Delft-3D model zijn opgenomen. Dit betekent wel dat in werkelijkheid de uitwisseling van het slib met de Eems-rivier anders plaats zal vinden dan in het model. Het is daarom van belang om naar het verschil tussen de scenario's te kijken, en niet naar de absolute effecten per scenario.

5 Resultaten modelberekeningen

De scenario's uit paragraaf 3.7 zijn geschematiseerd tot een modelscenario en vervolgens voor 2 jaar doorgerekend. Het laatste jaar is in dit hoofdstuk gevisualiseerd in de resultaten. Een overzicht van deze modelscenario's is opgenomen in Tabel 5-1.

Tabel 5-1 Overzicht en nummering modelscenario's

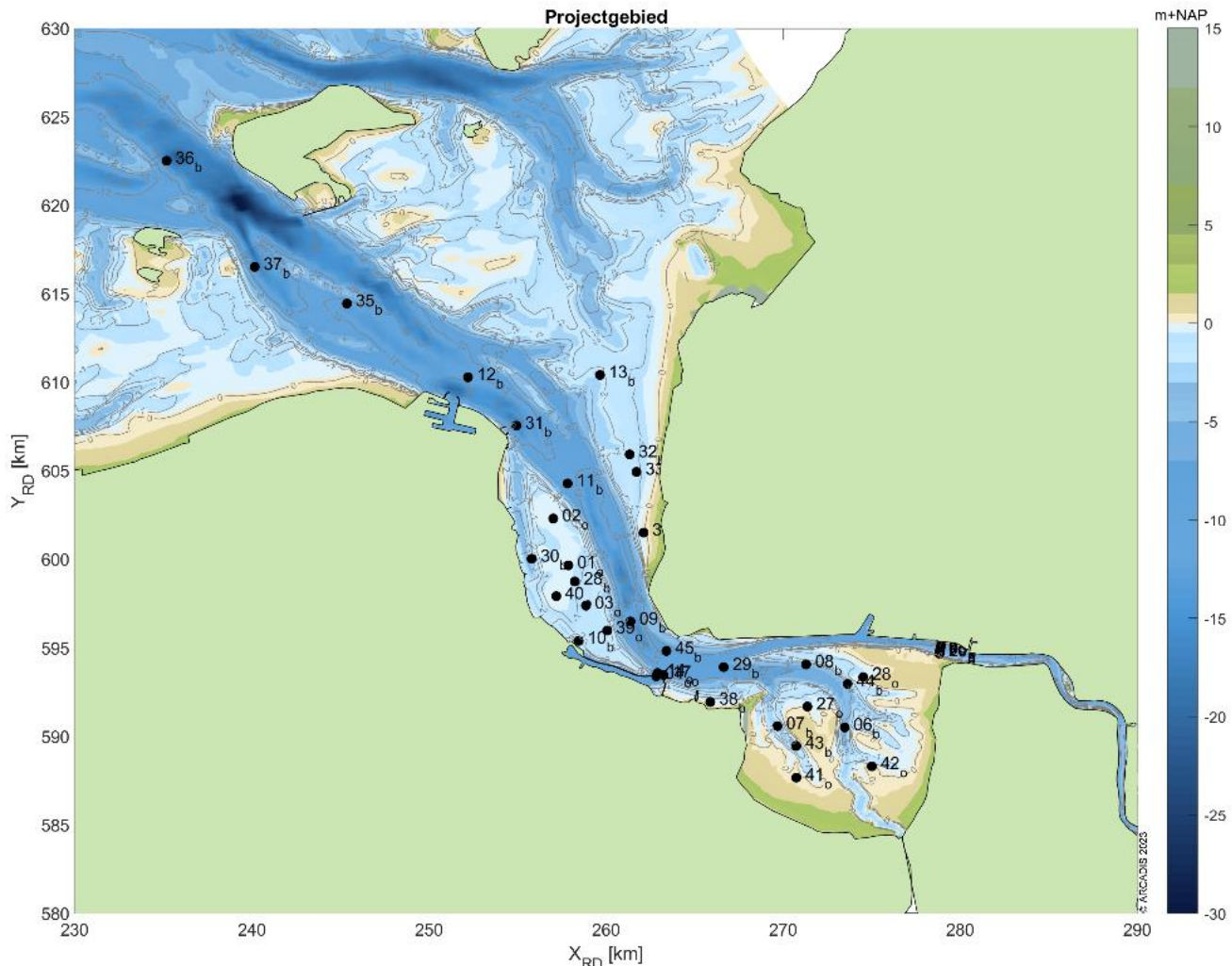
Nr.	Naam	Beschrijving	Opmerking
1	Scenario 1	Referentie situatie: baggervolumes zoals vergund in 1993 geprojecteerd op de huidige bodemligging.	Referentiesituatie welke zo representatief mogelijk is gesimuleerd.
2	Scenario 2a	Baggerwerkzaamheden Delfzijl Haven, representatief voor de afgelopen jaren (2019-2021).	Op basis van gemeten volumes en actieve uren.
3	Scenario 2b	Baggerwerkzaamheden Delfzijl Haven, representatief voor de nieuwe Wnb-vergunning.	Conservatief (maximaal te vergunnen hoeveelheden)
4	Scenario 3a	Baggerwerkzaamheden Paapsand Süd, representatief voor de afgelopen jaren (2019-2021), Airset.	Op basis van gemeten volumes en actieve uren.
5	Scenario 3b	Baggerwerkzaamheden Paapsand Süd, met in acht neming van de mitigerende maatregelen Delfzijl Haven, Airset.	Conservatief (maximaal te vergunnen hoeveelheden)
6	Scenario 3c	Baggerwerkzaamheden Paapsand Süd, met in acht neming van de mitigerende maatregelen Delfzijl Haven, sleepopper.	Conservatief (maximaal te vergunnen hoeveelheden)
7	Scenario 4a	Cumulatie scenario op basis van scenario 2b + 3b	Conservatief (maximaal te vergunnen hoeveelheden)
8	Scenario 4b	Cumulatie scenario op basis van scenario 2b + 3c	Conservatief (maximaal te vergunnen hoeveelheden)

Scenario 1 is de referentiesituatie. Dit scenario wordt vergeleken met scenario 2a: ten opzichte van hoe we het nu doen. Ook wordt de referentiesituatie vergeleken met scenario 2b: ten opzichte van de beoogde nieuwe Wnb-vergunning. Daarnaast is een vergelijking opgenomen tussen de referentiesituatie (scenario 1) en beide cumulatiescenario's (4a en 4b). Scenario 3 wordt dus niet an sich beschouwd, maar enkel in cumulatie met de werkzaamheden voor Delfzijl haven. Daarnaast dient scenario 3a enkel als referentie voor scenario's 3b en 3c en is niet verder beschouwd in deze rapportage.

In de volgende paragrafen wordt een selectie van de gesimuleerde vertroebeling en ruimtelijke slibbedekking gepresenteerd voor de vijf scenario's met de representatieve modelinstellingen (zie paragraaf 4.2.2). Om een goed beeld te krijgen van de vertroebeling en de overeenkomsten en de verschillen tussen de scenario's, wordt gekeken naar de volgende modeluitkomsten:

- De slibconcentraties ten gevolge van de baggerwerkzaamheden (paragraaf 5.1)
 - In deze paragraaf staan de slibconcentraties op een aantal representatieve locaties in de tijd, voornamelijk daggemiddelden (tijdseries). Hierin ligt de focus op het verschil tussen de scenario's.
 - Voor de zomermaanden is daarnaast gekeken naar de gemiddelde ruimtelijke slibconcentraties aan de bodem en het oppervlak ten gevolge van de werkzaamheden voor scenario 1. Daarnaast is ook gekeken naar de verschillen tussen scenario's 1, 2a en 2b en scenario's 1, 4a en 4b.
- De slibbedekking ten gevolge van de baggerwerkzaamheden (paragraaf 5.2)
 - In deze paragraaf zijn tijdseries van de slibbedekking zichtbaar op bepaalde belangrijke punten in de tijd.
- De sedimentatiesnelheid (paragraaf 5.3).

Voor de verschillende scenario's zijn onder andere tijdseries opgenomen op een aantal representatieve locaties (voor de slibconcentratie en slibbedekking). Alle locaties zijn weergegeven in Figuur 5-1. De representatieve locaties bevatten een geul (punt 45), een plaat (punt 40) en de Dollard zelf (punt 6). Vanuit ecologisch oogpunt is aangegeven op welk punt de concentratie aan de bodem het belangrijkste is of aan het oppervlak. Dit is zichtbaar in Figuur 5-1 als de b (boven) en o (onder).



Figuur 5-1: Locaties van verschillende observatiepunten in het model. In het vervolg van deze studie wordt verwezen naar locaties: Dollard; -3.5 m+NAP; 45: Gaatje Bocht; een geul van -12 m+NAP en 40: de Hond-Paap; een plaat van -0,5 m+NAP.

Toepassingsbereik van het model

Mid- en far-field effecten, oftewel de grootschalige pluimvorming en de afzetting van opgewoeld materiaal, worden nauwkeurig door het model gesimuleerd en kunnen ingezet worden voor de effectbeoordeling. Near-field effecten, dat wil zeggen in de directe nabijheid van de baggerlocatie (Airset) of verspreidingslocatie (sleephopperzuiger) worden niet beschouwd, omdat het model hier niet voor bedoeld is. Onder andere het rekenrooster is niet fijn genoeg is om dit goed te simuleren.

5.1 Slibconcentratie

Tijdseries van toename slibconcentraties

Figuur 5-2, Figuur 5-3 en Figuur 5-4 geven de slibconcentraties in de Dollard (punt 6), in Gaatje Bocht geul (punt 45) en op de Hond-Paap plaat (punt 40) weer voor scenario 1. De figuren laten de slibconcentraties aan de bodem, aan het wateroppervlak en dieptegemiddeld zien, die optreden ten gevolge van het baggeren en verspreiden. Daarnaast is ook het dagelijks gemiddelde van de dieptegemiddelde slibconcentratie weergegeven in het paars.

