

Abiotische effecten baggeren en verspreiden in de Waddenzee

Vorbereidende studie voor het opstellen van het tweede Natura2000 beheerplan Waddenzee



Abiotische effecten baggeren en verspreiden in de Waddenzee

Vorbereidende studie voor het opstellen van het tweede Natura2000 beheerplan Waddenzee

Auteur(s)

Lynrd de Wit

Bart Grasmeyer

Thijs van Kessel

Nathalie Dees

Carlijn Meijers

Ellen Quataert

Abiotische effecten baggeren en verspreiden in de Waddenzee

Vorbereidende studie voor het opstellen van het tweede Natura2000 beheerplan Waddenzee

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Freek Brils
Referenties	WVH07 2024 Kennis voor Beheer en Onderhoud Waddenzee
Trefwoorden	Waddenzee, baggeren, verspreiden, Natura2000, morfologie, abiotiek

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	8 oktober 2024
Projectnummer	11210370-014
Document ID	11210370-014-ZKS-0001
Pagina's	138
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Lynyrd de Wit	
	Bart Grasmeijer	
	Thijs van Kessel	
	Nathalie Dees	
	Carlijn Meijers	
	Ellen Quataert	

Samenvatting

De vaargeulen in de Waddenzee zijn van cruciaal belang voor de toegankelijkheid van de (veer-)havens in het waddengebied en de eilanden. Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor de bagger- en verspreidingswerkzaamheden in de Waddenzee om de vaarwegen op de vereiste breedte en diepte te houden. Daarnaast worden veel havens in de Waddenzee gebaggerd door lokale beheerders. Deze bagger- en verspreidingswerkzaamheden hebben invloed op het (eco)systeem van de Waddenzee, een Natura 2000 gebied met een unieke natuurwaarde. Om de impact op de beschermde habitats en soorten te beperken zijn voorwaarden opgenomen in het Natura 2000-Beheerplan Waddenzee waaronder vergunningsvrij gebaggerd en verspreid kan worden. De evaluatie van het eerste beheerplan en de toegenomen kennis over de effecten van baggeren en verspreiden geven aanleiding om deze impact beter in beeld te brengen met het oog op het N2000-Beheerplan van de Waddenzee voor 2028 - 2033.

Het voorliggende rapport is voorbereidend werk voor het opstellen van een activiteitentoets horend bij de actualisatie van het Natura 2000 beheerplan t.a.v. de activiteit baggeren en verspreiden. Het beoogt een overzicht te geven van de effecten van baggeren en verspreiden op meerdere niveaus (individuele geulen, kombergingsgebied en de gehele Waddenzee). Tevens komt het tegemoet aan de vraag om, op basis van de abiotische kennis en inzichten, aanbevelingen te doen voor optimalisatie van de baggerstrategie en voor kaderstellende voorwaarden die in het geactualiseerde N2000 beheerplan terecht kunnen komen.

Voor elk schaalniveau geeft dit rapport een overzicht van (1) de belangrijkste morfologische ontwikkelingen en trends, (2) de baggercijfers en trends, (3) de baggerinspanning uitgewerkt naar ruimte, tijd, methode en sedimentsamenstelling en, (4) de potentiële abiotische impact van het baggeren. Dit alles is samengevoegd in een synthese om te beoordelen hoe groot de abiotische beïnvloeding is en welke mogelijkheden er zijn om deze te verminderen.

Het totale jaarlijkse baggeronderhoud in de Waddenzee is meer dan 10 miljoen m³, waarvan ca. de helft in de Eems-Dollard plaatsvindt (exclusief Duitse baggerwerkzaamheden). Met uitzondering van de Eems-Dollard zijn uitgevoerde en in stand gehouden geulverdiepingen lokaal (bij drempels en bij geuluiteinden) en heeft het grootste deel van de getijgeulen nog een natuurlijke diepte. Lokaal leidt het creëren van overdiepte (in de vaargeulen) en luwte (in de havens) tot een grote baggeropgave. De impact van de baggerwerkzaamheden uit zich onder anderen in bodemberoering, een toenemende vertroebeling en (bij vaargeulen) permanente beïnvloeding van de morfologische evolutie. De baggeropgave zal op de langere termijn waarschijnlijk toenemen door afname van de kombergingsvolumes, vanwege het groeien van platen, terwijl de vraag naar diepere vaargeulen en voldoende havencapaciteit groot blijft. Dit speelt het sterkst bij de Boontjes en de vaargeul Holwerd – Ameland. Andere knelpunten met omvangrijk onderhoud zijn de marinehavens bij Den Helder, de haven van Harlingen en de vaargeulen en havens in de Eems-Dollard.

Ten aanzien van optimalisatie van de baggerstrategie en kaderstellende voorwaarden zijn de volgende aanbevelingen geformuleerd:

- *Optimalisatie van ontwerp vaargeulen*
Momenteel is dynamisch meebewegen met het natuurlijk gedrag een speerpunt. Dit kan tijdelijk en lokaal de scherpe randen van het baggeronderhoud wegnemen, de efficiëntie iets verhogen en de morfologische en ecologische effecten iets beperken. Optimalisatie van het ontwerp van de vaargeulen is in een natuurlijke en dynamische omgeving als de Waddenzee echter moeilijk en vraagt veel gebiedskennis en doorlopende monitoring.
- *Optimalisatie van de verspreiding van baggerspecie*
De locatiekeuze voor verspreiding is een belangrijke stuurknop. De keuze hangt af van het type specie (zand- of slibrijk) en aanvullende doelstellingen, zoals lokaal sedimentbehoud (om de groei van platen en kwelders te stimuleren) of juist sterke dispersie (om retourstroming te beperken). De optimalisatie verschilt per kombergingsgebied en vraagt om maatwerk, bijvoorbeeld door het toepassen van morfologische en/of slibtransportmodellen met hoge resolutie om relevante processen te reproduceren. Hiervoor is een koppeling met monitoring, door het beter vastleggen van baggergegevens, noodzakelijk.
- *Toepasbaarheid van een volumelimiet voor onderhoudsbaggerwerk*
Het stellen van ecologische grenzen is effectiever dan een limiet voor het baggervolume. De effecten van baggerwerk zijn namelijk ook afhankelijk van de dynamiek van de locatie, dichtheid en samenstelling van de baggerspecie en afhankelijk van baggertechnieken (agitatie geeft bijvoorbeeld een lager baggervolume, maar meer impact door hogere troebelheid). Het stellen van seizoensgrenzen i.p.v. jaargrenzen kan helpen om ecologische effecten te beperken. Het baggervolume is een nuttige indicator, maar dan wel uitgesplitst naar zand en slib en omgerekend naar het aantal tonnen droge stof (TDS). Ook hiervoor is een betere, overzichtelijke en uniforme registratie van de baggerinspanning noodzakelijk.
- *Sturen op de inzet van baggertechnieken*
Het beheerplan kan de inzet van baggertechnieken specificeren. De voorkeur voor een baggertechniek is afhankelijk van het doel. Dit kan beperking van het baggervolume zijn, maar kan ook een maximalisatie of juist beperking van de dispersiesnelheid zijn (in verband met vertroebeling en retourstroming). Reductie van kosten en energieverbruik, minimalisering van verstoring of maximalisering van operationele flexibiliteit zijn ook mogelijke doelstellingen.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	9
1.1	Achtergrond	9
1.2	Doel van de studie	11
1.3	Aanpak en leeswijzer	11
2	Morfologische ontwikkeling	13
2.1	Waddenzee algemeen	14
2.1.1	Vooruitblik: situatie bij versnelde zeespiegelstijging	15
2.2	Kombergingsgebied Marsdiep	16
2.2.1	Ontwikkeling bekken	16
2.2.2	Morfologische ontwikkeling baggerlocaties	18
2.2.2.1	Ontwikkeling Boontjes	18
2.2.3	Ontwikkeling ecotopen op baggerlocaties	20
2.3	Kombergingsgebied Vlie	22
2.3.1	Ontwikkeling bekken	22
2.3.2	Morfologische ontwikkeling baggerlocaties	24
2.3.2.1	Slenk	24
2.3.2.2	Blauwe Slenk	25
2.3.2.3	Geul langs Pollendam en Kimstergat	27
2.3.3	Ontwikkeling ecotopen op baggerlocaties	29
2.4	Kombergingsgebied Borndiep	30
2.4.1	Ontwikkeling bekken	30
2.4.2	Morfologische ontwikkeling baggerlocaties	32
2.4.2.1	Ontwikkeling Holwerd – VA13	32
2.4.2.2	Ontwikkeling VA9 – VA13	34
2.4.3	Ontwikkeling ecotopen op baggerlocaties	35
2.5	Friesche Zeegat	36
2.5.1	Ontwikkeling bekken	36
2.5.2	Morfologische ontwikkeling baggerlocaties	38
2.5.2.1	Ontwikkeling Zoutkamperlaag	38
2.5.2.2	Ontwikkeling Glinder	40
2.5.3	Ontwikkeling ecotopen op baggerlocaties	41
2.6	Eems – Dollard	42
2.6.1	Ontwikkeling bekken	43
2.6.2	Ontwikkeling ecotopen op baggerlocaties	44
2.7	Troebelheid	46
2.7.1	Concentraties en natuurlijke variatie	46
2.7.2	Ruimtelijke verspreiding	48
3	Baggeractiviteiten	50
3.1	Inleiding en achtergrondinformatie	50
3.1.1	Opzet van het hoofdstuk	50

3.1.2	Toegepaste bagger- en verspreidingsmethodes	50
3.1.3	Expert judgement ecologische impact bagger- en verspreidingsmethodes	52
3.1.4	Kanttekening methodiek registratie baggercijfers	57
3.1.5	In deze studie gebruikte baggervolumes	58
3.2	Waddenzee en Eems-Dollard algemeen	60
3.3	Marsdiep	61
3.3.1	Actuele baggercijfers en verwachte trends	61
3.3.2	Uitwerking baggerinspanning naar ruimte, tijd, bagger- en verspreidingstechniek en sedimentsamenstelling	64
3.3.3	Potentiële abiotische impact van de verschillende bagger- en verspreidingstechnieken	68
3.4	Vlie	71
3.4.1	Actuele baggercijfers en verwachte trends	71
3.4.2	Uitwerking baggerinspanning naar ruimte, tijd, bagger- en verspreidingstechniek en sedimentsamenstelling	74
3.4.3	Potentiële abiotische impact van de verschillende bagger- en verspreidingstechnieken	76
3.5	Borndiep	78
3.5.1	Actuele baggercijfers en verwachte trends	78
3.5.2	Uitwerking baggerinspanning naar ruimte, tijd, bagger- en verspreidingstechniek en sedimentsamenstelling	83
3.5.3	Potentiële abiotische impact van de verschillende bagger- en verspreidingstechnieken	86
3.6	Friesche Zeegat	88
3.6.1	Actuele baggercijfers en verwachte trends	88
3.6.2	Uitwerking baggerinspanning naar ruimte, tijd, bagger- en verspreidingstechniek en sedimentsamenstelling	90
3.6.3	Potentiële abiotische impact van de verschillende bagger- en verspreidingstechnieken	93
3.7	Eems-Dollard	95
3.7.1	Actuele baggercijfers en verwachte trends	95
3.7.2	Uitwerking baggerinspanning naar ruimte, tijd, bagger- en verspreidingstechniek en sedimentsamenstelling	97
3.7.3	Potentiële abiotische impact van de verschillende bagger- en verspreidingstechnieken	100
4	Synthese	102
4.1	Inleiding	102
4.2	Methodiek	104
4.3	Marsdiep	105
4.3.1	Lokale effecten op korte tijdschaal	105
4.3.2	Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden	105
4.3.3	Knelpunten	106
4.4	Vlie	107
4.4.1	Lokale effecten op korte tijdschaal	107
4.4.2	Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden	107
4.4.3	Knelpunten	108
4.5	Borndiep	109

4.5.1	Lokale effecten op korte tijdschaal	109
4.5.2	Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden	109
4.5.3	Knelpunten	110
4.6	Friesche Zeegat	111
4.6.1	Lokale effecten op korte tijdschaal	111
4.6.2	Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden	111
4.6.3	Knelpunten	112
4.7	Eems-Dollard	112
4.7.1	Lokale effecten op korte tijdschaal	112
4.7.2	Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden	112
4.7.3	Knelpunten	113
4.8	Gehele Waddenzee	113
4.8.1	Synthese relatief effect baggeren en verspreiden	113
4.8.2	Mogelijkheden tot verminderen van effecten	114
	Referenties	118
	Bijlagen	124
A	Aanbeveling verbetering registratie baggercijfers	125
B	Potentiële alzijdige invloedsafstand van pluimvorming door baggeren en verspreiden in relatie tot de ecotopenkaart en locaties van mossel-, oesterbanken en zeegras	127
B.1	Marsdiep	127
B.2	Vlie	130
B.3	Borndiep	132
B.4	Friesche Zeegat	135