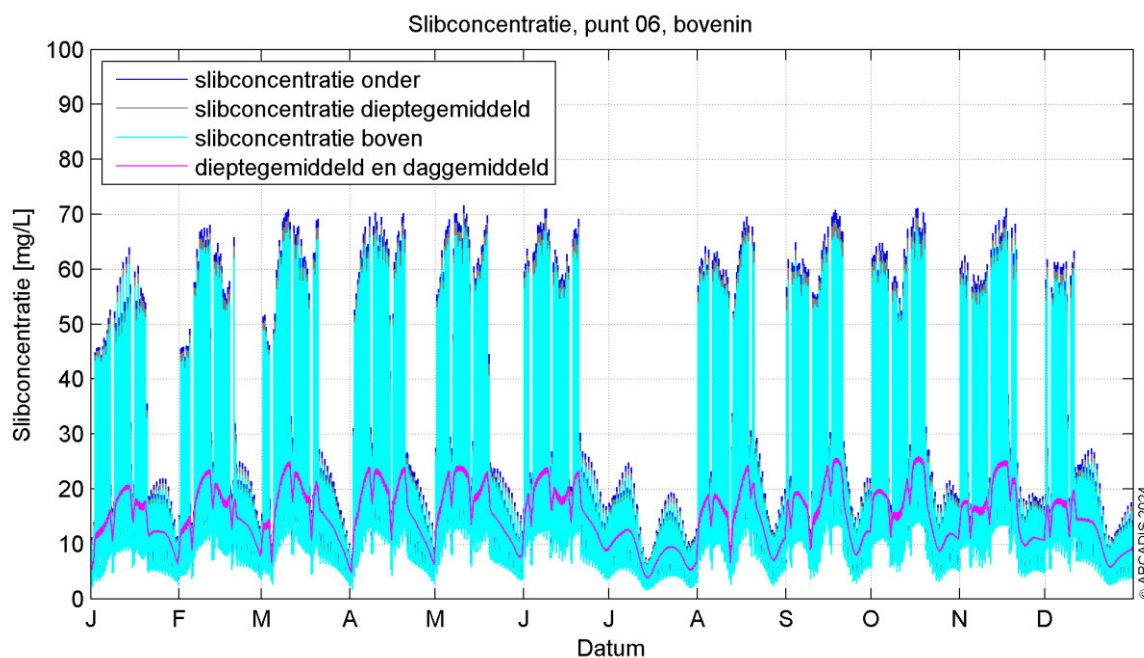
Er is een aantal patronen te zien in de figuren. Ten eerste is er een sterke dagelijkse fluctuatie van de slibconcentratie te zien. Dit geldt voor zowel de slibconcentraties aan de bodem, aan het wateroppervlak en de dieptegemiddelde slibconcentratie. De slibconcentraties aan de bodem zijn hierbij hoger dan de slibconcentratie aan het wateroppervlak. Het dagelijks gemiddelde van de dieptegemiddelde slibconcentratie vertoont veel minder fluctuatie. Dit wijst erop dat het slib neerslaat tijdens situaties waarin de stroomsnelheid naar 0 m/s gaat (bij hoogwater en bij laagwater). Wanneer

het getij wisselt en de stroomsnelheden weer toenemen komt het slib opnieuw in suspensie, waardoor de concentratie stijgt. Deze fluctuaties zijn vele malen groter op de platen (die gedeeltelijk droogvallen), dan in de geulen. Wanneer de platen na de droogval weer onder water lopen is de waterkolom relatief klein ten opzichte van de waterkolom in de geul. Er is daardoor een kleiner watervolume waarin het slib wordt opgewoeld en dit leidt tot hogere slibconcentraties. Hierbij dient in het achterhoofd te worden gehouden dat de wadplaat daadwerkelijk droogvalt tijdens laagwater, zodat geen sprake is van beperkingen van de lichtinval op het plaatoppervlak door (tijdelijke) vertroebeling.

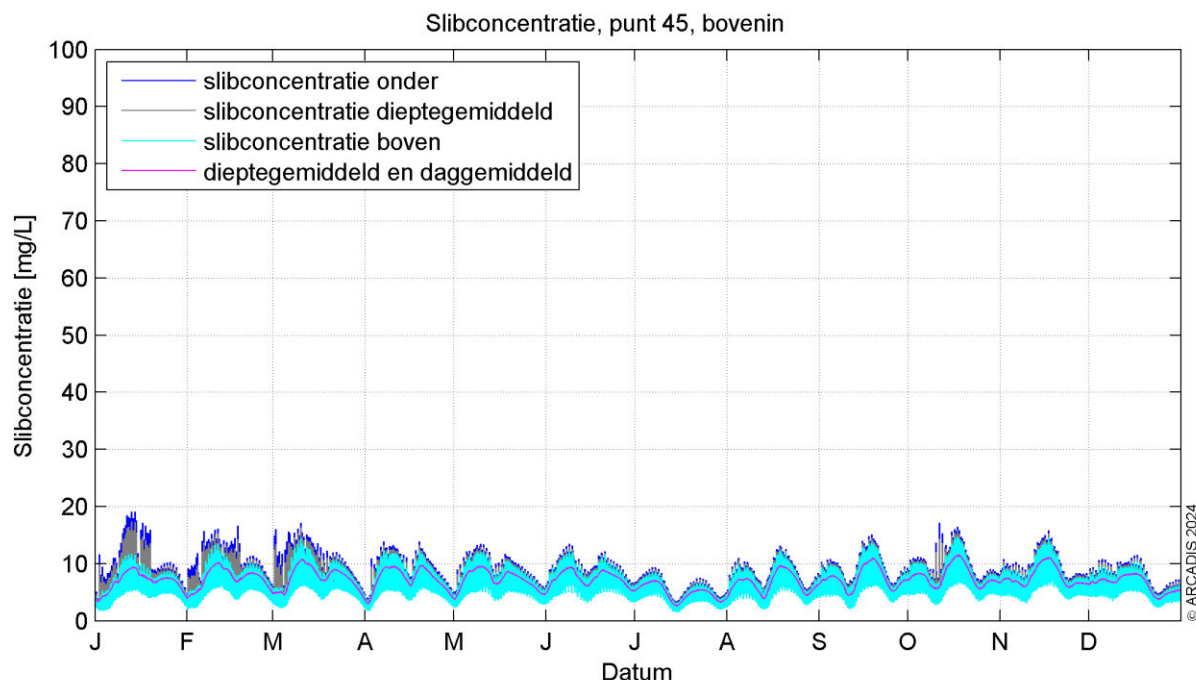
Daarnaast is er een periodiciteit van ongeveer 14 dagen zichtbaar in de figuren (daggemiddelden) als gevolg van de springtij-doodtij cyclus. Tijdens springtij zijn de waterstandsverschillen tussen laagwater en hoogwater groter, wat resulteert in hogere stroomsnelheden bij eb en vloed en daarmee hogere slibconcentraties.

Tot slot is op locatie 6 (Dollard) ook het directe effect van de verspreiding met de sleephopper duidelijk zichtbaar. Ten tijde van verspreiding stijgt de concentratie tot 60 à 70 mg/l (daggemiddeld <25 mg/l). Als er niet verspreid wordt (bijvoorbeeld tijdens de bouwvak en Kerst) komt de concentratie niet boven de 25 mg/l (daggemiddeld <15 mg/l).

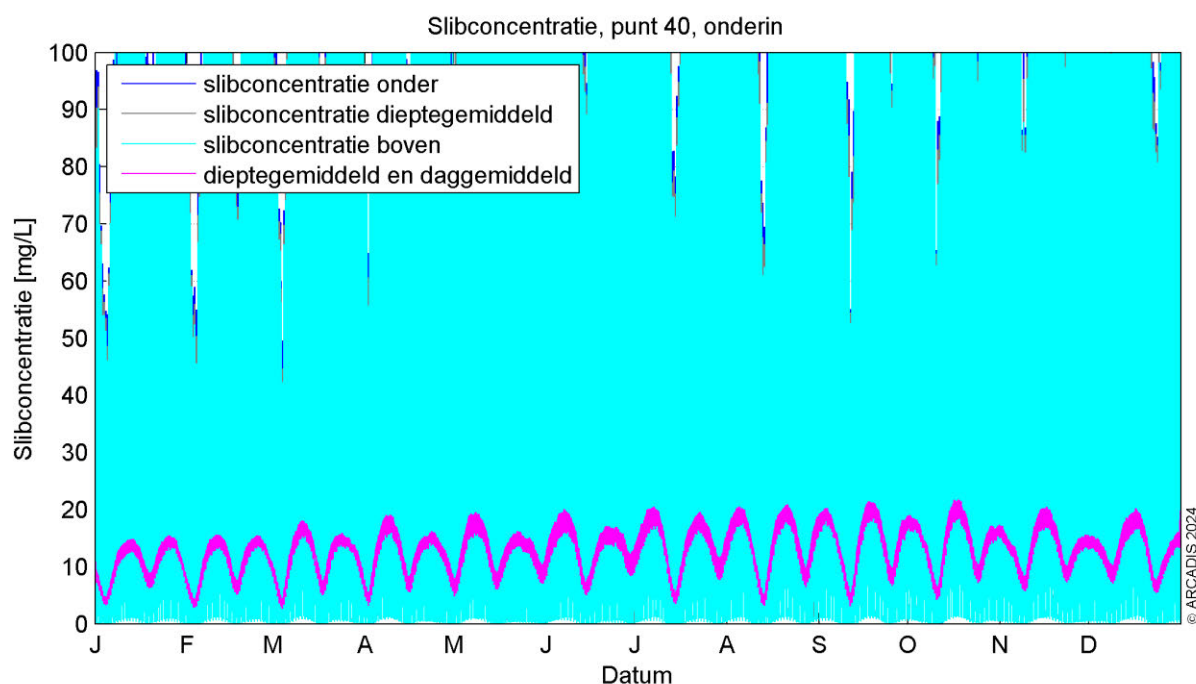
Het belangrijkste dat zichtbaar is in Figuur 5-2, Figuur 5-3 en Figuur 5-4 is dat de slibconcentraties op de plaat veel meer (dagelijkse) fluctuaties vertonen dan de slibconcentratie in de geul. Vanwege de grote verschillen in dagelijkse concentratie worden de scenario's onderling vergeleken op basis van daggemiddelde slibconcentraties. Op deze manier zijn de verschillen tussen de scenario's beter zichtbaar en zijn maandelijkse/jaarlijkse trends beter waarneembaar.



Figuur 5-2: Representatieve slibconcentratie voor scenario 1 (referentie situatie) in de Dollard (locatie in Figuur 5-1).



Figuur 5-3: Representatieve slibconcentratie voor scenario 1 (referentie situatie) in een geul (locatie in Figuur 5-1).



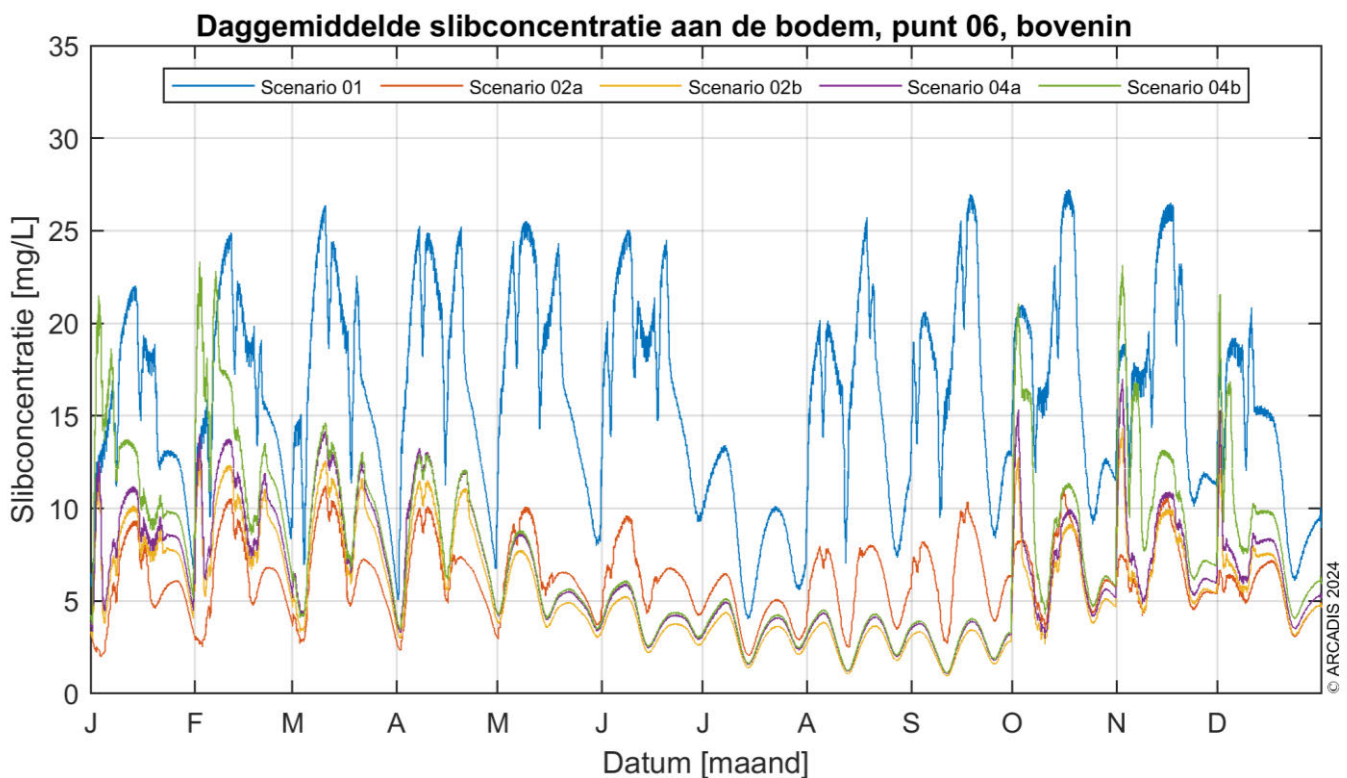
Figuur 5-4: Representatieve slibconcentratie voor scenario 1 (referentie situatie) op een plaat (locatie in Figuur 5-1).