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Context van dit rapport

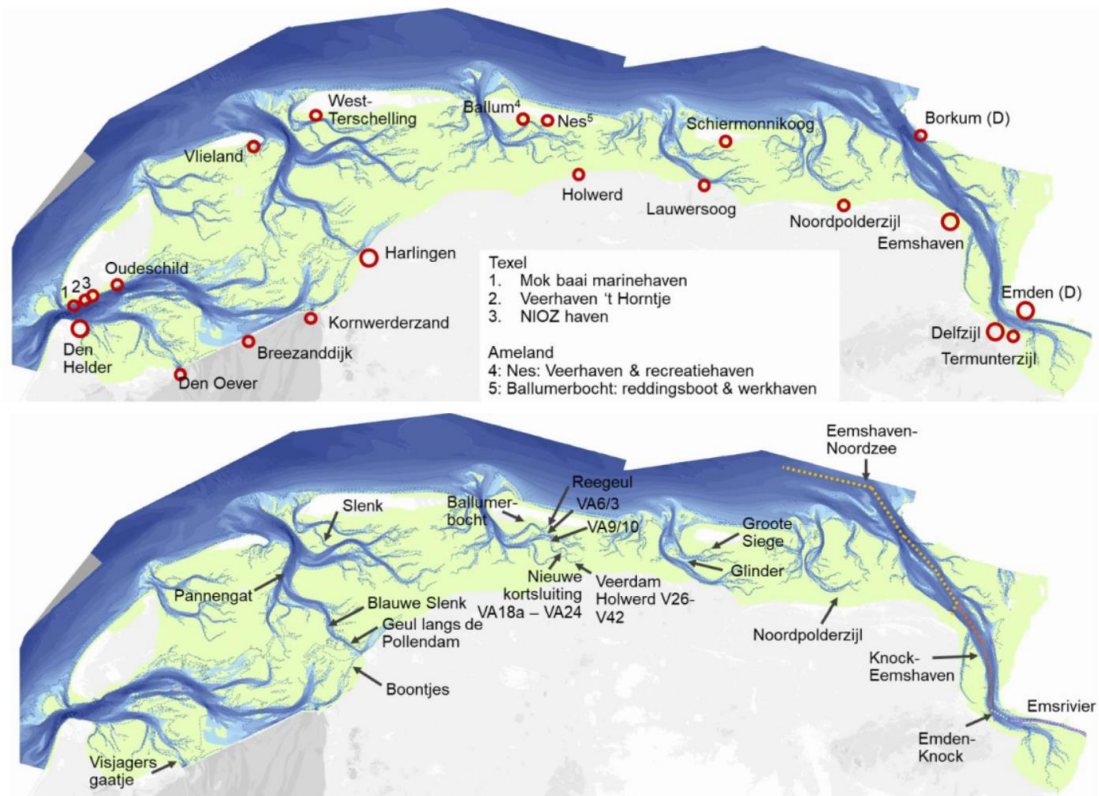
Deze studie is voorbereidend werk voor de actualisatie van het beheerplan voor de Waddenzee, wat beoogt het beheer met de nieuwste inzichten uit te kunnen voeren. Doel van dit rapport is de effecten van baggeren en verspreiden op verschillende niveaus (individuele geul, kombergingsgebied en gehele Waddenzee) in beeld te brengen. De kennis moet gebruikt kunnen worden bij ecologische effectenstudies in dienst van het geactualiseerde beheerplan. Tevens is gevraagd om, op basis van de abiotische kennis en inzichten, aanbevelingen te doen voor optimalisatie van de baggerstrategie en kaderstellende voorwaarden die in het N2000 beheerplan terecht kunnen komen.

Inhoudelijke achtergronden

De vaargeulen in de Waddenzee en de havens zijn van cruciaal belang voor de toegankelijkheid van de Waddeneilanden en het vasteland. De Waddenzee is een dynamisch gebied met veel waterbeweging en sedimenttransport. In de grotere havens moet structureel gebaggerd worden en op diverse plaatsen in de vaargeulen vindt sedimentatie plaats waardoor de vaargeulen van nature niet de vereiste breedte en diepte zouden hebben voor de bereikbaarheid zoals is afgesproken in het Nationaal Waterprogramma. Om ervoor te zorgen dat het scheepvaartverkeer soepel kan blijven verlopen, worden deze ondieptes regelmatig gebaggerd. Rijkswaterstaat is de opdrachtgever voor de uitvoering van bagger- en verspreidingswerkzaamheden voor de vaarwegen in de Waddenzee. Daarnaast onderhouden verschillende havenschappen en gemeenten de diverse havens gelegen in de Waddenzee.

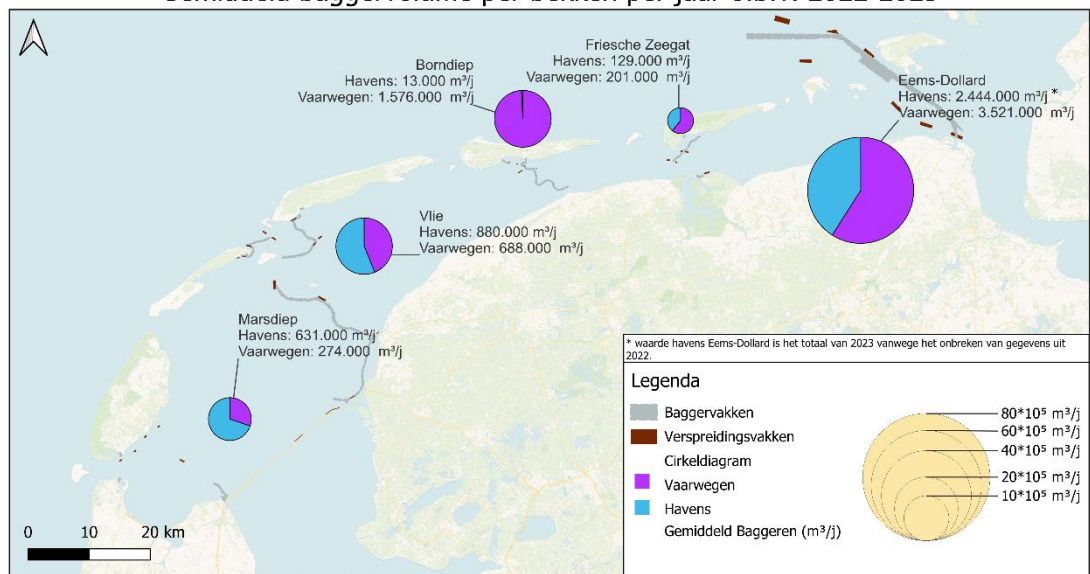
Figuur 1.1 toont de geulen en de havens waar gebaggerd wordt in de Waddenzee en Eems-Dollard. Figuur 1.2 toont de jaarlijkse baggervolumes in de Waddenzee en Eems-Dollard gemiddeld over de periode 2022-2023 in een ruimtelijk overzicht voor alle deelgebieden. Uit dit overzicht blijkt dat het gaat om een baggerinspanning van vele miljoenen m³ per jaar en dat er in de meeste deelgebieden meer dan een miljoen m³ per jaar wordt gebaggerd, met als uitzondering het Friesche Zeegat waar enkele honderd duizenden m³ per jaar gebaggerd wordt.

Het baggeren en verspreiden heeft invloed op de omgeving vanwege o.a. de aanwezigheid van schepen, geluidsproductie, uitstoot, het beroeren van de bodem en vertroebeling in de waterkolom. Zowel het baggeren als het verspreiden van baggerspecie kan effect hebben op het ecosysteem. Het vaargeulonderhoud in de Waddenzee is samen met het verspreiden van de daarbij vrijkomende baggerspecie in het huidige Natura 2000-Beheerplan Waddenzee vrijgesteld van vergunningverlening in het kader van de Wet Natuurbescherming. Voor deze activiteiten zijn specifieke voorwaarden opgenomen in bijlage B3.3.1 van het Natura 2000-Beheerplan Waddenzee om de impact op de beschermde habitats en soorten te beperken. Hier ligt een Passende Beoordeling aan de grondslag. De situatie van baggerwerkzaamheden ten tijde van vaststelling van het Beheerplan is daarbij uitgangspunt.



Figuur 1.1 Overzichtskaarten baggerlocaties: havens (rode cirkels in bovenste figuur) en de geulen (onderste figuur), in de Waddenzee en Eems-Dollard (overgenomen uit Waddenacademie, 2024).

Gemiddeld baggervolume per bekken per jaar o.b.v. 2022-2023



Figuur 1.2 Overzichtskaart met de baggervolumes per bekken in de Waddenzee en Eems-Dollard (gemiddeld per jaar over de periode 2022-2023), o.b.v. data uit de Jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023.

Rijkswaterstaat is bezig met het actualiseren van het N2000 beheerplan van de Waddenzee voor 2028. De resultaten van de evaluatie van het eerste beheerplan en de veranderde situatie op een aantal locaties in de Waddenzee sinds de laatste passende beoordeling voor baggeren en verspreiden, geven aanleiding om de effecten van de bodemberoerende activiteiten zoals baggeren en verspreiden op habitats en soorten beter in beeld te brengen. De evaluatie van het beheerplan laat zien dat de instandhoudingsdoelstellingen voor onder andere H1110A nog niet bereikt is en dat bodemberoerende activiteiten de kwaliteitsverbetering van het habitatype in de weg staat. Verder zijn er inmiddels meer wetenschappelijke inzichten over de effecten van baggeren en verspreiden.

1.2 Doel van de studie

1. Aanleveren van feiten voor actualisatie van het beheerplan

Het doel van het voorliggende rapport is het beschrijven van nieuwe kennis en inzichten die gerelateerd zijn aan abiotische ontwikkelingen en trends m.b.t.: baggerhoeveelheden, baggertechnieken, het waddensysteem zelf en het in beeld brengen en meer kwantificeren van effecten van de activiteit óp het waddensysteem. Uitgangspunt hierbij is het verschil in inzichten ten opzichte van de kennis gebruikt voor het beheerplan N2000 in 2016, met de daarmee samenhangende Passende Beoordeling voor het baggeren en verspreiden. Het doel is om hiermee de meest recente en best beschikbare wetenschappelijke informatie op een consistente manier te beschouwen ten behoeve van het opstellen van de activiteitentoets baggeren en verspreiden in het Natura 2000 beheerplan proces. Hiervoor is ook een ecologische effectenstudie nodig, welke gebeurt in een deels parallel traject. De effectenstudie en voorliggende abiotische studie samen zijn input voor de toets voor het beheerplan t.a.v. de activiteit 'baggeren en verspreiden'. De tijdsafbakening voor deze studies is het volgende beheerplan (2028) en de daarop volgende beheerplanperiodes (6+6 jaar: 2034 en 2040) met een doorkijk naar 2050.

2. Aanbevelingen voor optimalisatie baggerstrategie en kaderstellende voorwaarden

Een aanvullende vraag tijdens de totstandkoming van dit rapport was om, op basis van de abiotische kennis en inzichten, aanbevelingen te doen voor optimalisatie van de baggerstrategie en kaderstellende voorwaarden die in het N2000 beheerplan terecht kunnen komen.

1.3 Aanpak en leeswijzer

Het onderzoek is opgedeeld in 3 onderdelen::

1 Beschrijving van de actuele morfologische toestand en autonome ontwikkeling (hoofdstuk 2)

Per kombergingsgebied waarin baggeronderhoud plaatsvindt (Marsdiep, Vlie, Borndiep, Friesche Zeegat en Eems-Dollard) worden de belangrijkste morfologische ontwikkelingen en trends beschreven, die relevant zijn voor het vaargeulbeheer. Vervolgens wordt er op een kleiner schaalniveau gekeken naar de morfologische ontwikkeling van de vaarwegen met een hoog baggerbezwaar of gebieden die zich in de toekomst potentieel tot knelpunt kunnen ontwikkelen.

2 Beschrijving baggeractiviteiten en verwachte trends (hoofdstuk 3)

In dit onderdeel wordt per kombergingsgebied een overzicht gegeven van de baggercijfers en trends hierin, een uitwerking van de baggerinspanning naar ruimte, tijd, methode en sedimentsamenstelling en een indicatie van de potentiële abiotische impact van het baggeren. Dit geeft een meer kwantitatief en actueel beeld van de activiteit van baggeren en verspreiden. Zowel de baggerinspanning door Rijkswaterstaat als door de havens wordt meegenomen.

3 Synthese (hoofdstuk 4)

In het eerste deel van de synthese worden de resultaten van onderdelen 1 en 2 samengevoegd om te beoordelen hoe groot de abiotische beïnvloeding is op kombergingsniveau. Hierbij worden, op basis van de ervaring met eerdere ecologische beoordelingen, de volgende abiotische parameters beschouwd als maat voor de habitataantasting:

- *Toename van de vertroebeling in de waterkolom:* Belangrijk in verband met het lichtklimaat, de primaire productie en het doorzicht.
- *Toename van de sedimentatiesnelheid aan de bodem:* Relevant in verband met bedekking van de bodem.
- *Invloed op de morfologische ontwikkeling van de (vaar)geulen.*
- *Lokale verstoring in bagger- en verspreidingsvakken:* Dit betreft de aanwezigheid van het baggerschip en de lokale bodemberoering.

In het tweede deel van de synthese (sectie 4.8) worden op de schaal van de hele Waddenzee en Eems-Dollard de mogelijkheden besproken om de effecten van baggeren en verspreiden te verminderen. Het doel daarvan is een aanzet te doen naar aanbevelingen voor optimalisatie van de baggerstrategie en kaderstellende voorwaarden die in het N2000 beheerplan terecht kunnen komen.

2 Morfologische ontwikkeling

Dit hoofdstuk bespreekt de actuele morfologische toestand en autonome ontwikkeling per kombergingsgebied, op basis van literatuur. Deze natuurlijke variaties en trends vormen de context waarin de invloed van baggeren en verspreiden (zie Hoofdstuk 3) kan worden beoordeeld. Na een sectie over de Waddenzee als geheel (2.1) volgen secties voor alle kombergingsgebieden met significante baggerwerkzaamheden (Marsdiep, Vlie, Borndiep, Friesche Zeegat en de Eems-Dollard) worden de belangrijkste morfologische ontwikkelingen besproken die relevant zijn voor het vaargeulbeheer. In het Eierlandse Gat en Groninger en Lauwers Wad wordt niet gebaggerd. Deze gebieden zijn hier daarom niet beschouwd.

De trends in kombergingsvolume, sedimentimport of -export en de ontwikkeling van arealen zijn indicatoren voor de ontwikkeling van de vaargeulen. Een afnemend kombergingsvolume kan leiden tot een kleinere evenwichtsdoorsnede van geulen, omdat er bij elk getij minder water door de geul stroomt (het debiet neemt af). Om de veranderingen in kombergingsvolume te bepalen wordt voor ieder bekken de volumebalans beschouwd: is er sprake van netto import of export van sediment? Ook andere factoren die het lokale kombergingsvolume beïnvloeden, zoals de migratie van wantijen, kwelderuitbreiding, afsluitingen en landaanwinningen, worden bekeken.

Naar verwachting zijn de ecologische effecten van baggeren groter in laagdynamische gebieden, waar gevoelige soorten met langere hersteltijd voorkomen. Bovendien ligt de grootste potentie voor habitatherstel vanuit het oogpunt van Natura 2000 in deze laagdynamische gebieden. Om in een later stadium de ecologische effecten van de baggerwerkzaamheden te kunnen beschrijven, wordt in kaart gebracht of de gebaggerde gebieden hoog- of laagdynamisch zijn. Dit gebeurt aan de hand van de Ecotopenkaart: een gebied wordt geclassificeerd als laagdynamisch wanneer de maximale stroomsnelheid lager is dan 0.8 m/s en de orbitaalsnelheid lager dan 0.25 m/s (Rijkswaterstaat, 2021). Omdat de Ecotopenkaart een momentopname is, worden de ontwikkelingen in de verdeling van slib en het aandeel van slibsedimentatie in de totale sedimentatie beschreven om de trends te bepalen (worden gebaggerde gebieden dynamischer of juist minder dynamisch).

Voor elk kombergingsgebied wordt, na een beschrijving van de algemene ontwikkelingen, ingezoomd op de ontwikkeling van de vaarwegen die het meest relevant zijn voor de baggerwerkzaamheden. Dit zijn geulen met een hoog baggerbezwaar of gebieden die zich in de toekomst tot knelpunt kunnen ontwikkelen. Voor elk van deze vaarwegen wordt de morfologische ontwikkeling beschreven. Waar van toepassing wordt beschreven wat bekend is over de effecten van baggeren op de lokale morfologie. De algemene dynamiek van een bekken wordt niet of nauwelijks beïnvloed door het baggeren (Waddenacademie, 2024). Uitzonderingen daarop zijn gebieden waar structureel grote hoeveelheden worden gebaggerd over een langere afstand, zoals de vaarweg Holwerd – Ameland en het Eems-estuarium. Daar worden lokale omstandigheden in termen van stroomsnelheden en slibconcentratie gedomineerd door de gevolgen van het baggeren (Arcadis, 2024).

Tot slot geeft dit hoofdstuk een overzicht van de natuurlijke achtergrondconcentraties en de mate van natuurlijke variatie van SPM (Suspended Particle Matter). Met deze context kan de door baggeren veroorzaakte vertroebeling in perspectief worden geplaatst van de natuurlijk aanwezige concentraties en waar mogelijk gekwantificeerd.

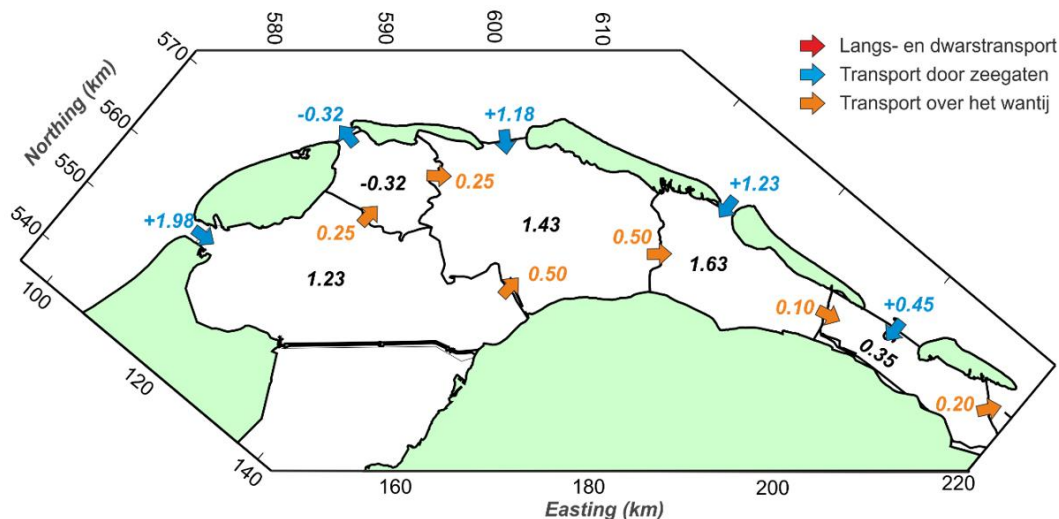
2.1 Waddenzee algemeen

De ontwikkelingen van de kombergingsgebieden vinden plaats in de grotere context van de morfologische ontwikkeling van de Waddenzee. In veel kombergingsgebieden worden vergelijkbare trends waargenomen. De belangrijkste trends op de tijdschaal van de laatste decennia worden hier kort besproken.

In vrijwel alle bekkens (behalve het Eierlandse Gat) is sprake van netto sedimentatie, waardoor de kombergingsvolumes kleiner worden (Figuur 2-1; Deltares 2019). Ook in de Eems-Dollard is sprake van een sterke netto sedimentimport. Deze netto sedimentatie leidt tot ‘verlanding’ van de Waddenzee en Eems-Dollard: het areaal platen neemt toe in vrijwel alle bekkens, het areaal geulen neemt af en de evenwichtsdoorsnedes van geulen worden kleiner door het afnemende kombergingsvolume. Hoewel de gevolgen per bekken en per geul verschillen, leidt deze trend in diverse gevallen tot een kleinere natuurlijke diepgang van vaargeulen en daarmee een groter baggerbezwaar op deze geulen op diepte te houden.

In de gehele Waddenzee is een trend zichtbaar waarbij sedimentatie vooral langs de vastelandskust plaatsvindt en erosie dichterbij de eilanden. Hierdoor nemen vooral de lokale kombergingsvolumes van geulstarten die naar (veer)havens op het vasteland leiden (zoals Harlingen of Holwerd) nog sneller af dan de kombergingsvolumes van de volledige bekkens.

Ruim een kwart van het geïmporteerde volume bestaat uit slib (27% voor de westelijke Waddenzee, 15% voor het Amelander en Friesche zeegat (exclusief kweldersedimentatie), en 40% voor het Groninger Wad en de Eems-Dollard (Deltares 2020b)). Slibsedimentatie vindt met name plaats langs de vastelandskust en op laagdynamische platen. Het aandeel slib in de totale sedimentatie neemt overal in de Waddenzee toe (Deltares 2020b).



Figuur 2-1 Overzicht van het zandbalansmodel representatief voor de huidige trends (1991-2015), uitwerking op schaal van de zeegaten, gecorrigeerd voor baggeren, verspreiden, bodemdaling en overige winst- en verliesposten. Getallen geven volumeveranderingen in miljoen m³/jr. (Figuur 7.3d uit Deltares 2019).

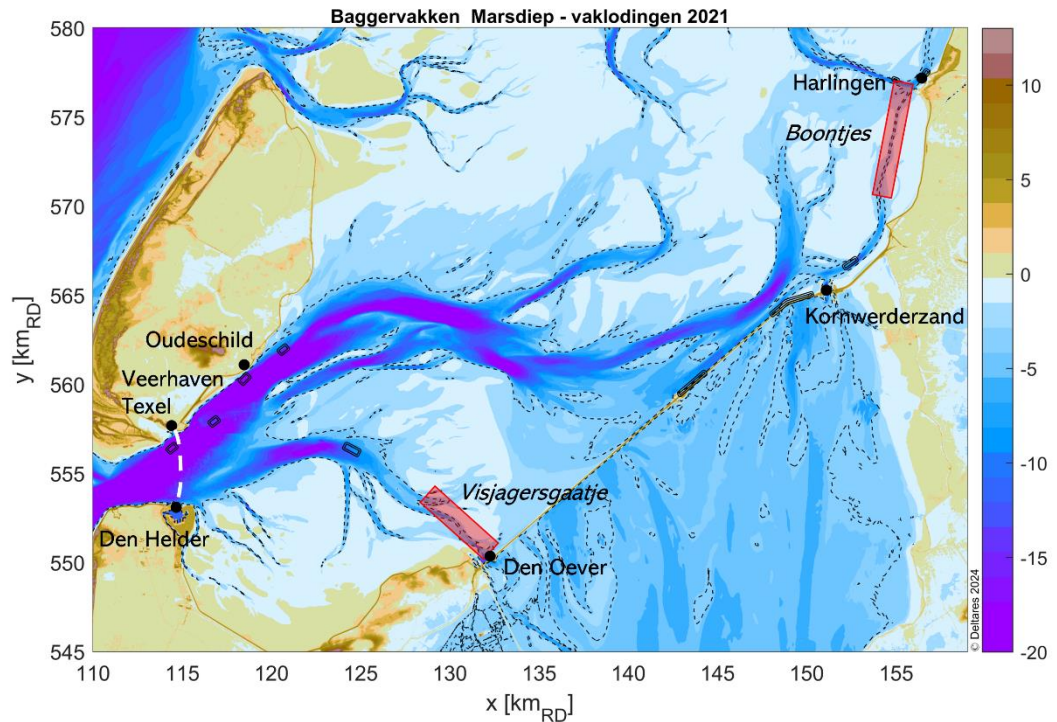
2.1.1 **Vooruitblik: situatie bij versnelde zeespiegelstijging**

Momenteel zijn de sedimentatiesnelheden in de Waddenzee hoger dan de zeespiegelstijging, wat resulteert in de hierboven beschreven trend van verlanding. Een stijging van de zeespiegel kan tot op zekere hoogte worden gecompenseerd met een natuurlijke aanvoer van sediment: het meegroeivermogen (Deltares 2021f).

Uit verschillende studies blijkt dat de komende decennia (tot 2050) de huidige trend van sedimentatie sterker is dan een versnellende zeespiegelstijging (Wang et al., 2018; Huismans et al., 2022; Lodder et al., 2022; Arcadis, 2010). De kritische zeespiegelstijging, waarbij de zeespiegelstijging het meegroeivermogen overschrijdt, gevonden in deze studies, is significant hoger dan de huidige zeespiegelstijging van 2.9 mm/jr. (Deltares & KNMI, 2023). De verwachting is dat in ieder geval tot 2050 de huidige trend van opvulling dominant zal zijn over zeespiegelstijging en de kombergingsvolumes in de Waddenzee verder afnemen. Een doorzettende trend van verlanding voor de komende decennia betekent dat in het algemeen het baggerbezwaar zal groeien of op zijn best stabiel zal blijven, gegeven de huidige diepte- en breedte-eisen (waarbij effecten lokaal zullen verschillen).

2.2 Kombergingsgebied Marsdiep

Het Marsdiep is het meest westelijk gelegen bekken en is in het verleden sterk veranderd door de afsluiting van de Zuiderzee. De geulen Boontjes en Visjagersgaatje worden op diepte gehouden door baggerwerk, evenals verscheidene havens (met de hoogste baggervolumes in de marinehaven van Den Helder).



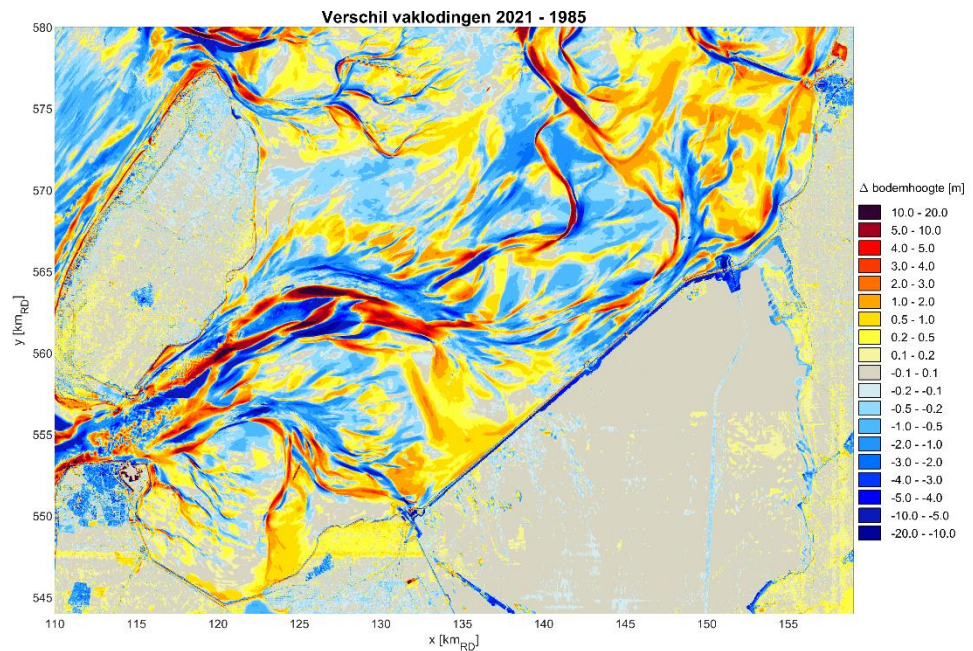
Figuur 2-2 Overzichtskaart kombergingsgebied Marsdiep met baggerlocaties en belangrijkste havens. De locaties waar baggeronderhoud plaatsvindt zijn aangegeven in rood. De verspreidingsvakken zijn aangegeven met zwarte lijnen. De veerroute is aangegeven met een witte stippellijn.