5.1.1 Daggemiddelde slibconcentraties op representatieve punten

De daggemiddelde slibconcentratie in de Dollard voor de verschillende scenario's zijn met elkaar vergeleken. Ten behoeve van de ecologische beoordeling is de daggemiddelde waarde aan het wateroppervlak of de bodem gekozen. Dit is afhankelijk van de locatie.

In Figuur 5-5 staat de daggemiddelde slibconcentratie op punt 6 (regio Dollard) aan het oppervlak voor alle scenario's (waarbij scenario 3 is opgenomen binnen scenario 4 in de vorm van cumulatie). Hier is een duidelijke springtij-doodtij cyclus van ~14 dagen zichtbaar, waarbij de slibconcentratie bij springtij als pieken naar voren komt en de slibconcentratie bij doottij als dalen. Bij springtij zijn de stroomsnelheden hoger, waardoor de slibconcentraties ook hoger zijn door resuspensie. Verder is zichtbaar dat de daggemiddelde concentraties in alle scenario's niet boven de 27 mg/L uitkomen.

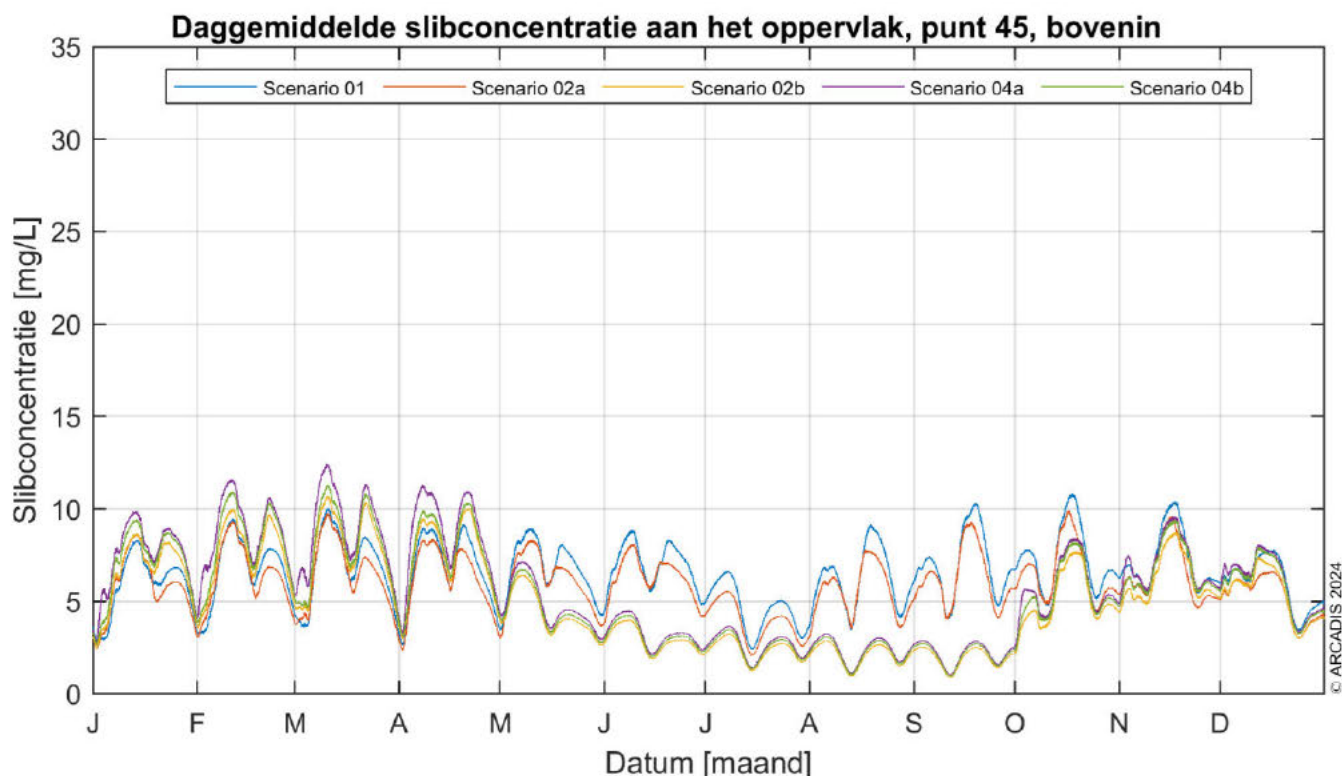
Scenario 1, de referentie situatie, geeft jaarrond flink hogere slibconcentraties in de Dollard ten opzichte van de andere scenario's. Dit verschil is op deze locatie in de Dollard ongeveer 5-10 mg/l tot wel 15 mg/l in de zomerperiode. Rond springtij is dit verschil groter en rond doottij is dit verschil kleiner. Scenario's 2a en 2b, de huidige situatie en de beoogde nieuwe Wnb-vergunning, hebben een gelijkwaardige slibconcentratie buiten de periode van mei tot november. Juist in deze periode is goed te zien wat de mitigerende maatregelen in de zomer doen voor scenario 2b: deze zorgen voor een flinke daling in concentratie ten opzichte van het doorzetten van de baggerwerkzaamheden zoals in de huidige situatie gebeurt. Tot slot de cumulatie scenario's 4a en 4b: als gebruik gemaakt wordt van de Airstet voor de baggerwerkzaamheden voor Paapsand Süd (4a), is de cumulatie in de Dollard minimaal, er is slechts een marginale toename te zien in slibconcentratie, vooral tijdens de zomerperiode. Bij de inzet van de sleehopper en verspreiding in de Dollard (4b), is het lokale effect groter buiten de zomerperiode is een toename van 5-10 mg/l waarneembaar.



Figuur 5-5: Daggemiddelde concentratie aan de bodem in de Dollard voor de verschillende scenario's. De titel 'punt 6, bovenin' verwijst naar de ecologische relevantie van dit observatiepunt, het betreft het bovenste deel van de waterkolom op punt 6 in de Dollard (locatie in Figuur 5-1).

In Figuur 5-6 is de daggemiddelde slibconcentratie aan het oppervlak in de geul Gaatje Bocht (punt 45, locatie in Figuur 5-1) voor de verschillende scenario's met elkaar vergeleken. De figuur toont vergelijkbare patronen als bij de Dollard (Figuur 5-5); ook hier is de springtij-doodtij cyclus zichtbaar en vertonen alle scenario's een vergelijkbaar gedrag als beschreven bij Figuur 5-5, maar dan in minder grote mate en zijn de concentraties een stuk lager. De fluctuaties tussen springtij en doottij zijn minder omdat het figuur de concentratie aan de oppervlakte toont en de waterdiepte in de geul groter is dan in de Dollard. Sediment dat vanaf de bodem in resuspensie komt moet daardoor een grotere hoogte overwinnen, voordat het slib de bovenste waterlagen bereikt.

In het voorjaar liggen de slibconcentraties van scenario 2b en de cumulatieve scenario's (4) veelal boven de referentie situatie (1) en de huidige situatie (2a). In de zomerperiode is dit beeld juist gespiegeld. De scenario's waarbij mitigerende maatregelen zijn toegepast, tonen dan een slibconcentratie tot wel 8 mg/l lager dan de overige scenario's. Hieruit is af te leiden dat de slibconcentratie in de geul zeer snel en sterk reageert op de mitigerende maatregelen. In het najaar resulteren alle scenario's in een vergelijkbaar beeld ten opzichte van het voorjaar.

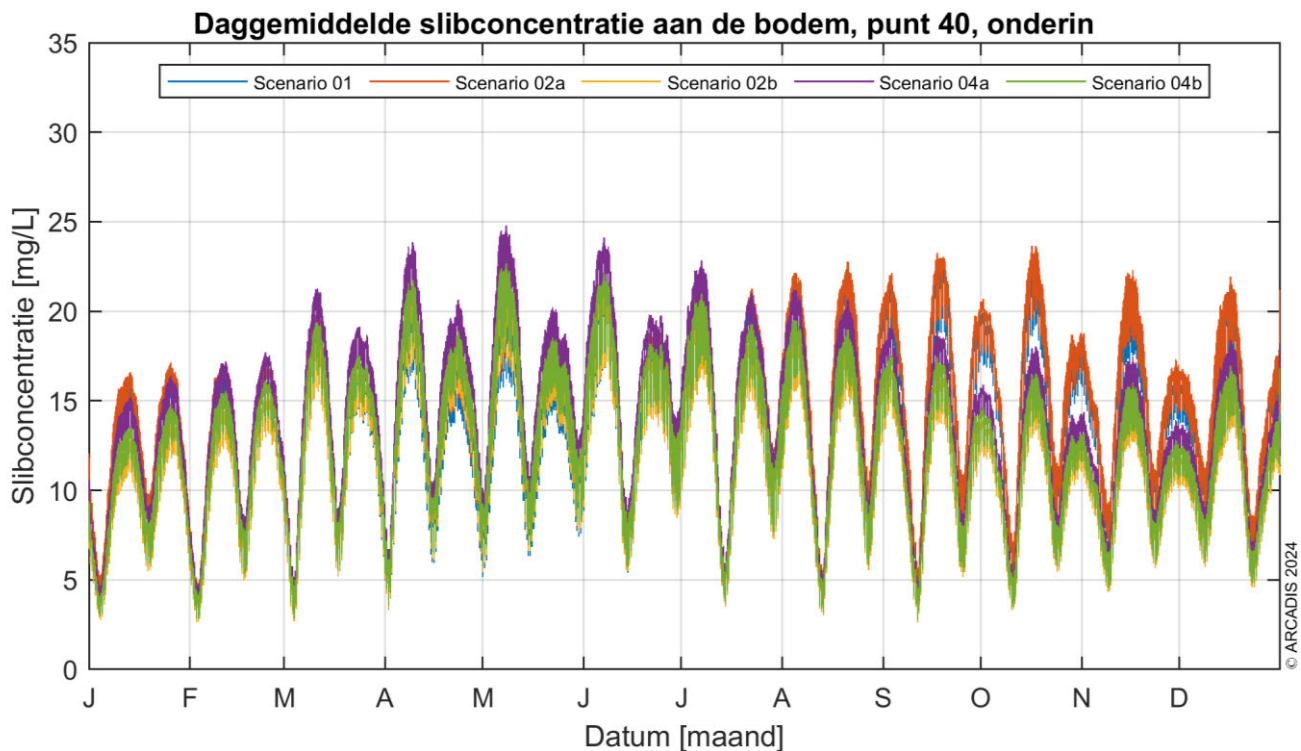


Figuur 5-6: Daggemiddelde concentratie aan het wateroppervlak in de geul (Gaaije Bocht, locatie in Figuur 5-1) voor de verschillende scenario's.