2.2.1 Ontwikkeling bekken

Het Marsdiep is het grootste getijddebekken van de Nederlandse Waddenzee. Vergeleken met andere bekkens heeft het Marsdiep veel meer dieper gelegen subgetijdegebieden. Het kombergingsgebied is sterk veranderd na de aanleg van de Afsluitdijk. Door de afsluiting nam het kombergingsvolume abrupt af en vanwege de veranderende getijvoortplanting nam de getijslag toe (Deltares 2023c). De oriëntatie van het bekken, dat eerst gericht was op de Zuiderzee, veranderde, waardoor veel geulen in het Marsdiep sindsdien sterk zijn gemigreerd en nog altijd migreren (Figuur 2-3). Het huidige onderhoudsbaggerwerk vindt plaats het Visjagersgaatje en de Boontjes: geulen die ooit doorliepen naar de Zuiderzee en na de afsluiting hun functie verloren.

Omdat in het verleden zowel het Marsdiep als het Vlie in directe verbinding stonden met de Zuiderzee is, er nog altijd een sterke uitwisseling van water en sediment 'achterlangs' tussen deze twee bekkens. In de laatste decennia heeft zich een steeds duidelijker morfologisch wantij gevormd ten zuiden van Harlingen, wat van invloed is op de sedimentatie en baggerwerkzaamheden in de Boontjes (zie paragraaf 2.2.2.1).

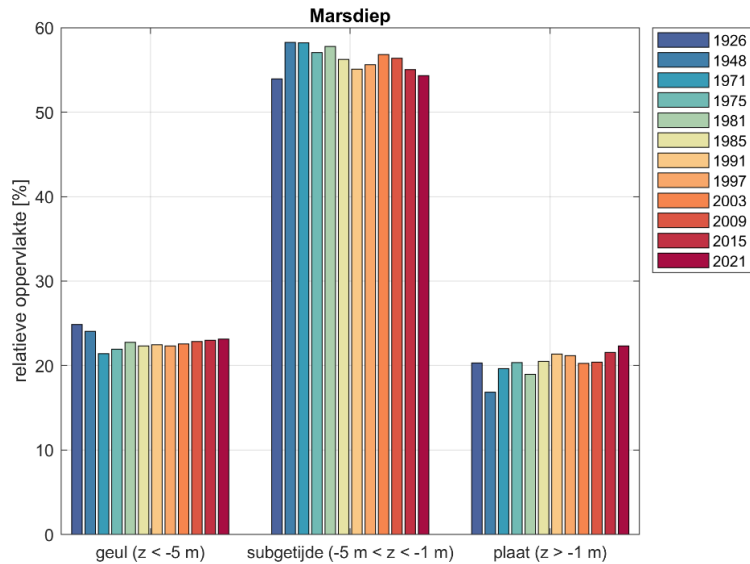
In de decennia na de afsluiting was er sprake van een sterke netto import van sediment (totale volumeveranderingen; dus een combinatie van zand en slib). De belangrijkste oorzaak daarvan was de opvulling van oude geulen. In de data is een trendbreuk te zien rond eind vorige eeuw. De netto sedimentimport is tegenwoordig kleiner. Het gemiddelde sinds 1933 (tot 2015) is 3,5 miljoen m³/jr. en het gemiddelde sinds 1991 (ook tot 2015) 1,2 miljoen m³/jr. (Deltares 2020b; Deltares 2017a en Deltares 2019).



Figuur 2-3 Erosie en sedimentatie in het Marsdiep tussen 1985 en 2021 op basis van vaklodingen data.

De snelheid van de totale sedimentimport neemt af, maar dat lijkt vooral in de zandfractie te zitten. De slibsedimentatie gaat gestaag door. Hierdoor verschuift de verhouding tussen zand en slib in het geïmporteerde sediment (Deltares 2020b). Momenteel bestaat ongeveer een kwart daarvan uit slib, in vergelijking met 12% in 1950. Vooral langs de vastelandskust en in geulen die na de afsluiting hun komberging verloren bij Balgzand en de Afsluitdijk is de bijdrage van slib hoog.

Ten opzichte van andere bekkens heeft het Marsdiep door haar geschiedenis een relatief laag percentage droogvallende platen (Figuur 2-4). De laatste decennia is er een lichte afname te zien in het oppervlak van subgetijdegebied en een toename van plaatareaal.



Figuur 2-4 Ontwikkeling van het relatieve oppervlakte van de geulen, subgetijdegebied en het plaatareaal in het kombergingsgebied Marsdiep ten opzichte van het totale bekken.

2.2.2 Morfologische ontwikkeling baggerlocaties

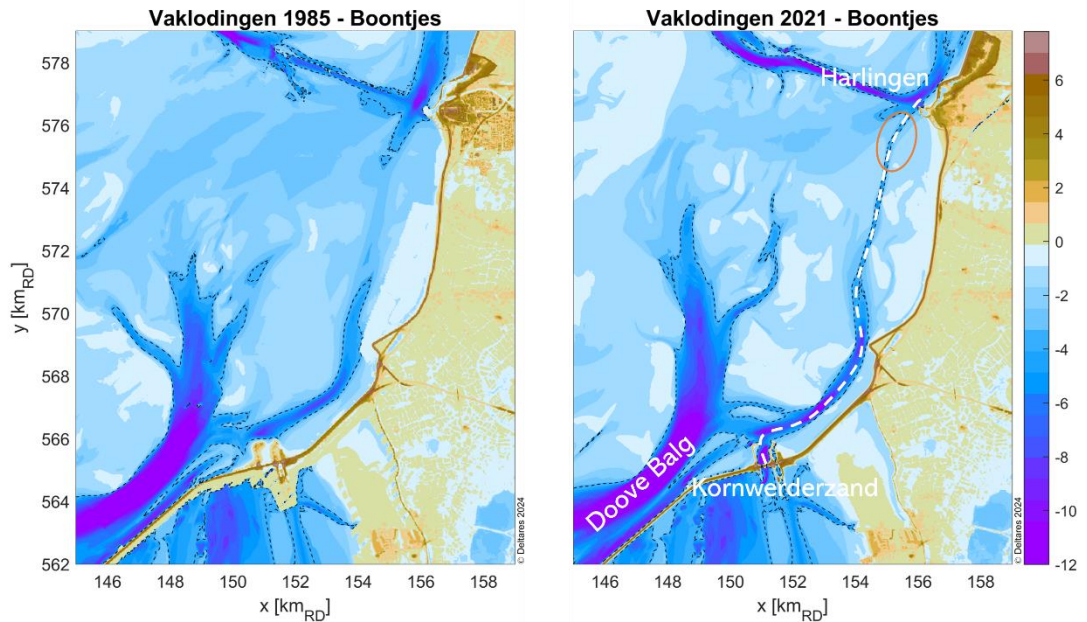
Na een beschrijving van de algemene ontwikkelingen wordt voor elk kombergingsgebied ingezoomd op de ontwikkeling van de vaarwegen die het meest relevant zijn voor de baggerwerkzaamheden; locaties met een hoog baggerbezwaar of gebieden die zich in de toekomst potentieel tot knelpunt kunnen ontwikkelen.

In het Marsdiep vinden baggerwerkzaamheden plaats in de volgende geulen:

- Boontjes: de baggervolumes worden hier als knelpunt gezien, zie verder 2.2.2.1
- Visjagersgaatje: Op dit moment zijn de baggervolumes hier laag en wordt het niet beschouwd als knelpunt. Deze geul ligt echter in een gebied met overwegend sedimentatie, waardoor het zich in de toekomst mogelijk tot knelpunt kan ontwikkelen door het afnemende lokale kombergingsvolume.

2.2.2.1 Ontwikkeling Boontjes

De Boontjes vormt de verbinding tussen Harlingen en Kornwerderzand en daarmee een belangrijke route voor scheepvaart van en naar het IJsselmeer (rechter paneel van Figuur 2-5). In 2012 is besloten de drempel in het noordelijke deel van de geul nabij Harlingen te verdiepen van een streefdiepte van -2.8m NAP naar -3.8m NAP. De verwachting was dat dit niet of nauwelijks zou leiden tot een toename van het onderhoudsbaggerwerk (HKV 2012). Het baggerbezwaar werd echter wel veel groter (Deltares & Arcadis 2022; Deltares 2022c). Het gebaggerde materiaal is ook slibrijker geworden (Deltares 2021d).

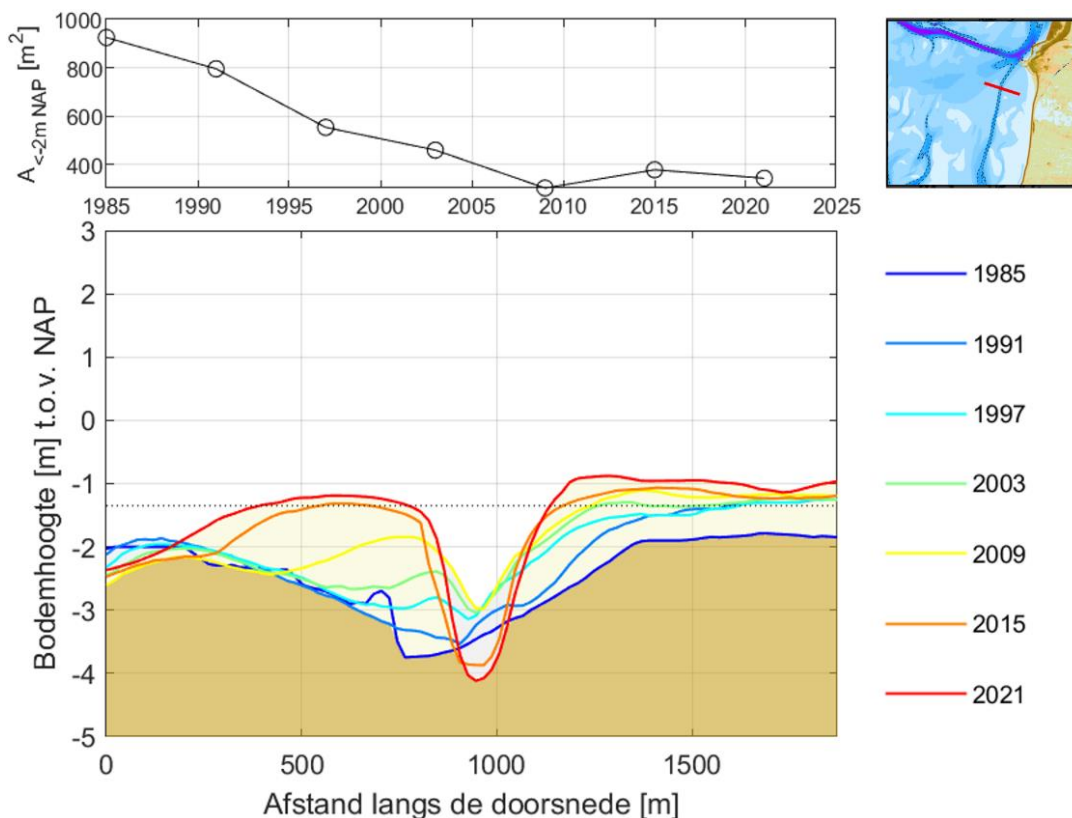


Figuur 2-5 Overzichtskaart bodemligging van de Boontjes in 1985 en 2021. De witte gestreepte lijn toont de vaarroute tussen Harlingen en Kornwerderzand. De drempel bevindt zich in de oranje cirkel. De dunne zwarte stippellijn geeft de -3.8 m contour, de onderhoudsdiepte van de vaarweg.

De Boontjes is een staartgeul (Deltares & Arcadis, 2022). Voordat de baggerwerkzaamheden plaatsvonden was er sprake van een natuurlijke afname van het doorstroomoppervlak van de geul (Figuur 2-6). Het blijkt dat er nu veel sedimentatie plaatsvindt in de noordelijke deel van de Boontjes, rondom de drempel (Deltares 2021d) terwijl in het zuidelijke deel sprake is van een tegenovergestelde trend. Daar neemt de geuldoorsnede juist toe. De overgang tussen het gebied met een afnemende geuldoorsnede in het noorden en een toenemende geuldoorsnede in het zuiden lijkt zuidwaarts op te schuiven (Deltares 2021d).

Stromings- en sedimentatiepatronen in dit gebied zijn complex, omdat de geul over het wantij tussen het Marsdiep en het Vlie loopt: een 'eigen' kombergingsgebied van de geul is hierdoor lastig te bepalen. In het gebied rondom de Boontjes ter hoogte van de drempel vindt veel sedimentatie plaats. Het morfologische wantij is hier sterk in ontwikkeling en de uitwisseling van water tussen de Boontjes en het (verzandende) Kimstergat vermindert (Deltares 2023c). De plaatgebieden ten oosten en ten westen van de geul vertonen een structurele ophoging (Figuur 2-6).

De verwachting is dat door de grootschalige morfologische ontwikkelingen in het gebied het baggerbezwaar verder toe zal nemen (Deltares 2022c). Door de structurele ophoging van de platen neemt het lokale kombergingsvolume af, waardoor ook het debiet afneemt. Deze afname lijkt de belangrijkste oorzaak te zijn voor de toename in baggervolumes (Deltares 2021d). Bovendien neemt door de ophoging van platen de golfgedreven resuspensie op de platen toe, waardoor de aanvoer van sediment naar de geul is toegenomen. Vanwege de verdieping van de geulbodem neemt golfgedreven resuspensie in de geul juist af. Dit kan een verklaring vormen voor de toegenomen slibsedimentatie in de geul (Deltares 2022c).



Figuur 2-6 Doorsnede over de drempel in de Boontjes. Tot 2009 is een afname van de geuldoorsnede te zien, na de drempelverwijdering van 2012 wordt de geul door onderhoudswerkzaamheden op diepte gehouden. Er is ophoging op de plaatgebieden aan beide kanten van de Boontjes.

2.2.3 Ontwikkeling ecotopen op baggerlocaties

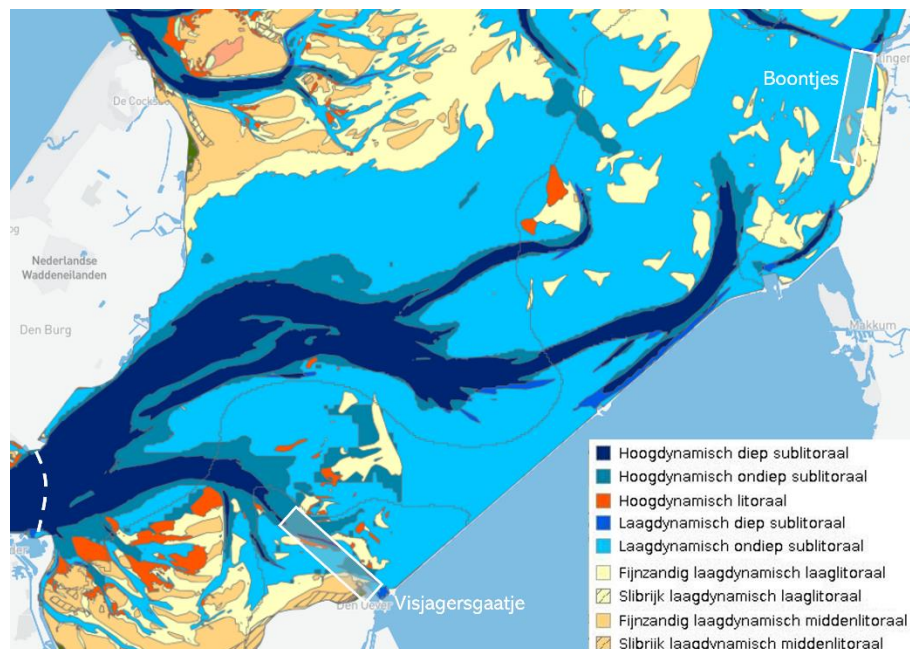
Naast de morfologische ontwikkeling is gevraagd om in beeld te brengen of de huidige baggerlocaties gelden als hoog- of laagdynamisch areaal, om later een koppeling te kunnen maken met ecologische effecten van de baggerwerkzaamheden. Dit gebeurt op basis van de Ecotopenkaart 2017, waarbij een gebied wordt ingeschaald als hoog- of laagdynamisch op basis van stroom- en orbitaalsnelheden (Rijkswaterstaat 2021). Deze kartering wordt aangevuld met beschikbare kennis over bodemsamenstelling en morfologische ontwikkeling van de gebaggerde gebieden.

Boontjes

In de Ecotopenkaart 2017 is de Boontjes, waar regelmatig baggerwerk plaatsvindt, beschouwd als een laagdynamisch gebied (Figuur 2-7). Rondom de geul ontwikkelt zich een morfologisch wantij (Deltares 2023c), wat zich uit in veel sedimentatie met groei van de wadplaten en toenemende slibgehalten. Het gebied zal in de toekomst steeds minder dynamisch worden.

Visjagersgaatje

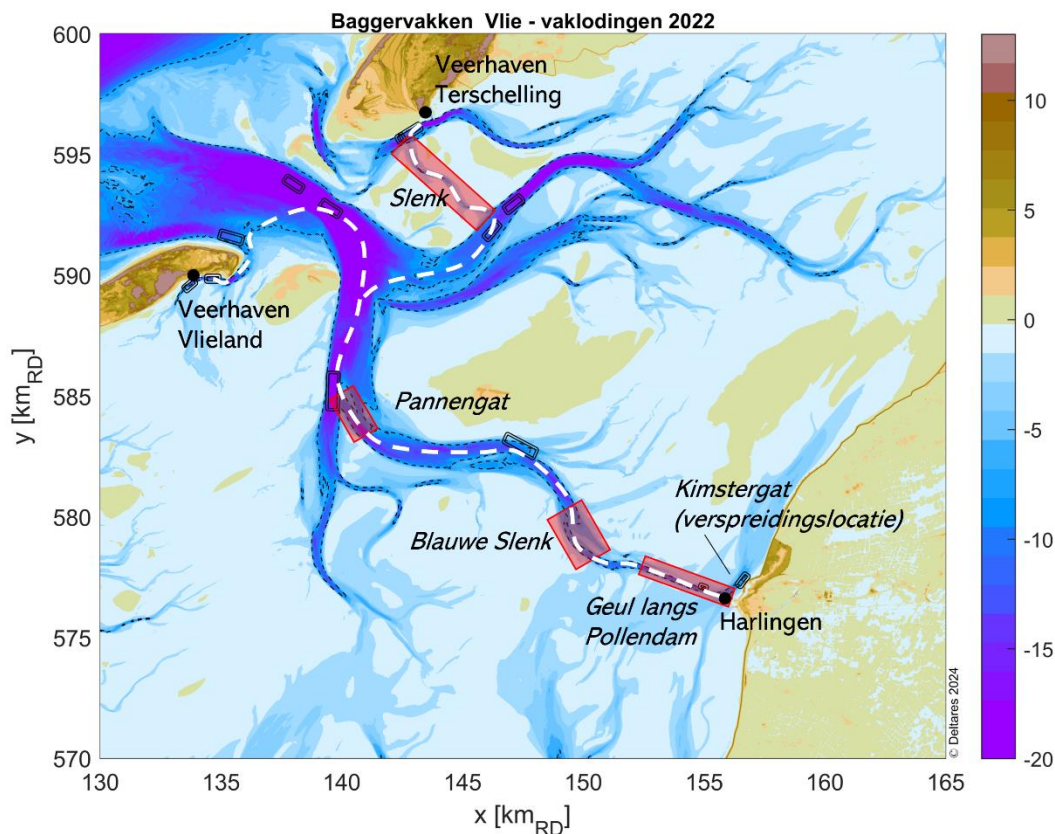
Het Visjagersgaatje is in de Ecotopenkaart deels hoogdynamisch. Deze 'hoogdynamische' inschaling is op basis van lokale stroom- en orbitaalsnelheden (Rijkswaterstaat 2021). De lokale stroomsnelheden zijn hier mogelijk relatief hoog omdat het debiet door het Visjagersgaatje wordt 'geknepen' door groei van de platen eromheen. Dat neemt niet weg dat ook deze geul zich in een laagdynamische omgeving bevindt. In de omliggende gebieden, op het Balgzand en rondom de Afsluitdijk is sprake van veel sedimentatie, een groeiend areaal (hoge) wadplaten en hoog aandeel slibsedimentatie.



Figuur 2-7 Ecotopenkaart Marsdiep met de verdeling in hoog- en laagdynamische gebieden. De actuele baggerlocaties zijn aangegeven in wit, de witte stippellijn is de veerbootroute. Aangepast van: Digitale systeemrapportage Wadden.

2.3 Kombergingsgebied Vlie

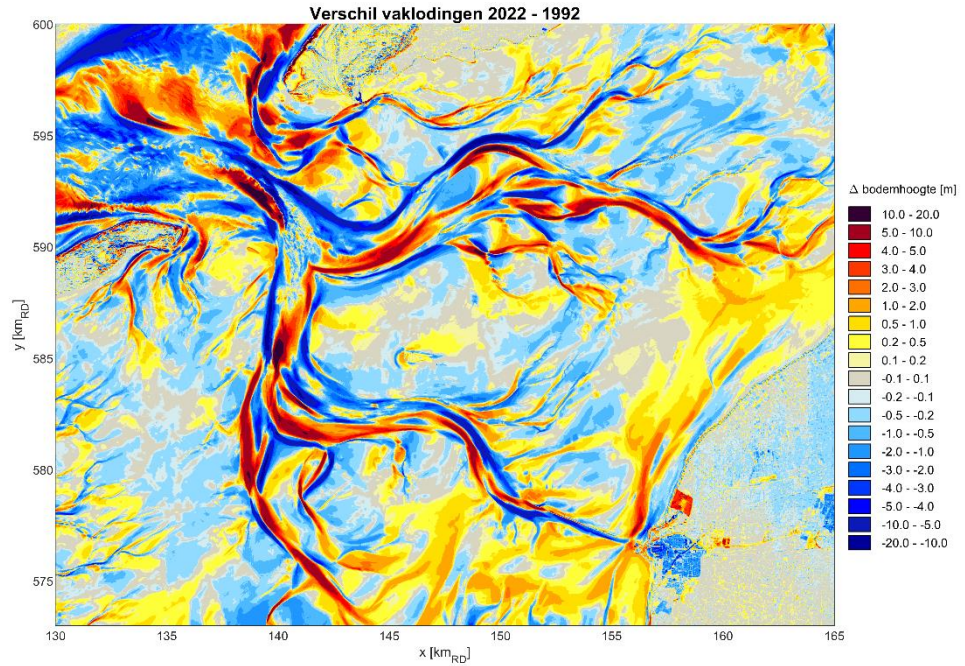
Het zeegat van het Vlie ligt tussen Harlingen en de Noordzee en omvat daarmee een belangrijke scheepvaartroute. Er vinden baggerwerkzaamheden plaats in de Blauwe Slenk, Geul langs Pollendam en in het verleden ook in het Pannengat (tot 2015). De verbinding van de haven van Harlingen met de Noordzee heeft een streefdiepte van -7.5 m NAP. Daarnaast wordt ook de Slenk op diepte gehouden voor de veerboot naar Terschelling (streefdiepte -5 m NAP). Het Kimstergat (nabij Harlingen) is een belangrijke verspreidingslocatie. Deze vult de laatste jaren steeds meer op, waardoor er zorgen zijn over de toekomstige geschiktheid van het Kimstergat als verspreidingslocatie.



Figuur 2-8 Overzichtkaart van het Vlie met baggerlocaties en de belangrijkste havens. De geulen waar baggeronderhoud plaatsvindt zijn aangegeven in rood, de veerroute met een witte stippellijn. De verspreidingsvakken zijn aangegeven met zwarte lijnen.

2.3.1 Ontwikkeling bekken

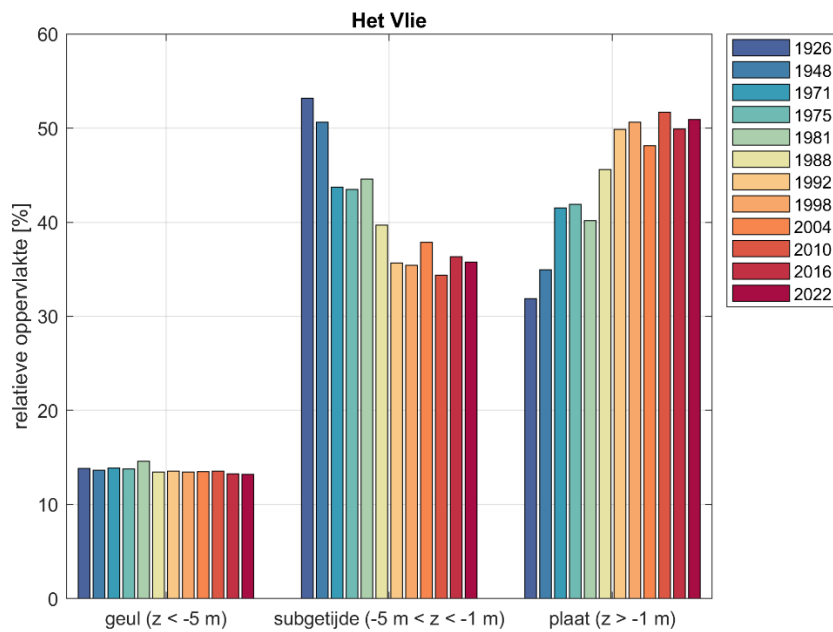
Net als het Marsdiep stond het Vlie vroeger in directe verbinding met de Zuiderzee. Na de afsluiting volgde een sterke aanzanding in de afgesloten geulen en een oostwaartse migratie van de hoofdgeulen in het bekken (Deltares 2019a). Ook de wantijen onder Vlieland en Terschelling schoven in oostelijke richting. Net als in het Marsdiep was er de eerste decennia na de afsluiting sprake van een sterke sedimentimport (2,3 miljoen m³/jr. over de periode 1933 tot 2015) en is deze de laatste decennia verminderd (1,43 miljoen m³/jr. voor 1991 tot 2015; Deltares 2019). Circa een kwart van dit geïmporteerde sediment bestaat uit slib (Deltares 2020b). De trend van sedimentatie langs de vastelandskust en erosie in het noordelijke deel van het bekken die zich voordoet in veel kombergingsgebieden (beschreven in 2.1), is in het Vlie duidelijk waarneembaar (Figuur 2-9).



Figuur 2-9 Erosie en sedimentatie in het Vlie-bekken tussen 1992 en 2022 op basis van vaklodings data.

De grootschalige veranderingen in het bekken na de afsluiting zijn terug te zien in het aandeel platen, dat sterk toenam van 32% in 1926 tot 50% in 1992 (Figuur 2-10), terwijl het areaal subgetijdegebied afnam. Sinds de jaren '90 is deze trend afgevlakt.

Ondanks de afnemende netto import van zand, zet de slibsedimentatie in het Vlie door, vergelijkbaar met het Marsdiep. Het aandeel slib in de totale sedimentatie neemt hierdoor toe. De bijdrage van slib aan de totale sedimentatie is het grootst op het Terschellingerwad en het gebied rond Oosterbierum (Deltares 2020b).