Figuur 5-7 laat de daggemiddelde slibconcentratie zien voor de verschillende scenario's op de plaat Hond-Paap (punt 40, locatie in Figuur 5-1). De plaat (Hond-Paap) vertoont meer dynamiek in de slibconcentraties dan de geul Gaaije Bocht of de Dollard, waarbij voor alle scenario's grotere fluctuaties in concentraties voorkomen dan in de geul of in de Dollard. Dit komt doordat de plaat zeer ondiep is waardoor resuspensie makkelijker kan optreden. Daarnaast zijn de stroomsnelheden op de platen lager ten opzichte van de geulen waardoor het slib in deze ondiepe gebieden ook (weer) makkelijker kan sedimenteren (en weer in suspensie kan komen). Deze effecten zijn heel gevoelig voor de doortij springtij cyclus, wat zich toont in het fluctuatiepatroon met een periode van circa 14 dagen.

Op de Hond-Paap geven scenario 2a en 4a, de huidige situatie en de cumulatieve situatie met Airset, de hoogste concentraties. Tijdens doortij zijn de verschillen in concentratiewaarden klein. Resuspensie treedt dan moeilijker op door de lagere stroomsnelheden. Daarnaast is zichtbaar dat de slibconcentratie ten gevolge van scenario 1 in het voorjaar aan de lagere kant zit van de spreiding binnen de scenario's. In de zomerperiode is de concentratie gelijkwaardig aan de overige scenario's (de tijdserie zit achter de andere tijdseries). Dit is niet zo in de geul of de Dollard. In scenario 1 wordt alleen verspreid in de Dollard waardoor de hoogste slibconcentraties in de Dollard zichtbaar zijn. De plaat Hond-Paap is behoorlijk ver van het verspreidingspunt waardoor de concentraties hier een fractie lager zijn. In het najaar is dit overigens niet het geval, pas vanaf augustus is het effect van de mitigerende maatregelen zichtbaar en tonen de scenario's waarbij deze maatregelen zijn toegepast een lagere slibconcentratie.

Op de Hond-Paap reageert de slibconcentratie dus een stuk trager op de baggerwerkzaamheden dan in de geul of de Dollard. Bij scenario's met mitigatie, waarbij de baggerwerkzaamheden stoppen in de periode mei t/m september, is het effect vooral zichtbaar vanaf augustus tot december.



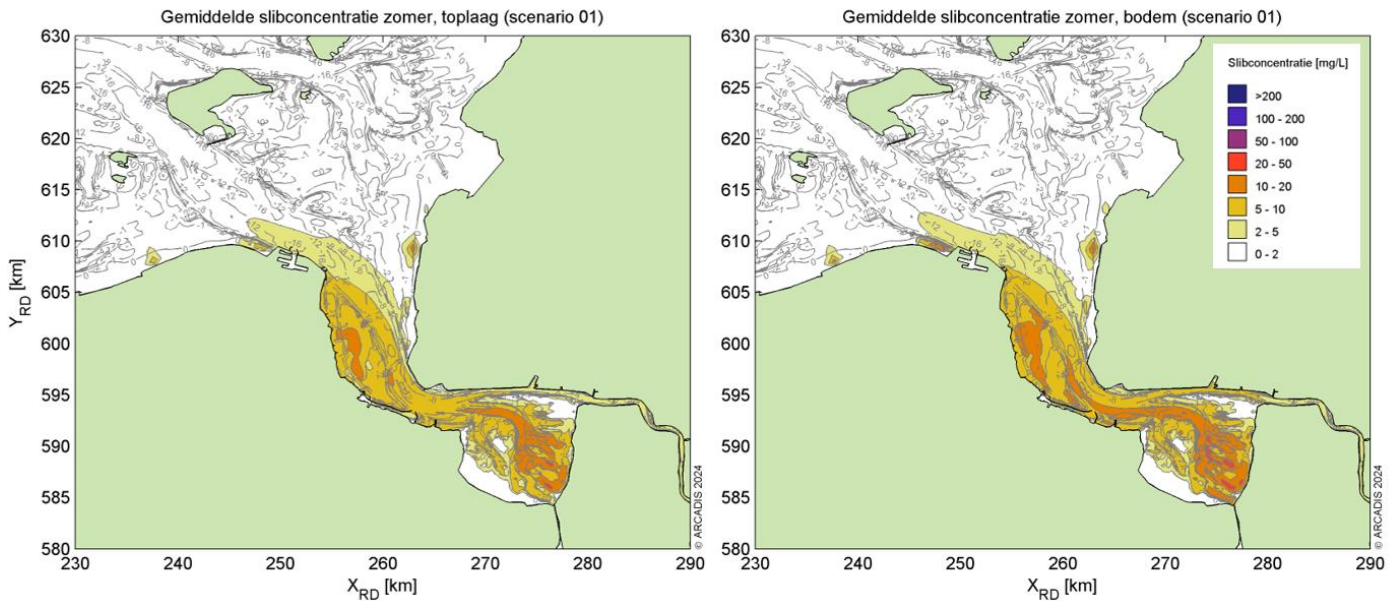
Figuur 5-7: Daggemiddelde concentratie aan de bodem op de plaat (Hond-Paap, locatie in Figuur 5-1) voor de verschillende scenario's.

5.1.2 Ruimtelijke variatie in slibconcentratie in de zomermaanden

De zomermaanden, hier van mei t/m september, zijn van ecologisch belang aangezien dit het groeiseizoen is. Daarom is in deze paragraaf gefocust op de ruimtelijke variatie in slibconcentratie gemiddeld over de zomermaanden.

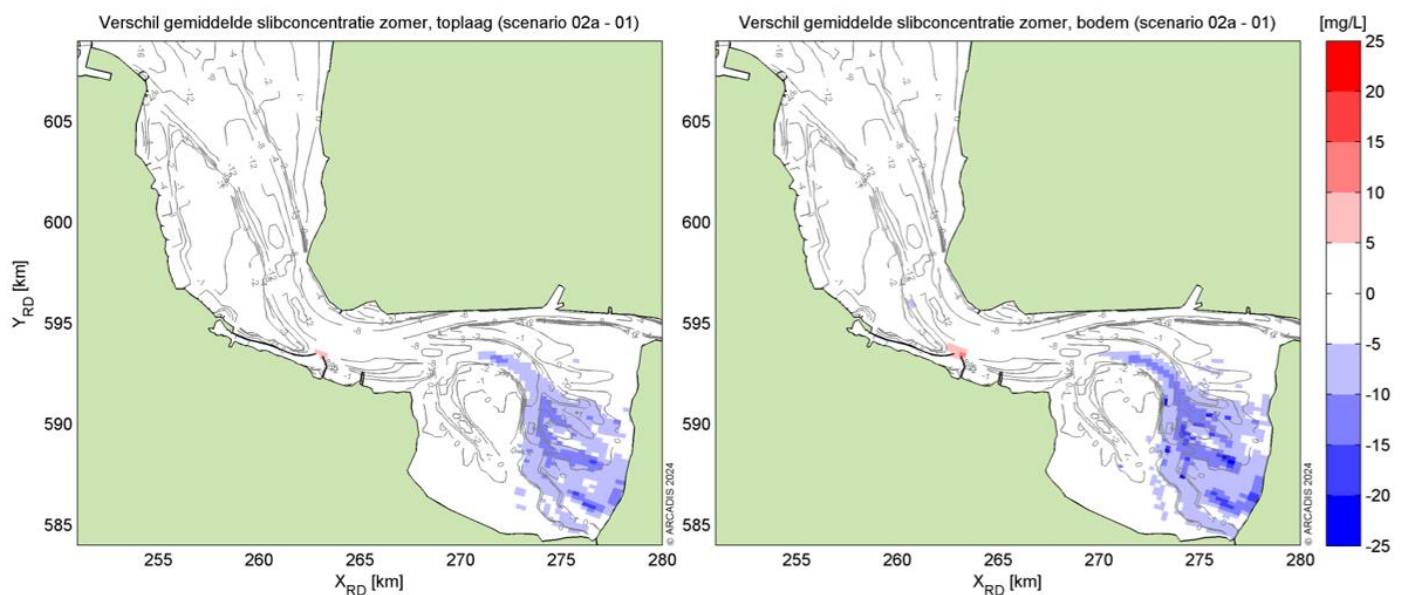
In Figuur 5-8 is de slibconcentratie van het referentiescenario (scenario 1) zichtbaar aan de bodem en het oppervlak, gemiddeld over de zomermaanden. Ten eerste is zichtbaar dat de concentraties aan de bodem hoger zijn dan die aan het oppervlak. Dit komt doordat het slib neerdaalt naar de bodem waardoor het oppervlak vrijwel altijd een lagere concentratie heeft. Ten tweede is zichtbaar dat de hoogste concentraties zich in de Dollard en boven Hond-Paap bevinden. Dit komt doordat resuspensie in ondiepe gebieden makkelijker plaatsvindt en doordat de stroomsnelheden daar laag zijn. Daarnaast zijn ze daar hoog omdat dit ondiepe gebied het dichtst bij de verspreidingslocatie in de Dollard ligt.

Buiten het Eems-Dollard estuarium is het dagelijks gemiddelde effect van de baggerwerkzaamheden in de zomermaanden kleiner dan 2 mg/L. Voorbij de Waddeneilanden (Rottumerplaat en Borkum) zijn geen dagelijks gemiddelde effecten van groter dan 2 mg/L merkbaar.



Figuur 5-8: De ruimtelijke variatie in slibconcentratie gemiddeld over de zomermaanden (mei t/m september) aan het oppervlak (links) en aan de bodem (rechts) van het referentiescenario, scenario 1.