Figuur 2-10 Ontwikkeling van het relatieve oppervlakte van de geulen, subgetijdegebied en het plaatareaal in het kombergingsgebied van het Vlie ten opzichte van het totale bekken.

2.3.2 Morfologische ontwikkeling baggerlocaties

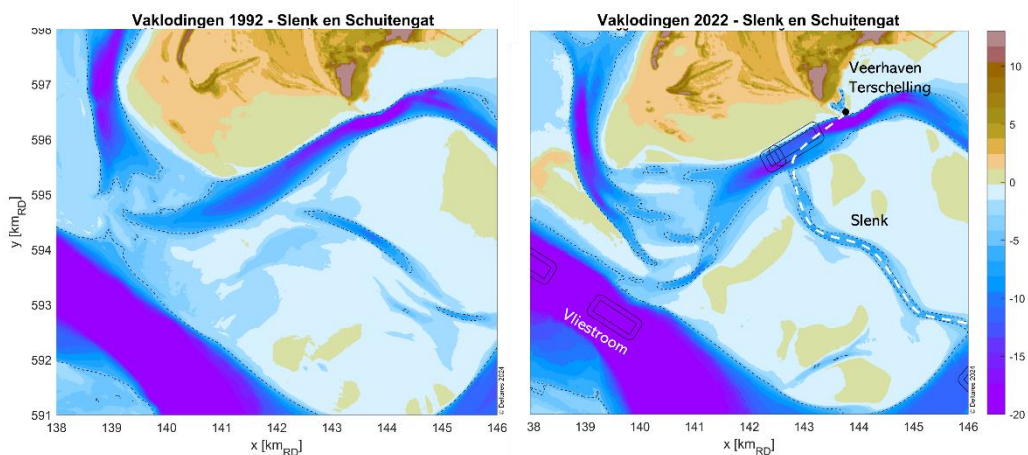
In het Vlie vinden baggerwerkzaamheden plaats in de volgende geulen:

- Slenk: zie 2.3.2.1
- Pannengat (niet verder uitgewerkt in dit rapport): in het drempelgebied Pannengat is periodiek baggeronderhoud nodig. Dit is een dynamisch drempelgebied, waarbij de baggervolumes en frequentie van baggeronderhoud afhankelijk zijn van het gedrag van de eb- en vloedscharen. In het algemeen lijkt er een trend gaande waarbij de verbinding tussen Pannengat en Blauwe Slenk breder en dieper wordt (zie ook de Knelpuntanalyse Harlingen – Noordzee; Deltares, 2024c).
- Blauwe Slenk: zie 2.3.2.2
- Geul langs Pollendam: zie 2.3.2.3, inclusief de verspreidingslocatie Kimstergat

2.3.2.1 Slenk

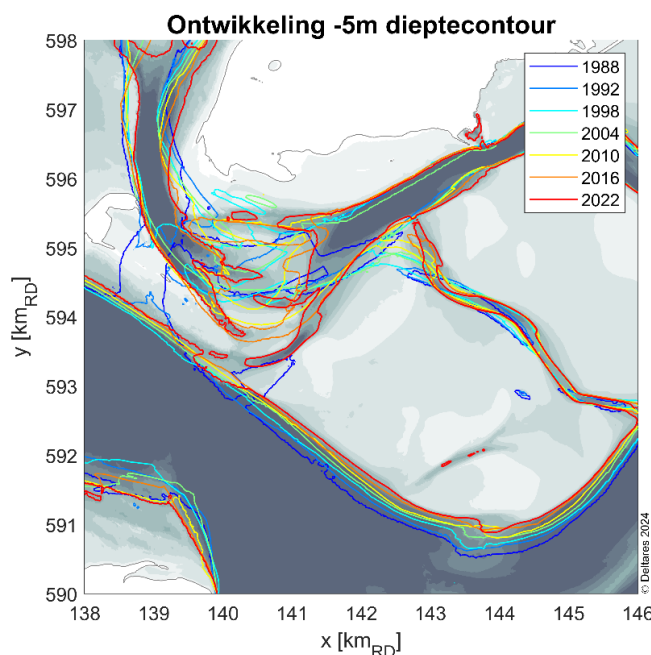
De Slenk is een kortsluitgeul die de Westmeep en het Schuitengat met elkaar verbindt en is onderdeel van de veerbootroute naar Terschelling (Figuur 2-11). De veerroute liep oorspronkelijk via de Vliestroom en het Schuitengat, maar nadat de verbinding tussen het Schuitengat en de Vliestroom verdween door sterke verzanding, werd de Slenk halverwege de jaren '90 doorgebaggerd en vormt sindsdien de veerbootroute naar Terschelling. De gemiddelde baggervolumes in de Slenk zijn sinds circa 2010 relatief constant, maar vertonen grote jaarlijkse variaties (zie H3.4.1).

Sinds 2015 is er een nieuwe doorsteek tussen de Vliestroom en het Schuitengat, zoals te zien in Figuur 2-11 en Figuur 2-12. Naar aanleiding hiervan heeft Arcadis (2018) onderzocht of het Schuitengat opnieuw als vaarroute gebruikt kan worden. Uit deze analyse bleek dat, vanwege de hoge dynamiek, de voorspelbaarheid van het openblijven van deze doorsteek te laag is en daarmee het risico voor een stabiele veerbootroute te groot om hierop in te zetten.



Figuur 2-11 Overzichtkaart bodemligging van de Slenk in 1992 en 2022. De witte gestreepte lijn toont de veerbootroute naar Terschelling. De dunne zwarte stippellijn geeft de -5m NAP contour. Deze diepte is tevens de onderhoudsdiepte van de Slenk.

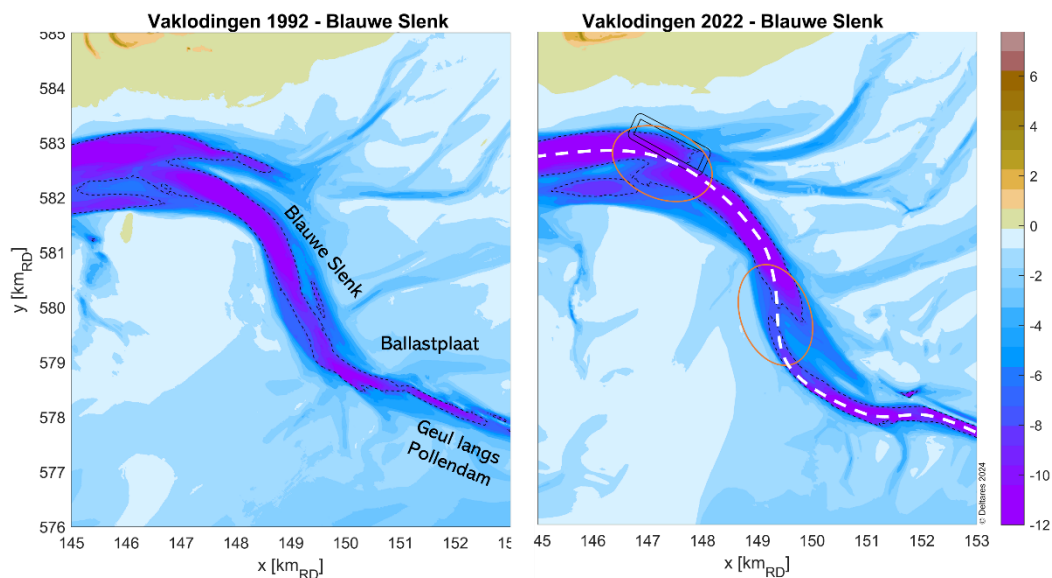
De Slenk is relatief stabiel in zijn ligging. De stroming over het gebied rondom de Slenk is complex en hangt sterk samen met de ontwikkelingen in het Schuitengat. De laatste jaren is het noordelijke deel van de geul langzaam begonnen uit te bochten en is de uitstroom aan de zijde van het Schuitengat steeds verder naar het noordoosten gemigreerd (Figuur 2-12). Hiermee is ook de oriëntatie van de aansluiting met het Schuitengat geroteerd, waardoor deze minder gunstig is voor aanstroom tijdens vloed. De aansluiting van Slenk op Westmeep in het zuidoosten behoudt een constante oriëntatie, welke suggereert dat instroming vanuit Westmeep vooral plaatsvindt tijdens eb (Arcadis 2018). De veranderende oriëntatie aan de noordwestzijde van de Slenk hoeft voor de scheepvaart niet per se negatief te zijn, maar het effect is afhankelijk van de toekomstige ontwikkeling. Bij een doorgaande uitbouw in noordoostelijke richting, zal Slenk meer en meer een meanderende vorm krijgen. De verschuiving van de aansluiting Slenk – Schuitengat vertoont vooralsnog een geleidelijke trend, wat een verdere verschuiving in de toekomst kan betekenen (Deltares 2024b).



Figuur 2-12 Ontwikkeling van de -5m NAP contour. Het uitbochten en noordoostwaarts migreren van de uitstroom van de Slenk is hier duidelijk te zien, evenals het verdwijnen (1988 – 1992) en opnieuw vormen (2016 – 2022) van de doorsteek tussen Vliestroom en Schuitengat.

2.3.2.2 Blauwe Slenk

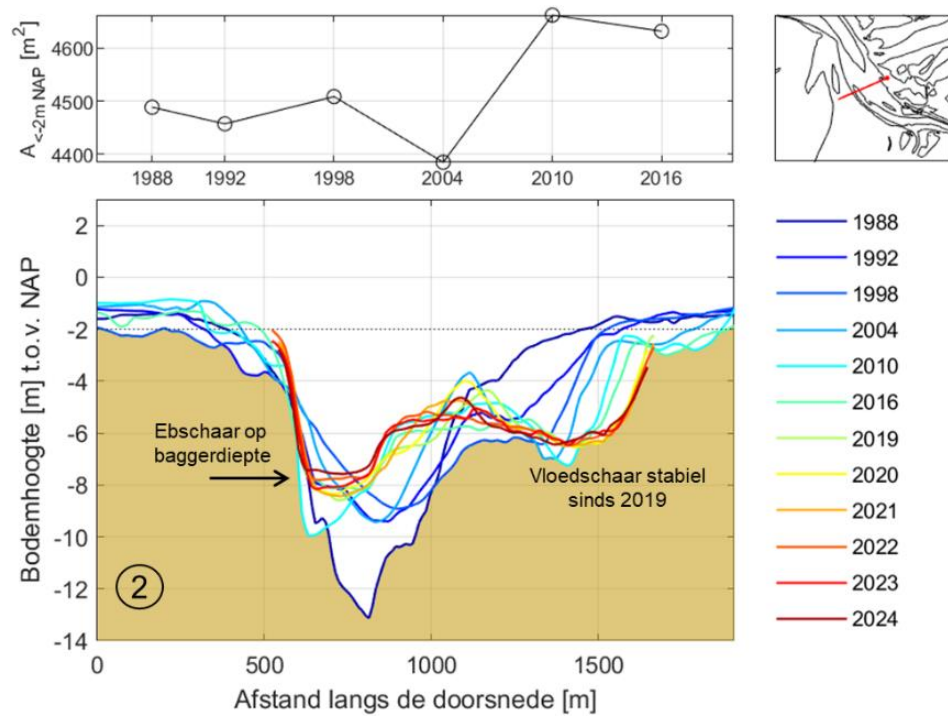
De Blauwe Slenk is onderdeel van de vaarroute tussen Harlingen en de Noordzee. Deze geul vertoont twee knikpunten, en in beide bochten bevindt zich een drempelgebied (Figuur 2-13). In de zuidelijke bocht tussen de Blauwe Slenk en de Geul langs Pollendam vinden baggerwerkzaamheden plaats in de ebschaar (Deltares & Arcadis 2022).



Figuur 2-13 Overzichtskaat bodemligging van de Blauwe Slenk in 1992 en 2022. De drempelgebieden zijn omcirkeld in oranje en het verspreidingsvak Blauwe Slenk is in zwart aangegeven. De witte gestreepte lijn geeft de vaarroute van Harlingen naar de Noordzee en de eilanden Vlieland en Terschelling.

Tussen 1992 en 2022 is de Blauwe Slenk bij de aansluiting aan de Geul langs Pollendam steeds verder gaan uitbochten (Figuur 2-13). De afgelopen dertig jaar heeft zich hier een drempelgebied ontwikkeld door de vorming van een elkaar ontwijkende eb- en vloedsgaar. De vaargeul loopt door de ebschaar, die steeds verder uitbocht door uitbouw van de noordelijk gelegen Ballastplaat, terwijl de aansluiting aan de Pollendam gefixeerd is en niet vrij kan bewegen. Er lijkt echter geen structurele afname van het geulvolume te zijn, en modelsommen wijzen uit dat zowel het getijprisma als de piekdebieten sinds 1991 relatief stabiel zijn gebleven (Deltares 2024c).