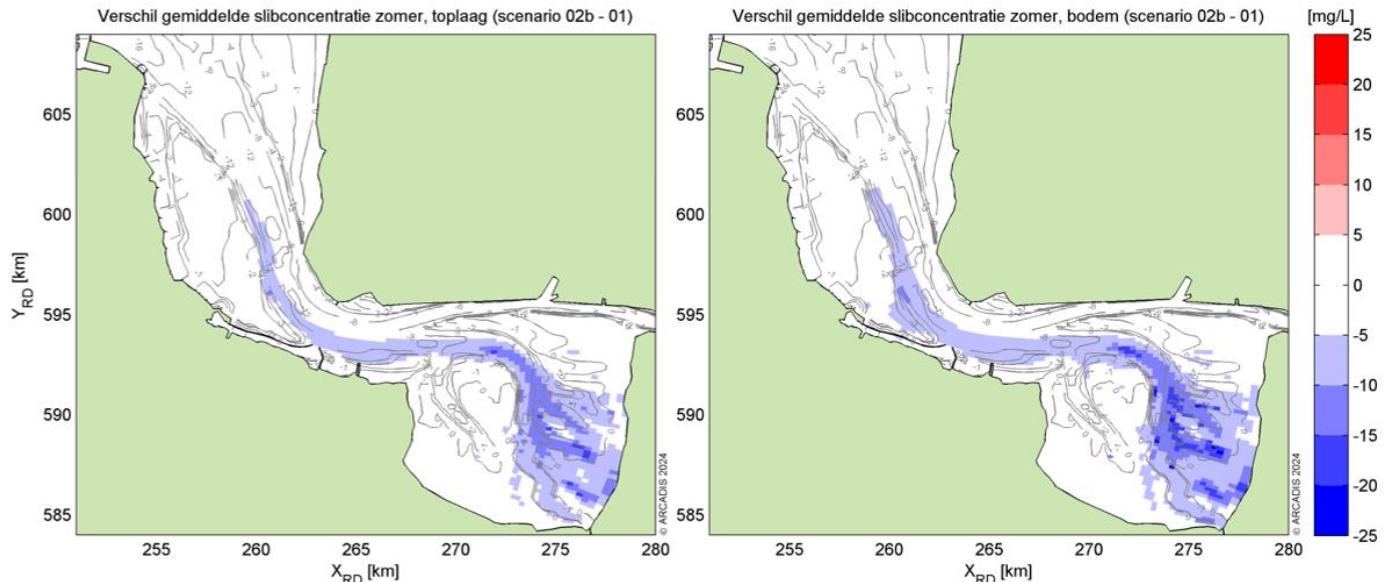
In Figuur 5-9 is het verschil tussen scenario 1 en scenario 2a zichtbaar over de zomermaanden: het verschil tussen de referentiesituatie en de huidige situatie. Rood betekent een toename in slibconcentratie ten opzichte van scenario 1 en blauw betekent een afname in slibconcentratie. Scenario 2b resulteert in een afname in de Dollard tussen de 5 en 25 mg/l ten opzichte van scenario 1. Aan de bodem is deze afname groter (rechts) dan aan het oppervlak (links). Enkel in de havenmonding van Delfzijl is een toename van 5 tot 10 mg/l zichtbaar. Dit komt door de inzet van de Airset in scenario 2a. Dit materiaal is specifiek werkzaam in en rond de havenmond en leidt daarmee tot een lokale toename in slibconcentratie.



Figuur 5-9: Het verschil tussen de ruimtelijke variatie in slibconcentratie gemiddeld over de zomermaanden (mei t/m september) van scenario 1 en scenario 2a. Aan het oppervlak (links) en aan de bodem (rechts).

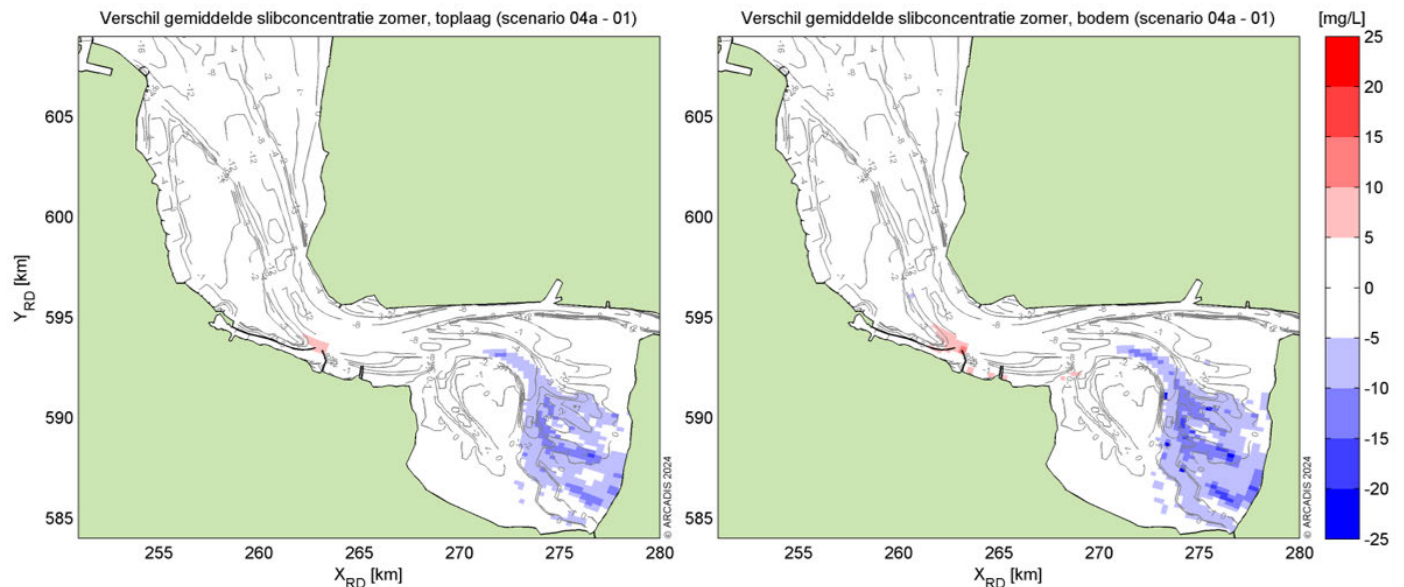
In Figuur 5-10 is het verschil tussen scenario 1 en scenario 2b zichtbaar gemiddeld over de zomerperiode: het verschil tussen de referentiesituatie en de beoogde baggervolumes voor de nieuwe Wnb-vergunning. Scenario 2b resulteert in een afname tussen de 5 en 25 mg/l in de Dollard ten opzichte van scenario 1. De afname is het sterkst aan de bodem.

Vanwege de mitigerende maatregelen is ook een afname van 5 tot 10 mg/l zichtbaar in Gaatje Bocht en richting de Oost-Friesche geul. Dit is in overeenstemming met de getoonde tijdseries van de slibconcentraties (paragraaf 5.1.1), die ook lieten zien dat met name de slibconcentratie in de geulen direct reageert op de mitigerende maatregelen. De afname boven Hond-Paap is juist wat vertraagt en vindt plaats in de periode augustus t/m november. Deze afname is daarmee niet meegenomen in de vergelijking van de zomergemiddelde slibconcentratie, zoals hieronder getoond.

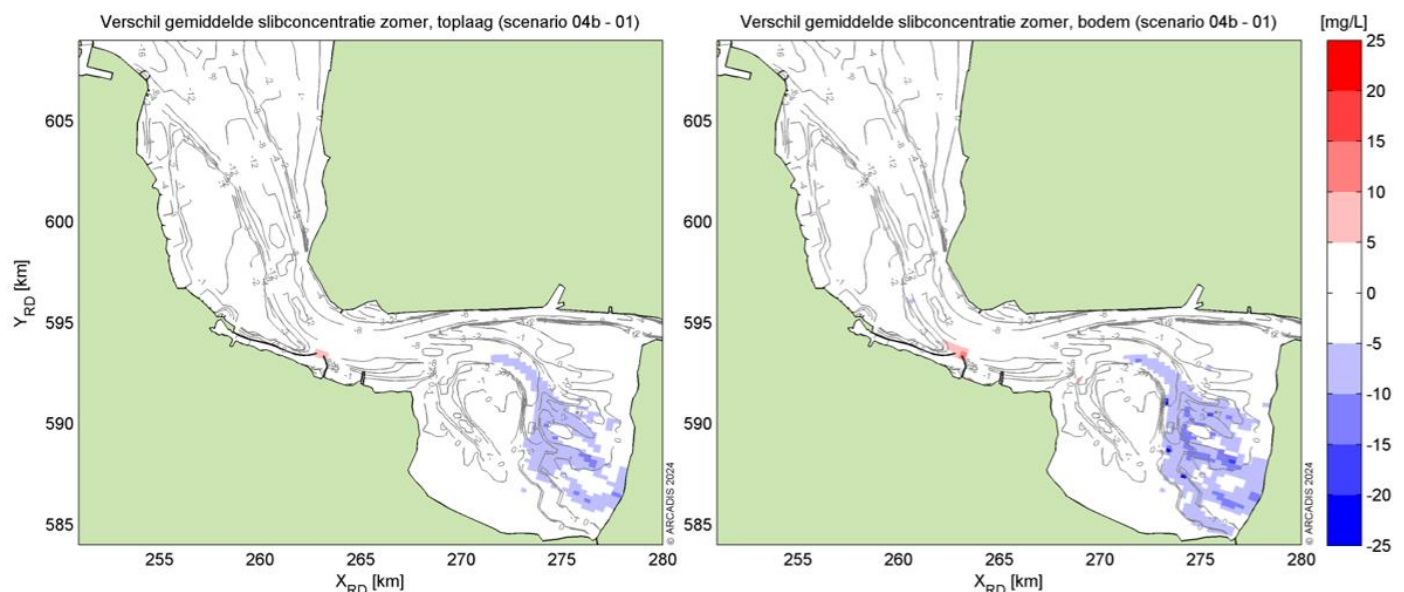


Figuur 5-10: Het verschil tussen de ruimtelijke variatie in slibconcentratie gemiddeld over de zomermaanden (mei t/m september) van scenario 1 en scenario 2b. Aan het oppervlak (links) en aan de bodem (rechts).

Figuur 5-11 en Figuur 5-12 laten het verschil zien tussen scenario 1 en de cumulatie scenario's 4a en 4b respectievelijk, gemiddeld over de zomerperiode. Bij de vergelijking tussen scenario's 1 en 4a valt op dat er een lichte toename is rond de havenmonding van Delfzijl, met name aan de bodem. Dit komt doordat binnen scenario 4a de baggerwerkzaamheden voor Paapsand Süd (ook) uitgevoerd worden met de Airset. Dit resulteert lokaal in een lichte toename ten opzichte van de referentie. Tegelijkertijd blijft er sprake van een afname van de slibconcentratie in de Dollard van 5 tot 25 mg/l. Als scenario 1 vergeleken wordt met scenario 4b, dan is de toename bij de havenmonding verwaarloosbaar, maar is de afname van de slibconcentratie in de Dollard afgenomen tot 5 tot 15 mg/l. Dit komt doordat de werkzaamheden bij Paapsand Süd binnen dit scenario uitgevoerd worden met een sleepopperzuiger wat resulteert in relatief minder effect bij Delfzijl en meer vertroebeling in de Dollard. Desalniettemin is in beide gevallen nog altijd sprake van een forse vermindering van de vertroebeling in het gehele Dollard estuarium ten opzichte van de referentie situatie.



Figuur 5-11: Het verschil tussen de ruimtelijke variatie in slibconcentratie gemiddeld over de zomermaanden (mei t/m september) van scenario 1 en scenario 4a. Aan het oppervlak (links) en aan de bodem (rechts).



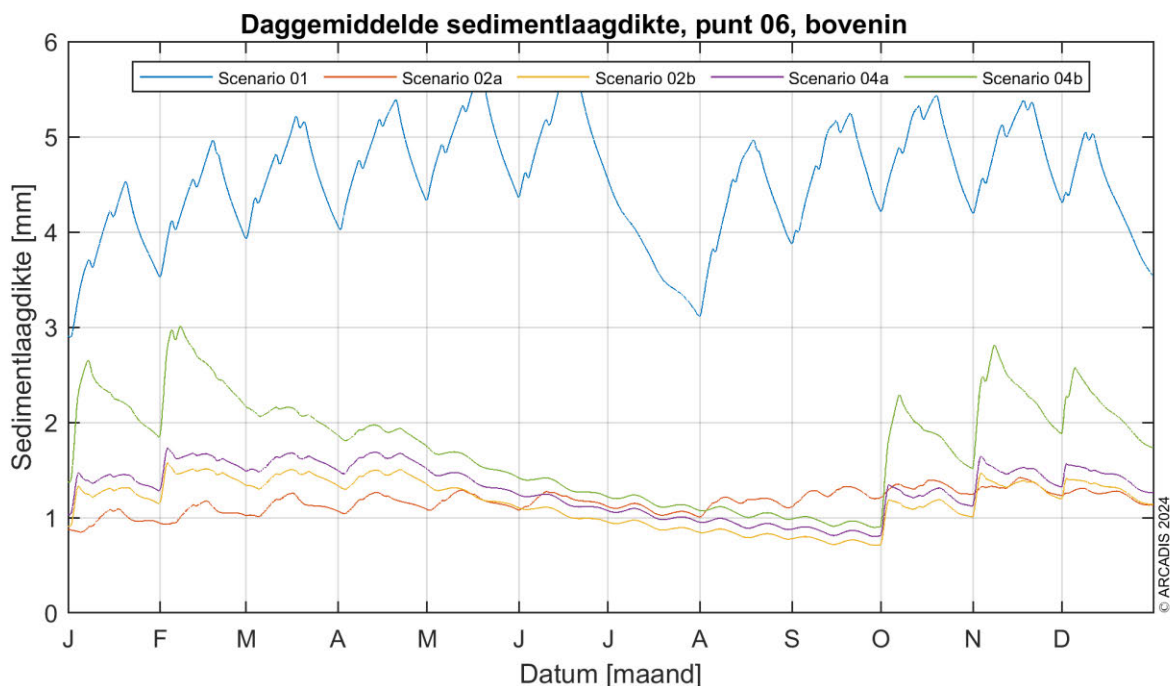
Figuur 5-12: Het verschil tussen de ruimtelijke variatie in slibconcentratie gemiddeld over de zomermaanden (mei t/m september) van scenario 1 en scenario 4b. Aan het oppervlak (links) en aan de bodem (rechts).

5.2 Sedimentatie

In deze paragraaf staat de sedimentlaagdikte in de tijd voor alle scenario's op drie locaties (in Figuur 5-1): een locatie in de Dollard (punt 6), de geul (punt 45) en de plaat Hond-Paap (punt 40). De getoonde bedekking treedt enkel op door de sedimentatie als gevolg van de baggerwerkzaamheden.

Figuur 5-13 laat de daggemiddelde sedimentlaagdikte in de Dollard zien (punt 6) voor alle scenario's. Voor alle tijdseries is in meer of mindere mate een zaagtandpatroon zichtbaar. Dit is te relateren aan de baggerwerkzaamheden. De sedimentlaagdikte bouwt op tijdens een periode van verspreiden en neemt door erosie weer af op momenten dat er niet verspreid wordt, bijvoorbeeld aan het einde van elke maand of tijdens bouwvak, Kerst of in de gehele zomerperiode (in het geval van mitigatie). Het is duidelijk zichtbaar dat de sedimentlaagdikte voor het referentiescenario (scenario 1) jaarrond een stuk dikker is dan alle andere scenario's. Dit verschil is ongeveer 3 à

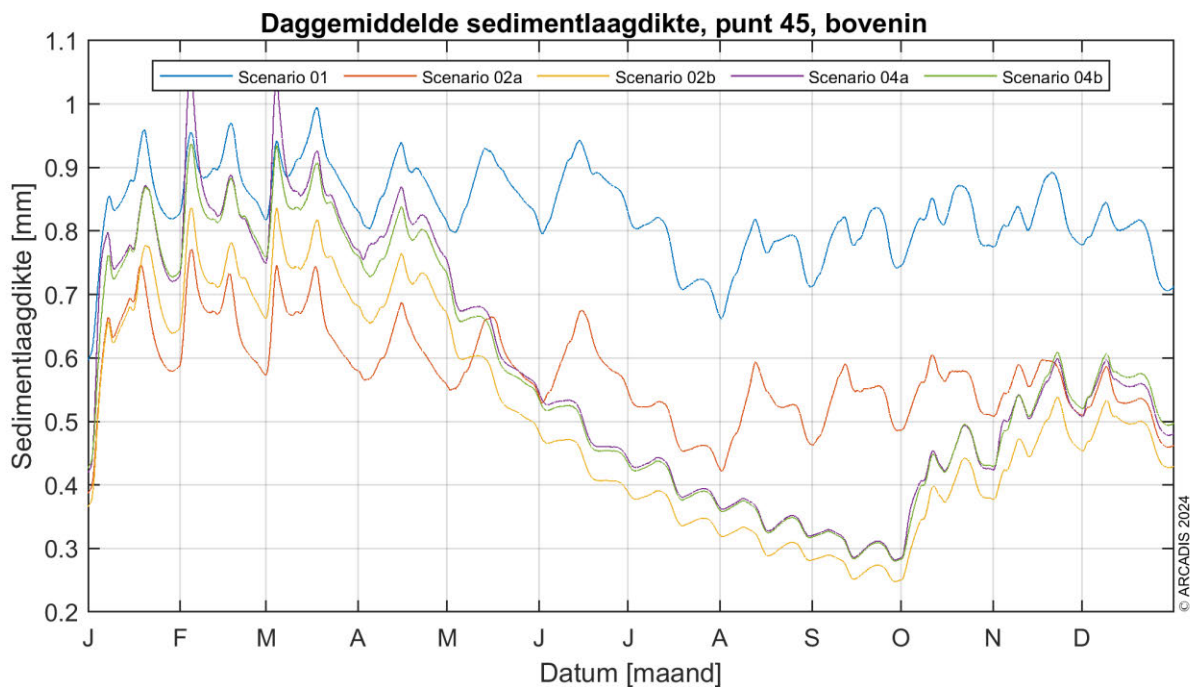
4 mm. Dit komt met name door de baggerspreidingslocatie van scenario 1, welke in de Dollard is. Voor de overige scenario's is de baggerspreidingslocatie voornamelijk bij de monding van de haven van Delfzijl. De sedimentlaagdikte in de Dollard is voor scenario 2a, 2b en 4a jaarrond ongeveer 1 tot 1,5 mm. Voor scenario 4b loopt de dikte buiten de zomerperiode tijdelijk op tot 3 mm vanwege het verspreiden van het materiaal uit Paapsand Süd met de sleeophopper. Voor alle scenario's waarbinnen mitigatie wordt toegepast, is een klein verschil te zien tussen de zomer en winterperiode. In de zomerperiode neemt de sedimentlaagdikte een klein beetje af (~0,5 mm) doordat er dan geen baggermateriaal wordt verspreid en in de winter neemt deze weer een klein beetje toe.



Figuur 5-13: Daggemiddelde sedimentlaagdikte in de Dollard (punt 6, locatie in Figuur 5-1) voor de verschillende scenario's.

Figuur 5-14 geeft de daggemiddelde sedimentlaagdikte voor alle scenario's in de geul Gaatje Bocht (punt 45, locatie in Figuur 5-1). De sedimentlaagdikte is op deze locatie een ordegrrootte kleiner dan de sedimentlaagdikte in de Dollard. Dit is te verklaren door de hogere stroomsnelheden en grotere waterdiepte in de geul, waardoor het fijne sediment enerzijds minder snel kan bezinken en anderzijds een langere afstand af moet leggen om te bezinken. Tot slot is ook de resuspensie hier hoger.

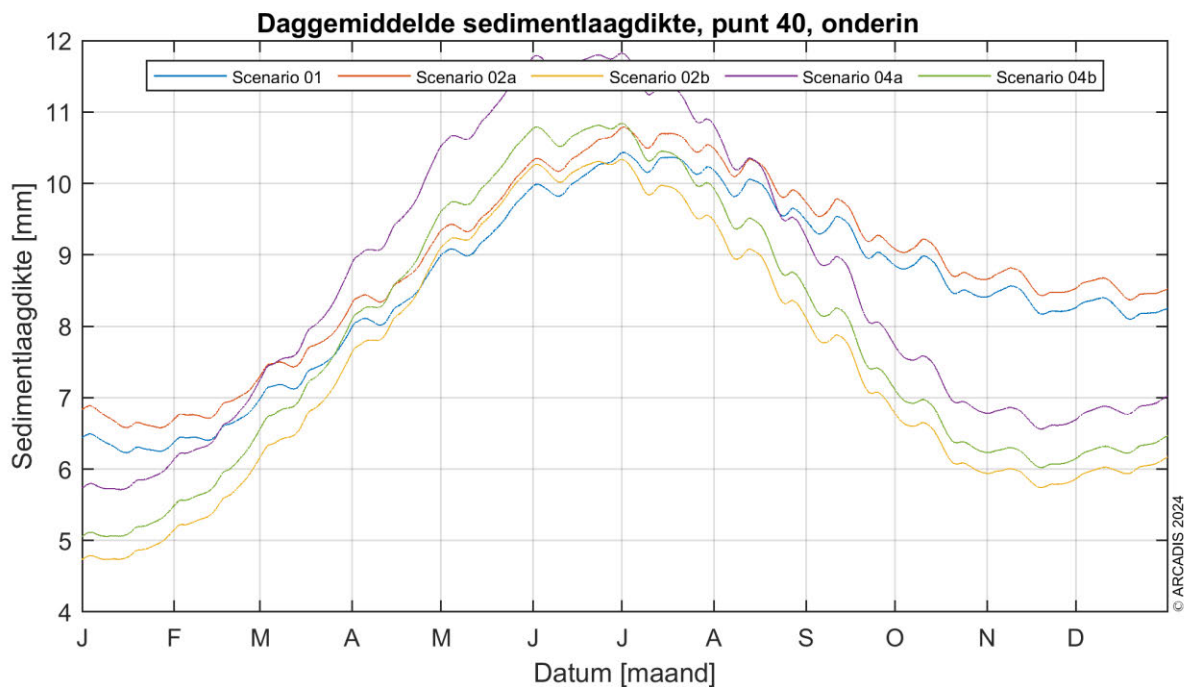
In de wintermaanden (januari en februari) neemt de daggemiddelde sedimentlaagdikte snel toe voor alle scenario's en vertoont deze een periodiciteit die overeenkomt met de springtij-doodtij cyclus. Scenario 2a vertoont een min of meer constant verloop gedurende het jaar, waarbij de sedimentlaagdikte in de zomermaand (bouwvak) en rond Kerst licht afneemt. Scenario 2b vertoont vergelijkbare concentratiewaarden in de winterperiode, maar zakt in de zomerperiode met zo'n 0,3 – 0,5 mm onder scenario 2a. Dit komt doordat er in scenario 2b niet wordt verspreid in de zomerperiode. De referentiesituatie (scenario 1) laat jaarrond nog een constanter beeld zien dan bij scenario 2a; de sedimentlaagdikte blijft ~0,8 mm. Voor de zomerperiode is zichtbaar dat de beoogde volumes voor de nieuwe Wnb-vergunning (scenario 2b) een dunnere sedimentlaagdikte laten zien ten opzichte van het referentiescenario (scenario 1). Tot slot de cumulatie scenario's; deze vertonen grotendeels eenzelfde patroon als scenario 2b, maar dan met een 0 tot 0,1 mm dikkere sedimentatie laag. Aan het begin van februari en maart vertoont scenario 4a nog een tweetal uitschieters tijdens doortij, maar dit erodeert daarna ook weer snel.



Figuur 5-14: Daggemiddelde sedimentlaagdikte in de geul (Gaatje Bocht, punt 45, locatie in Figuur 5-1) voor de verschillende scenario's.