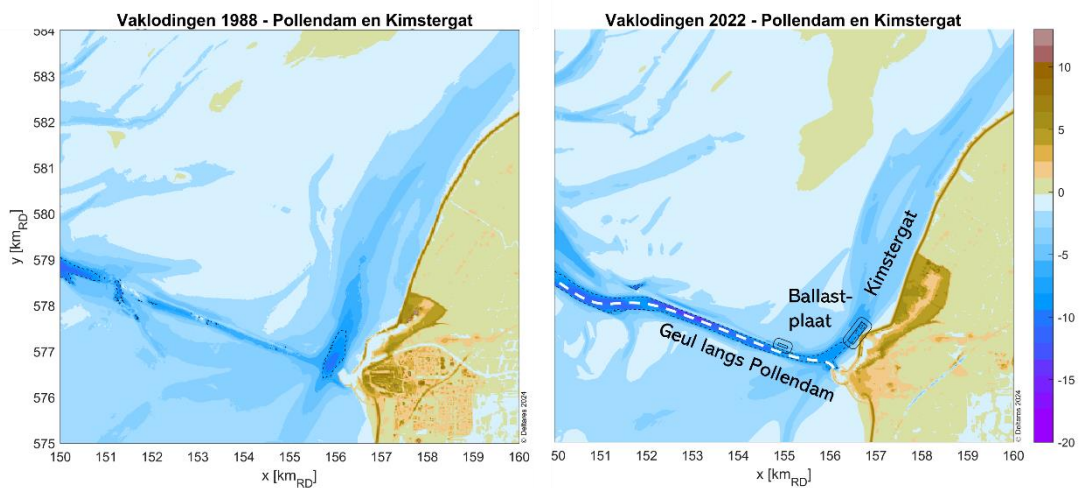
In de noordelijke bocht vinden op dit moment geen baggerwerkzaamheden plaats. Echter laten recente beheerlodingen zien dat de drempel in dit gebied de laatste jaren toeneemt in hoogte en oppervlakte. Als deze trend zich doorzet zou op deze locatie op termijn ook baggeronderhoud nodig kunnen zijn (Deltares 2024c). In deze bocht bevindt zich ook een verspreidingslocatie waarop jaarbasis relatief veel sediment verspreid wordt. Het is onduidelijk wat precies het effect is van deze verspreidingslocatie op de ontwikkeling van het drempelgebied.



Figuur 2-14 Doorsnede over de drempel in de Blauwe Slenk. Vanaf ca 2019 is duidelijk het effect van baggerwerkzaamheden te zien in de vorm van de vaargeul.

2.3.2.3 Geul langs Pollendam en Kimstergat

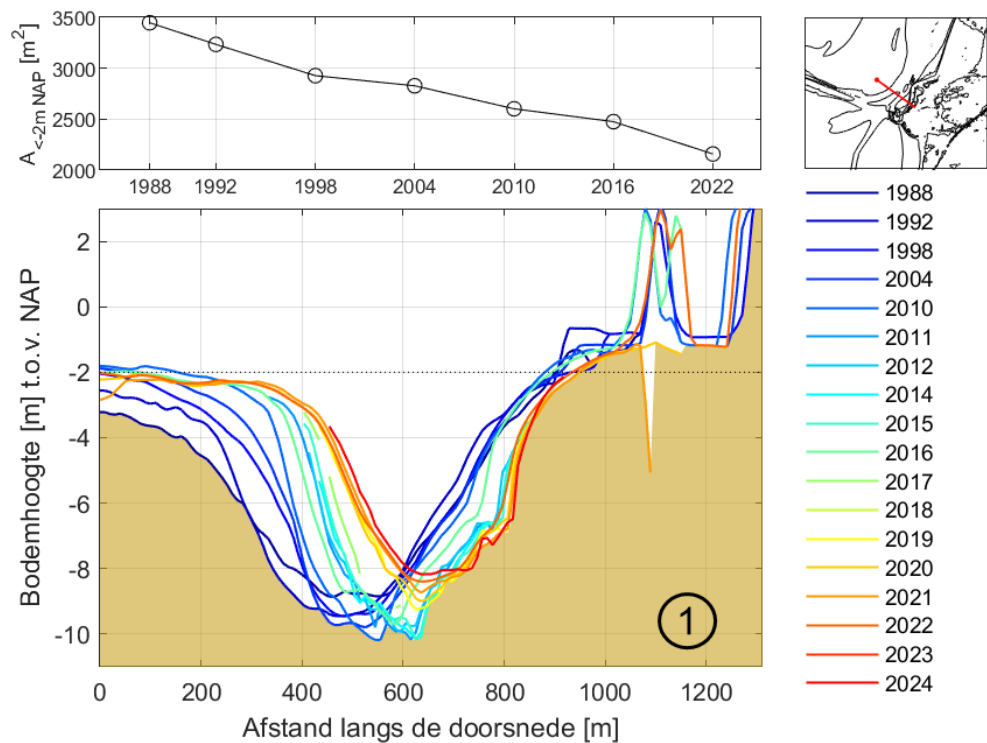
De Geul langs Pollendam is het deel van de vaarroute dat het dichtst bij de haven van Harlingen ligt en is een staartgeul (Deltares & Arcadis 2022). Het Kimstergat is een verspreidingslocatie noordelijk van Harlingen. Door het verondiepen van de geul en oostelijk uitbouwen van de Ballastplaat is het verspreidingsvak de laatste jaren meerdere keren verlegd, waardoor er zorgen zijn of dit in de toekomst geschikt blijft als verspreidingsgebied.



Figuur 2-15 Overzichtkaart bodemligging van de Geul langs Pollendam en het Kimstergat in 1992 en 2022. De witte gestreepte lijn geeft de vaarroute van Harlingen naar de Noordzee en de eilanden Vlieland en Terschelling. Het verspreidingsvak in het Kimstergat is aangegeven in zwart.

De Geul langs Pollendam en het Kimstergat liggen in een gebied met veel sedimentatie en ophoging van platen rondom de Friese kust. Hierdoor neemt het lokale kombergingsvolume van de geulen af. Modelberekeningen laten zien dat het getijprisma in de Geul langs Pollendam de laatste decennia nog relatief constant is, terwijl de watervolumes door het Kimstergat geleidelijk afnemen (Deltares 2024c). De verwachting is dat, met het afnemende kombergingsvolume, op termijn de debieten ook in de Geul langs Pollendam zullen afnemen en het baggerbezwaar hier zal toenemen.

De Ballastplaat, die naast het Kimstergat ligt, hoogt op en migreert steeds verder richting het zuidoosten, waardoor het Kimstergat tegen de kust aan gedrukt wordt (Figuur 2-16). Zowel het geuloppervlak als de geuldiepte nemen af, met name in het zuidwestelijke deel dichtbij Harlingen waar het verspreidingsvak zich bevindt. De hoeveelheden sediment die hier verspreid worden zijn significant ten opzichte van de jaarlijkse volume-afname van de geul. De volume-afname van het Kimstergat wordt gedreven door een afnemende komberging (door ophoging van de omliggende plaatgebieden) maar de grote sedimentvolumes die hier worden verspreid dragen mogelijk bij aan het versneld opvullen van de geul. Wanneer de huidige (lineaire) trend van opvulling wordt doorgetrokken is de verwachting dat het doorstroomoppervlakte van het Kimstergat over 30 tot 40 jaar nihil is (Deltares 2024c). Hierdoor komt de bevaarbaarheid van het Kimstergat voor baggerschepen, en daarmee de toekomstige geschiktheid als verspreidingslocatie in het gedrang.



Figuur 2-16 Doorsnede over het verspreidingsvak bij de ingang van het Kimstergat nabij Harlingen. Door de oprukkende ballastplaat wordt het Kimstergat steeds verder tegen de kust aan gedrukt. Tegelijkertijd nemen de geuldiepte en natte doorsnede af.

2.3.3 Ontwikkeling ecotopen op baggerlocaties

Pannengat en Blauwe Slenk

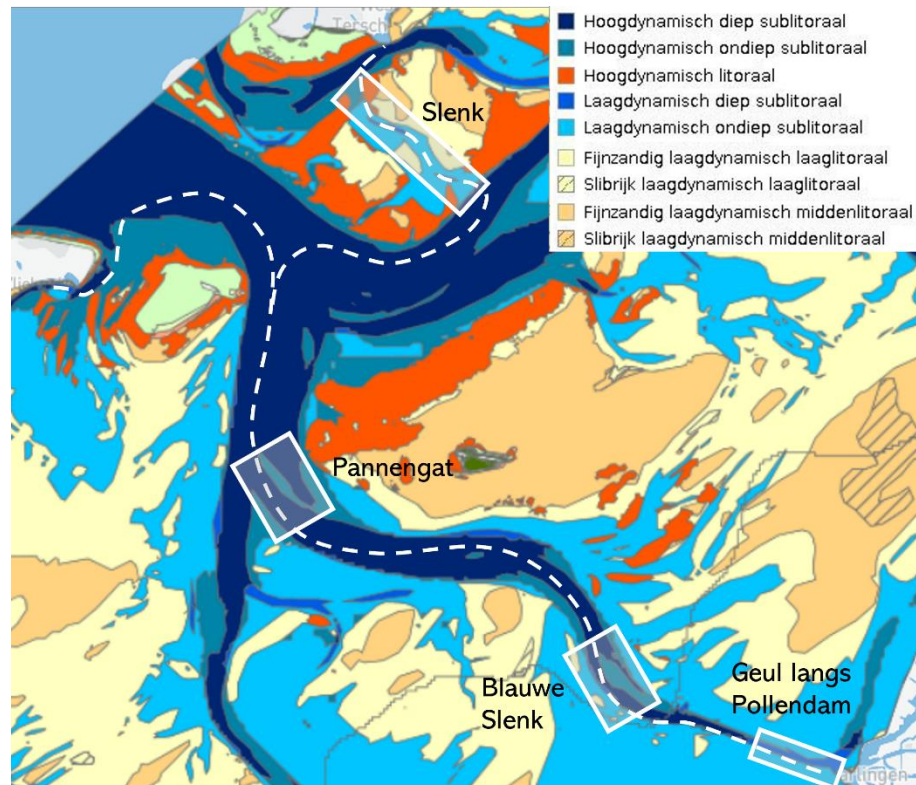
Het Pannengat en de Blauwe Slenk zijn onderdeel van een diepe, hoogdynamische geul (Figuur 2-17). In beide gebieden is sprake van een morfologisch actieve vloedschaardynamiek en wordt zandig materiaal gebaggerd. De ecologische en morfologische impact van de baggerwerkzaamheden zal hier dus relatief klein zijn.

Geul langs Pollendam en Kimstergat

De Geul langs Pollendam is in de Ecotopenkaart aangegeven als hoogdynamisch, evenals delen van het Kimstergat (Figuur 2-17), vanwege de lokaal hoge stroomsnelheden. Deze locaties bevinden zich echter in een laagdynamische omgeving. De plaatgebieden voor de Friese vastelandskust worden gekenmerkt door sedimentatie, ophoging van platen en toenemende slibgehalten, wat erop wijst dat dit gebied minder dynamisch wordt.

Slenk

De Slenk bevindt zich nabij het zeegat in een hoogdynamische omgeving. Dit gebied wordt gekenmerkt door erosie van de platen en een sterke morfologische dynamiek met snelle migratie van geulen en banken (bijvoorbeeld bij het Schuitengat). De Slenk zelf geldt volgens de Ecotopenkaart (op basis van stroomsnelheden en orbitaalsnelheden) echter als laagdynamisch.

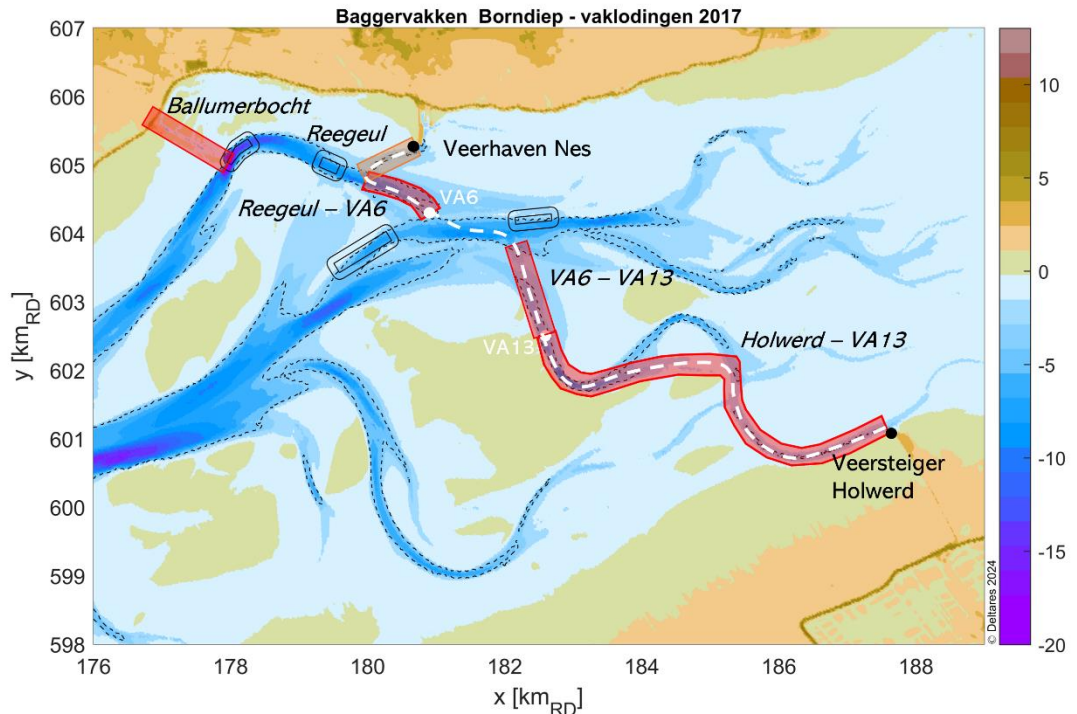


Figuur 2-17 Ecotopenkaart Vlie met de verdeling in hoog- en laagdynamische gebieden. De actuele baggerlocaties zijn aangegeven in wit, de witte stippellijn is de veerbootroute. Aangepast van: Digitale systeemrapportage Wadden.