Figuur 5-15 toont de daggemiddelde sedimentlaagdikte voor alle scenario's op de plaat (Hond-Paap). Hier is te zien dat het systeem bijna in evenwicht is: De netto fluctuatie over het jaar bedraagt voor alle scenario's ongeveer 1 mm. Daarnaast vertonen alle scenario's eenzelfde patroon, met een daling van de sedimentlaagdikte in de wintermaanden en een stijging in de zomermaanden. Waar de Dollard en de geul in de zomermaanden juist minder sedimentatie gaven, geeft de plaat hier de hoogste gemiddelde waarde in de zomermaanden. De springt-doodtij cycli zijn ook zichtbaar, in dezelfde mate als in de geul. Dit is echter moeilijk te zien in Figuur 5-15, door de andere schaalverdeling dan in Figuur 5-14.

Alle waarden op de plaat Hond-Paap zijn een factor 5 tot 10 hoger dan in de geul en in de Dollard. Scenario 4a geeft de hoogste piekwaarden. Maar scenario 1 en 2a resulteren in grotere laagdiktes in het najaar en de winter. Scenario 2b heeft jaarrond ongeveer 1 (0 tot 2) mm minder sedimentatie dan scenario 1. Scenario 2b heeft in de zomermaanden ongeveer dezelfde sedimentatie als scenario 1, maar in de wintermaanden fors minder. De cumulatieve scenario's laten opnieuw eenzelfde patroon zien, maar hier is het verschil met scenario 1 kleiner.

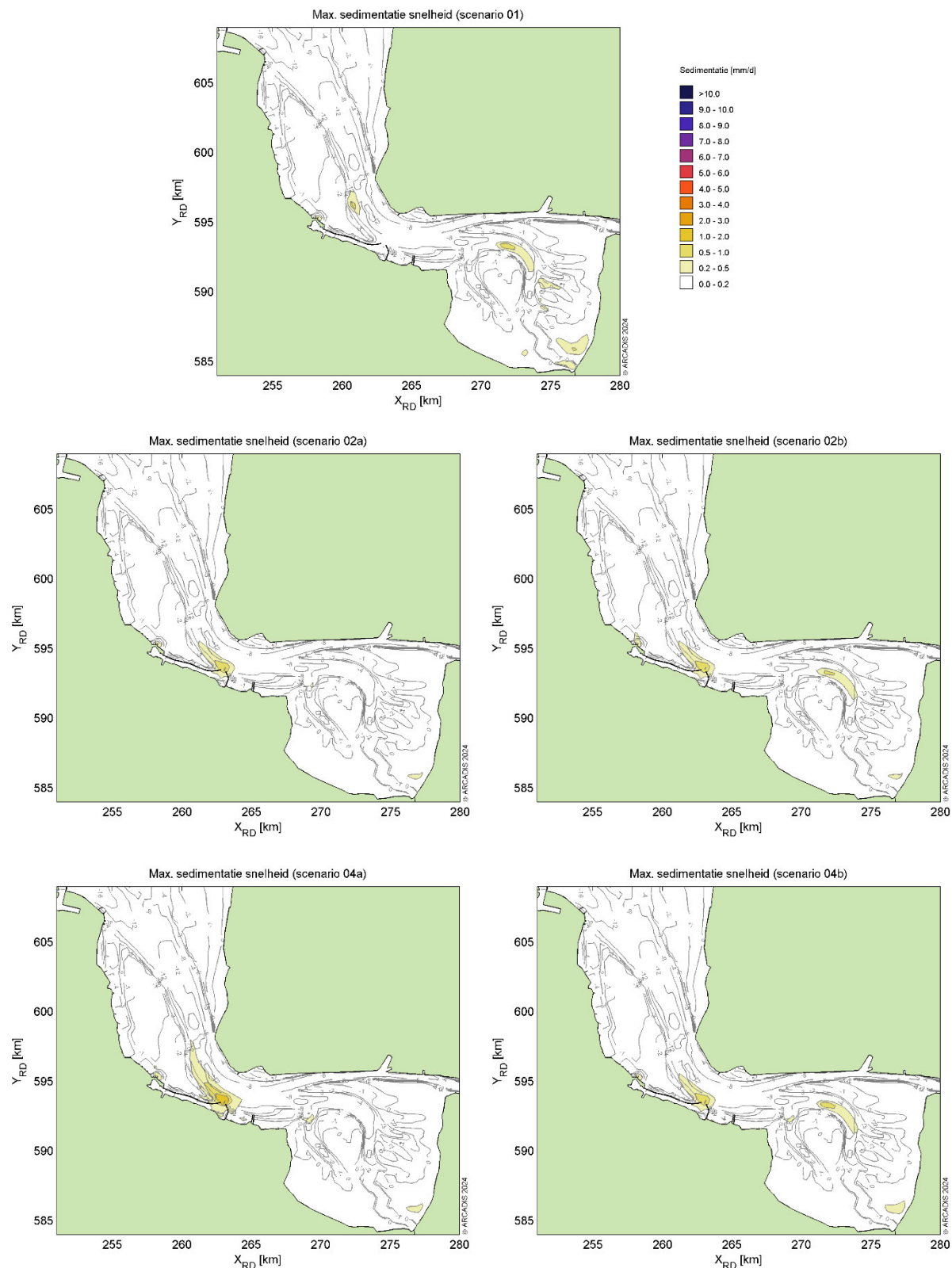


Figuur 5-15: Daggemiddelde sedimentlaagdikte op de plaat (Hond-Paap, punt 40 locatie in Figuur 5-1) voor de verschillende scenario's.

5.3 Sedimentatie snelheid

In Figuur 5-16 is de maximale sedimentatiesnelheid zichtbaar voor scenario 1, 2a, 2b, 4a en 4b. Voor de eerste drie scenario's is zichtbaar dat de snelheid maximaal 1 mm/d is en zelfs bij de cumulatieve scenario's is de snelheid nog altijd maximaal 2 mm/d. Dit is zeer laag. Voor scenario 2a en 3a zijn deze snelheden voornamelijk rond de monding van de haven van Delfzijl zichtbaar en voor scenario 1 is deze maximale snelheid alleen rond de stortlocatie Dollard zichtbaar. Afhankelijk van welk cumulatie scenario beschouwd wordt, vindt de snelste sedimentatie plaats bij de monding van de haven van Delfzijl (4a) of rond beide stortlocaties (4b).

Aangezien de maximale sedimentatiesnelheden zeer laag zijn, lijken deze verder niet van belang voor de ecologische beoordeling en worden hier daarom niet in meer detail beschouwd.



Figuur 5-16: De maximale sedimentatiesnelheid bij scenario 1 (boven), 2a (links midden), 2b (rechts midden), 4a (links onder) en 4b (rechts onder).

6 Conclusies

In deze studie is gekeken naar de slibconcentraties, sedimentatielaagdikte en de sedimentatiesnelheid door het jaar heen voor drie verschillende scenario's. De scenario's zijn als volgt:

- **Scenario 1:** Een simulatie van de baggerwerkzaamheden zoals vergund in 1993 (WVO-vergunning 1993) (theoretische volumes).
- **Scenario 2:** Simulaties van de baggerwerkzaamheden Delfzijl haven;
 - 2a: Huidige baggerwerkzaamheden Delfzijl haven op basis van 2019-2021, en
 - 2b: Baggerwerkzaamheden waarvoor een nieuwe Wnb-vergunning wordt aangevraagd.
- **Scenario 3:** Simulaties van de baggerwerkzaamheden Paapsand Süd.
 - 3a: Huidige baggerwerkzaamheden Paapsand Süd op basis van 2019-2021,
 - 3b: Huidige baggerwerkzaamheden Paapsand Süd op basis van 2019-2031, met in achtneming van de mitigatie maatregelen Delfzijl haven, uitgevoerd met de Airset, en
 - 3c: Huidige baggerwerkzaamheden Paapsand Süd op basis van 2019-2031, met in achtneming van de mitigatie maatregelen Delfzijl haven, uitgevoerd met een sleepopper.
- **Scenario 4:** Cumulaties van scenario's 2 en 3.
 - 4a: cumulatie van scenario 2b en scenario 3b, en
 - 4b: cumulatie van scenario 2b en 3c.

Onderstaand zijn de belangrijkste conclusies van de modelresultaten samengevat waarin de focus ligt op de onderlinge verschillen tussen de scenario's:

- In alle scenario's zijn relatief hoge slibconcentraties zichtbaar op de plaat Hond-Paap en relatief lage in de geulen. Dit doordat het slib kan neerdalen op locaties met een lage stroomsnelheid zoals de platen. Daarnaast is het op de platen ondiep waardoor resuspensie makkelijker kan optreden, en de concentratie dan in de beperkte waterkolom direct relatief hoog is.
- Scenario 2b omvat de baggerwerkzaamheden, zoals opgenomen in de aanvraag voor de nieuwe Wnb-vergunning, met kleinere baggervolumes en met mitigerende maatregelen in de zomer die bestaan uit het niet toepassen van de Airset in de periode mei tot en met september. De mitigerende maatregelen resulteren in een lagere slibconcentratie in de zomer ten opzichte van de andere scenario's. In de geulen en in de Dollard is een directe afname zichtbaar: In de periode waarin minder wordt gebaggerd zijn de concentraties lager. De slibconcentratie op de plaat Hond-Paap nemen pas in juli af en deze vertraagde response is ook zichtbaar in de sedimentlaagdikte. Op de plaat Hond-Paap is in juni de dikste sedimentlaag aanwezig en vanaf juli neemt deze af.
- De baggerwerkzaamheden voor de aanvraag voor de nieuwe Wnb-vergunning (scenario 2b) resulteren in een afname van 5-15 mg/l in de zomer ten opzichte van de huidige vergunde baggerwerkzaamheden (scenario 1). Dit is vooral in de Dollard en in de geulen zichtbaar.
- Wanneer de baggerwerkzaamheden van de afgelopen jaren (2019-2021) (scenario 2a) vergeleken worden met de te baggerwerkzaamheden die zijn voorgenomen (scenario 2b), dan resulteert dit in een afname van 5 tot 10 mg/l in de zomer.
- De mitigerende maatregelen hebben het gewenste effect, deze leiden tot lagere slibconcentraties aan het wateroppervlak van de geulen gedurende de zomermaanden.
- Ook de scenario's waarbij de baggerwerkzaamheden voor Delfzijl haven en Paapsand Süd cumulatief plaatsvinden leidt niet tot een groter effect in de vorm van vertroebeling dan wel sedimentatie in vergelijking met de referentie situatie. Sterker nog, ook bij deze cumulatieve scenario's is nog sprake van een afname van de slibconcentratie in de Dollard. Deze afname is relatief gezien kleiner als de werkzaamheden bij Paapsand Süd met een sleepopper worden uitgevoerd (4b).

7 Bibliografie

- Arcadis. (2013). *Hydromorfologie Eems-Dollard estuarium. Achtergrondstudie t.b.v. OTB MER vaarweg Eemshaven. 077141772:D - Definitief.*
- Arcadis. (2020). *Slibmodelleerstudie Afsluitdijk WID.*
- Arcadis. (2024) *Passende beoordelingen baggerwerkzaamheden onderhoud haven Delfzijl en Paapsand Süd.*
- Becker, e. a. (2014). Estimating source terms for far field dredge plume modelling. *Journal of Environmental Engineering* 149, 282-293.
- Deltares. (2011). *Mud dynamics in the Eems-Dollard, research phase 1. Literature review mud and primary production.*
- Deltares. (2016). *Delft3D-FLOW, Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments.* Delft: Deltares.
- Deltares. (2017). *Hydromorfologische verbeteringen ED2050. Opzet D3S-model.*
- ED2050. (2021). *Meerjarig adaptief programma Eems-Dollard 2050. De toestand van de natuur, de projecten en het programma in 2020.*
- Hartsuiker, e. a. (2007). *Hydromorphological study for EIA of Eemshaven and EIA of fairway Eemshaven.* Rijkswaterstaat, RIKZ, Alkyon Hydraulics Consultancy & Research.
- IMARES. (2015). *Slib en primaire productie in het Eems-estuarium. Een samenvatting van vier jaar meten, modelleren, kennis bundelen en verwerven. .*
- Kessel, V. (2010). *Bedrijfsspecifiek gedeelte Monitoringsplan Groningen Seaports.* Delft: Deltares.
- Partheniades, K. (1965). Erosion and Deposition of Cohesive Soils. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE* 91, 105-139.
- RHDHV & Deltares. (2022). *Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op habitattype H1130 in het Eems estuarium.* RHDHV & Deltares.
- RHDHV. (2018). *Slib in de Waddenzee. Een analyse en verklaring van de langjarige fluctuaties van sedimentconcentraties in water en bodem i.h.k.v. project KRW Slib. Referentie: G2802WATRP1812170918. Status: finale versie.*
- Ter Steege, M. . (2023). *Passende beoordeling onderhoudsbaggerwerkzaamheden Delfzijl.* ATKB.
- Van Es, K. (2021). *Programmaplan; Programma Eems-Dollard 2050.* programma Eems-Dollard 2050.
- Van Rijn, L. (1990). *Principles of Sedimentation and Erosion Engineering in Rivers, Estuaries and Coastal Seas.* Utrecht: Universiteit Utrecht.
- WL | Delft Hydraulics. (2006). *Zwevend Stof Rijn-Maasmonding.* Delft: WL | Delft Hydraulics.

Bijlage A Modelinvoer per scenario: baggerhoeveelheden en actieve uren per maand

In deze bijlage is per scenario een tabel gegeven met de ingezette uren en baggerhoeveelheden van de Airset en sleepopper. De baggerintensiteit van de Airset is licht variabel per scenario, maar zit rond de 735 m³/h. Voor de sleepopper is de baggerintensiteit bij gebruik altijd 433 m³/h in het model. Onderstaand is aangegeven hoe tot de tabellen is gekomen, welke gegevens ontbraken en hoe dit is opgevuld.

Over het algemeen geldt:

- Juli wordt gezien als representatieve periode voor de bouwvak. Er wordt daarom deze maand niet gebaggerd in de simulaties.
- In de decembermaand wordt slechts 50% van de tijd productie gedraaid in de simulaties i.v.m. de Kerstperiode.
- Als onderdeel van de mitigerende maatregelen wordt geen gebruik gemaakt van de Airset in de periode voor primaire productie. Deze loopt van mei tot en met september. Voor de sleepopper is deze periode nog langer; namelijk van maart tot en met september.

Scenario 1: referentiescenario (WVO-vergunning 1993)

De vergunde baggerhoeveelheden per jaar waren bekend uit de WVO-vergunning 1993. Op basis van de baggerapporten uit de jaren '90 is rekening gehouden met de bouwvak en de Kerstperiode.

Scenario 2a: representatieve baggerwerkzaamheden Delfzijl haven, gebaseerd op aanpak afgelopen jaren: 2019 t/m 2021

Het jaarlijks gemiddelde baggerhoeveelheden voor 2019 t/m 2021 is gebaseerd op de baggerapporten. Aangezien er in 2019 t/m 2021 slechts een zeer kleine hoeveelheid baggermateriaal wordt gestort op de locatie 'Dollard' is deze in dit scenario als 0 m³ aangenomen. Het volume is in plaats daarvan verschoven naar de Airset. Het totaal is vervolgens naar boven afgerond. Bij de verdeling van het volume over het jaar is ook hier rekening gehouden met de bouwvak en de Kerstperiode.

Scenario 2b: de baggerwerkzaamheden voor Delfzijl haven waarvoor een nieuwe Wnb-vergunning wordt aangevraagd, inclusief mitigerende maatregelen

De baggerhoeveelheden per jaar waarvoor een nieuwe Wnb-vergunning wordt aangevraagd waren bekend. In navolging van de mitigerende maatregelen is de Airset niet ingezet in de periode mei t/m september en de sleepopper niet in de periode maart t/m september. Tot slot is rekening gehouden met de Kerstperiode. Het te vergunnen baggervolume is vervolgens gelijkmatig verdeeld over de resterende maanden.

Scenario 3a: representatieve baggerwerkzaamheden Paapsand Süd, gebaseerd op aanpak afgelopen jaren: 2019 t/m 2021

Identiek aan scenario 2a, maar dan voor Paapsand Süd. Op basis van de baggerapporten is 100% van het baggervolume gebaggerd met de Airset.

Scenario 3b: de baggerwerkzaamheden voor Paapsand Süd waarvoor een nieuwe Wnb-vergunning wordt aangevraagd, inclusief mitigerende maatregelen (Airset)

Identiek aan scenario 2b, maar dan voor Paapsand Süd. Bij dit scenario is aangenomen dat het volledige te vergunnen baggervolume wordt gebaggerd met de Airset.

Scenario 3c: de baggerwerkzaamheden voor Paapsand Süd waarvoor een nieuwe Wnb-vergunning wordt aangevraagd, inclusief mitigerende maatregelen (sleepopper)

Identiek aan scenario 2b, maar dan voor Paapsand Süd. Bij dit scenario is aangenomen dat het volledige te vergunnen baggervolume wordt gebaggerd met de sleepopper.

Scenario 1	Sleephopper (Dollard)			Sleephopper (BvW alt.)		
	Ingezette uren	Haven Delfzijl [m³]	Paapsand Süd [m³]	Ingezette uren	Haven Delfzijl [m³]	Paapsand Süd [m³]
Jan	198	85714	0	198	85714	0
Feb	198	85714	0	198	85714	0
Mrt	198	85714	0	198	85714	0
Apr	198	85714	0	198	85714	0
Mei	198	85714	0	198	85714	0
Jun	198	85714	0	198	85714	0
Jul	0	0	0	0	0	0
Aug	198	85714	0	198	85714	0
Sep	198	85714	0	198	85714	0
Okt	198	85714	0	198	85714	0
Nov	198	85714	0	198	85714	0
Dec	99	42857	0	99	42857	0
Totaal	2 079	900 000	0	2 079	900 000	0

Scenario 2a	Airset			Sleephopper		
	Ingezette uren	Haven Delfzijl [m³]	Paapsand Süd [m³]	Ingezette uren	Haven Delfzijl [m³]	Paapsand Süd [m³]
Jan	176	129524	0	0	0	0
Feb	176	129524	0	0	0	0
Mrt	176	129524	0	0	0	0
Apr	176	129524	0	0	0	0
Mei	176	129524	0	0	0	0
Jun	176	129524	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0	0
Aug	176	129524	0	0	0	0
Sep	176	129524	0	0	0	0
Okt	176	129524	0	0	0	0
Nov	176	129524	0	0	0	0
Dec	88	64762	0	0	0	0
Totaal	1 850	1 360 000	0	0	0	0

Scenario 2b	Airset			Sleephopper		
	Ingezette uren	Haven Delfzijl [m³]	Paapsand Süd [m³]	Ingezette uren	Haven Delfzijl [m³]	Paapsand Süd [m³]
Jan	230	169231	0	26	11111	0
Feb	230	169231	0	26	11111	0
Mrt	230	169231	0	0	0	0
Apr	230	169231	0	0	0	0
Mei	0	0	0	0	0	0
Jun	0	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0	0
Aug	0	0	0	0	0	0
Sep	0	0	0	0	0	0
Okt	230	169231	0	26	11111	0
Nov	230	169231	0	26	11111	0
Dec	115	84615	0	13	5556	0
Totaal	1 497	1 100 000	0	115	50 000	0

Scenario 3a	Airset			Sleephopper		
	Ingezette uren	Haven Delfzijl [m³]	Paapsand Süd [m³]	Ingezette uren	Haven Delfzijl [m³]	Paapsand Süd [m³]
Jan	26	0	18857	0	0	0
Feb	26	0	18857	0	0	0
Mrt	26	0	18857	0	0	0
Apr	26	0	18857	0	0	0
Mei	26	0	18857	0	0	0
Jun	26	0	18857	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0	0
Aug	26	0	18857	0	0	0
Sep	26	0	18857	0	0	0
Okt	26	0	18857	0	0	0
Nov	26	0	18857	0	0	0
Dec	13	0	9429	0	0	0
Totaal	269	0	198 000	0	0	0

Scenario 3b	Airset			Sleephopper		
	Ingezette uren	Haven Delfzijl [m³]	Paapsand Süd [m³]	Ingezette uren	Haven Delfzijl [m³]	Paapsand Süd [m³]
Jan	28	0	20769	0	0	0
Feb	28	0	20769	0	0	0
Mrt	28	0	20769	0	0	0
Apr	28	0	20769	0	0	0
Mei	0	0	0	0	0	0
Jun	0	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0	0
Aug	0	0	0	0	0	0
Sep	0	0	0	0	0	0
Okt	28	0	20769	0	0	0
Nov	28	0	20769	0	0	0
Dec	14	0	10385	0	0	0
Totaal	184	0	135 000	0	0	0

Scenario 3c	Airset			Sleephopper		
	Ingezette uren	Haven Delfzijl [m³]	Paapsand Süd [m³]	Ingezette uren	Haven Delfzijl [m³]	Paapsand Süd [m³]
Jan	0	0	0	69	0	30000
Feb	0	0	0	69	0	30000
Mrt	0	0	0	0	0	0
Apr	0	0	0	0	0	0
Mei	0	0	0	0	0	0
Jun	0	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0	0
Aug	0	0	0	0	0	0
Sep	0	0	0	0	0	0
Okt	0	0	0	69	0	30000
Nov	0	0	0	69	0	30000
Dec	0	0	0	35	0	15000
Totaal	0	0	0	312	0	135 000

Colofon

VERGELIJKING BAGGER- EN VERSPREIDINGSSCENARIO'S DELFIJL
SLIBMODELLERING T.B.V. BEOORDELING ECOLOGISCHE EFFECTEN

KLANT

Groningen Seaports & Rijkswaterstaat Noord-Nederland Oost

AUTEUR

en

PROJECTNUMMER

30190516

ONZE REFERENTIE

FFA4SA3YX7KC-2002945549-4977:0.1

DATUM

23 januari 2024

STATUS

Concept

GECONTROLEERD DOOR

VRIJGEGEVEN DOOR

Senior Specialist

Senior Specialist

Over Arcadis

Arcadis is de leidende wereldwijd opererende ontwerp- en consultancyorganisatie op het gebied van de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij helpen onze klanten en de maatschappij met doeltreffende, duurzame en digitale oplossingen. Wij zijn met 36.000 mensen actief die in ruim zeventig landen meer dan €4,2 miljard aan omzet genereren. Wij helpen UN-Habitat met onze mensen, die kennis en expertise leveren om de moeilijke leefomstandigheden te verbeteren in gebieden die lijden onder de gevolgen van klimaatverandering.

www.arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland

T +31 (0)88 4261 261