2.4 Kombergingsgebied Borndiep

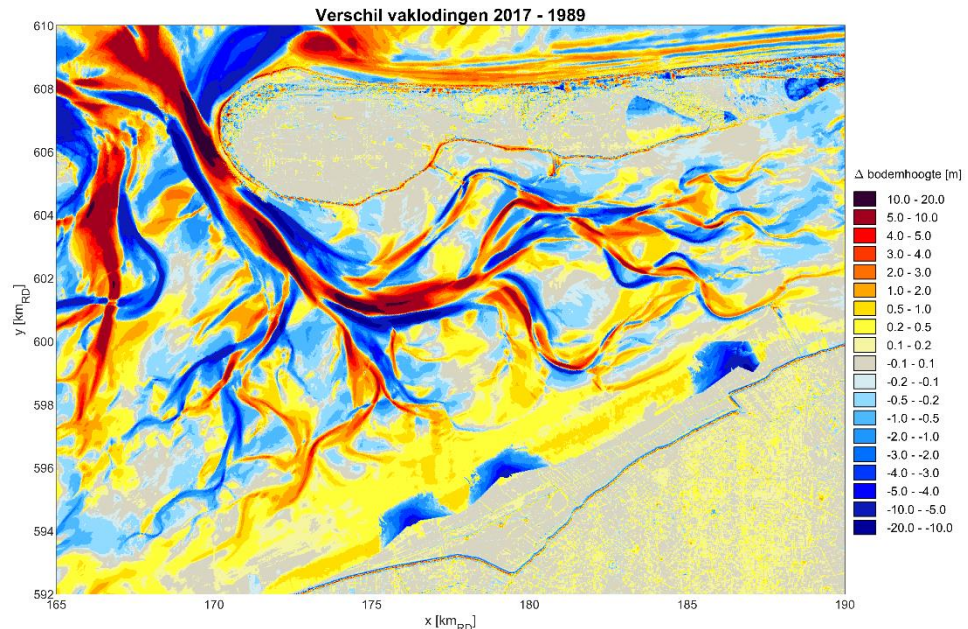
2.4.1 Ontwikkeling bekken

In het Borndiep bevindt zich de veerroute naar Ameland, die kampt met hoge baggervolumes over vrijwel de gehele route. De twee grootste knelpunten zijn het deel Holwerd – VA13, nabij de veersteiger van Holwerd (waar vooral slib wordt gebaggerd) en het hoogdynamische zandige drempelgebied VA6 – VA13.



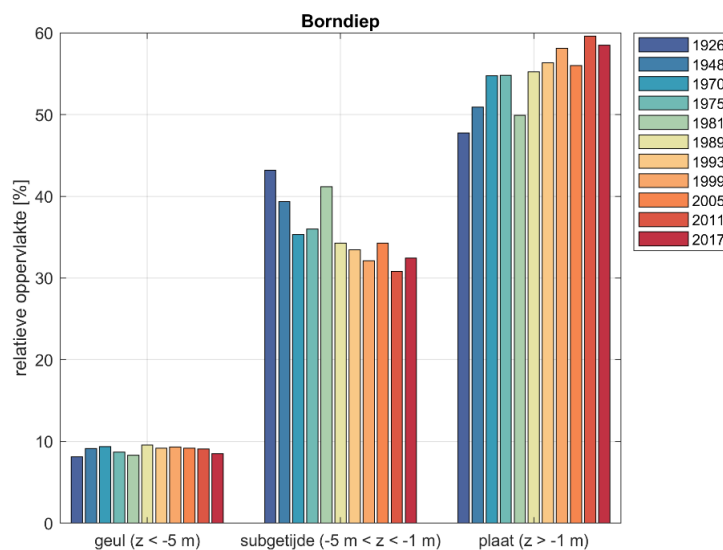
Figuur 2-18 Overzichtskaart Borndiep met baggerlocaties. De veerroute is aangegeven met een witte stippellijn, de baggervakken in rood, en de verspreidingsvakken met een zwarte omlijn.

Het kombergingsvolume van het Borndiep is in het verleden significant afgenomen door afsluitingen en landaanwinningen. De afgelopen decennia hebben vooral kwelderwerken en een trendmatige netto sedimentatie effect op het kombergingsvolume, dat gestaag afneemt (Deltares 2017; Deltares 2017a). Over de periode 1933 tot 2015 is er sprake van een netto import van sediment van 1.25Mm³/jr. Wanneer gekeken wordt naar de huidige trends (1991 - 2015) wordt er netto 1.63Mm³/jr. sediment geïmporteerd, waarvan ca 15% slib (Deltares 2019; Deltares 2020b). Net als bij veel andere bekkens vindt deze sedimentatie vooral plaats in het zuidelijk deel van het bekken, langs de Friese kust (Figuur 2-19).



Figuur 2-19 Erosie en sedimentatie in het Borndiep tussen 1989 en 2017 op basis van vakkodingen data.

Als gevolg van de sedimentatie in het kombergingsgebied zijn duidelijke veranderingen opgetreden in de arealen geulen en platen (Figuur 2-20). De sedimentatie is vooral opgetreden in gebieden hoger dan NAP -3m, waardoor het plaatareaal is toegenomen. In 1926 besloeg het plaatareaal 47% van het bekken, en dit nam toe tot bijna 60% in 2017. Tegelijkertijd is er een structurele afname in het areaal en de diepte van subgetijdegebied met een diepte tussen -5 en -1m NAP (Deltares 2017a). Deze verzanding heeft een directe uitwerking op de baggerinspanning die nodig is om geulen in dit dieptebereik op diepte te houden.



Figuur 2-20 Ontwikkeling van het relatieve oppervlakte van de geulen, subgetijdegebied en het plaatareaal in het kombergingsgebied Borndiep ten opzichte van het totale bekken.

De slibgehalten zijn het hoogst nabij de vastelandskust en rondom het wantij onder Ameland. Ook rondom de veersteiger van Holwerd zijn hoge slibconcentraties te vinden en hier wordt ook veel slib gebaggerd (Witteveen + Bos 2022b). Het aandeel van slib in de totale sedimentatie neemt sinds 1970 toe (Deltares 2020b). Slib bedraagt ca 15% van de totale sedimentatie, en wanneer slibsedimentatie op kwelders wordt meegenomen wordt dit aandeel zelfs geschat op 25 tot 43% (Arcadis 2018).

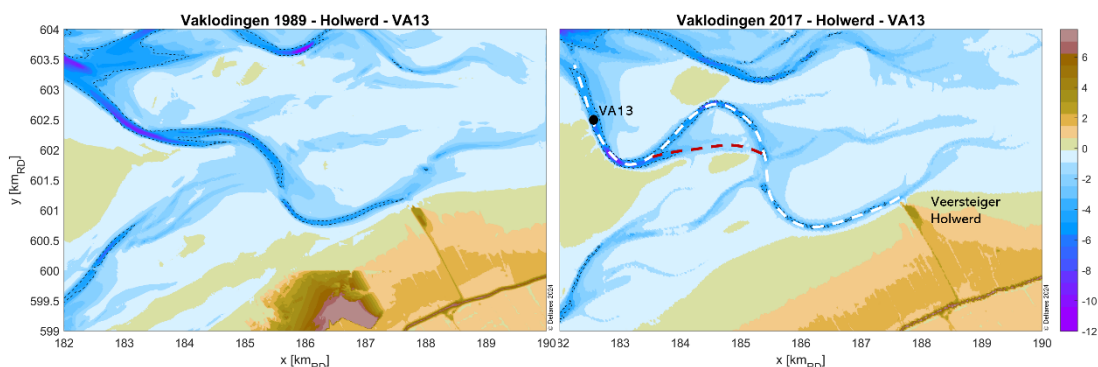
2.4.2 Morfologische ontwikkeling baggerlocaties

In het Borndiep vinden baggerwerkzaamheden plaats in de volgende geulen:

- Holwerd – VA13: zie 2.4.2.1
- VA9 – VA13: zie 2.4.2.2
- Reegeul (niet verder uitgewerkt in dit rapport): Baggervolumes in de Reegeul zijn laag en de geul bevindt zich in een gebied waar overwegend erosie plaatsvindt. Er wordt niet verwacht dat de baggervolumes hier zullen toenemen.
- Ballumerbocht (niet verder uitgewerkt in dit rapport): Net als in de Reegeul zijn de baggervolumes hier laag en zijn geen nieuwe knelpunten te verwachten.

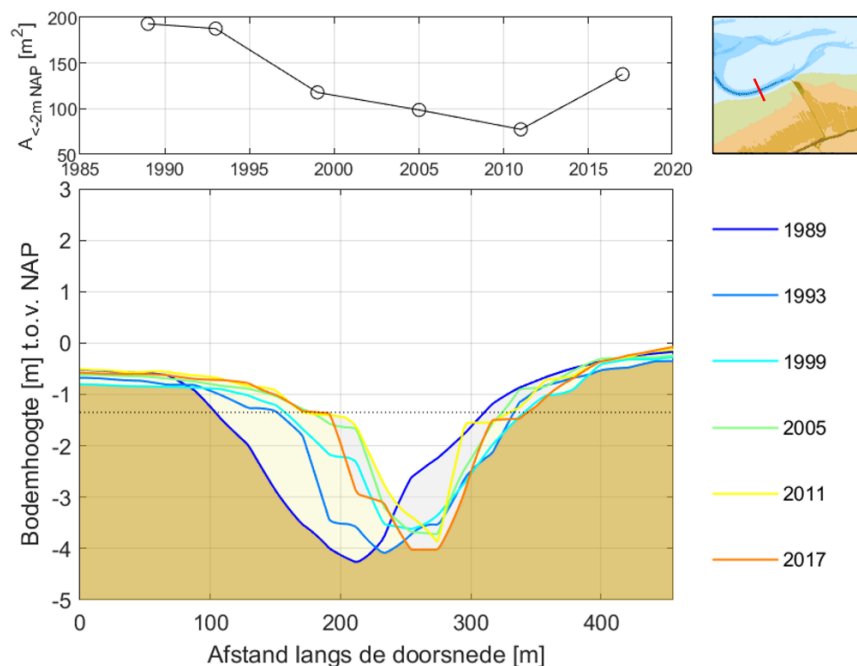
2.4.2.1 Ontwikkeling Holwerd – VA13

Het traject Holwerd – VA13 (weergegeven in Figuur 2-21) is een geulstaart die de afgelopen decennia aanzienlijk smaller en ondieper is geworden en zich steeds verder heeft teruggetrokken (Deltares & Arcadis 2022). De morfologische veranderingen die bij geulstaarten leiden tot toenemende baggervolumes (zoals de afname van het lokale kombergingsvolume) zijn over het algemeen trendmatige langjarige veranderingen. De mogelijkheden om de baggerinspanningen te verkleinen bij gelijkblijvende geuldimensies zijn hierdoor beperkt (Deltares & Arcadis 2022). De geuldoorsnede in Figuur 2-22 laat zien dat het doorstroomoppervlak vanaf 1989 met ca 50% is afgenomen. Vanaf het meetpunt uit 2011 neemt het doorstroomoppervlak van de geul weer licht toe, als gevolg van baggerwerkzaamheden en een verruiming van de vaargeuldimensies.



Figuur 2-21 Kaarten van het traject Holwerd – VA13 in 1989 (links) en 2017 (rechts), waarbij de witte gestreepte lijn de vaarweg weergeeft. De rode gestreepte lijn geeft de in 2019 gebaggerde bochtafsnijding weer. De dunne zwarte stippellijn geeft de -3.8 m contour, de onderhoudsdiepte van de vaarweg.

Het lokale kombergingsvolume van deze geulstaart is de afgelopen decennia gestaag afgenomen. Deze ontwikkeling is in kaart gebracht door Witteveen + Bos (2022b). Deze afname wordt veroorzaakt door een combinatie van het westwaarts verplaatsen van het wantij nabij de Friese kust, sedimentatie van de wadplaten en groei van de kwelders rondom de veerdam, waarbij de verplaatsing van het wantij de belangrijkste bijdrage levert. Door dit afnemende kombergingsvolume is het debiet door de geul afgenomen, wat leidt tot een kleinere evenwichtsdoorsnede en daarmee gepaard gaande sedimentatie.



Figuur 2-22 Doorsnede door het laatste deel van de geul nabij de veerdam van Holwerd.

Door de lokale morfologische processen, met name het lokaal sterk verhogen van sommige platen rond de vaargeul, is de maximale ebstroom in het zuidelijke deel van de geulstaart meer afgenomen dan de maximale vloedstroom (Deltares 2016c; Deltares 2016d). De getijstrooming is hierdoor minder ebdominant (c.q. meer vloeddominant) geworden. Deze verandering in getij-asymmetrie bevordert het sedimenttransport naar de geul.

Ook de hoge slibgehalten in het gebied nabij de Friese kust spelen hier mee (Witteveen + Bos 2022b). Het slib dat in het meest zuidelijke deel van de vaargeul wordt gebaggerd heeft een relatief hoge dichtheid, wat wijst op een hoge mate van consolidatie. Dit slib komt bij vloed de geul binnen als een hoog geconcentreerde suspensie. Door de fysisch-chemische eigenschappen van het lokale slib-zand mengsel is er sprake van een zeer snelle valsnelheid en consolidatie (Deltares 2016d). De eerste kilometer van de vaargeul doorsnijdt de voet van een slibrijke plaat ten westen van de veerbootsteiger. Er zijn aanwijzingen dat slib dat op de platen rond de geul sedimenteert onder invloed van scheepsgolven en lokale stromingen in de vaargeul terecht komt (Deltares 2016c). De effectieve oppervlakte waarover de geul sediment invangt is daardoor hoger dan de oppervlakte van de geul zelf.

Het traject Holwerd – VA13 is uniek in de frequentie en lengte van het baggertraject. Daardoor zijn er hier, in tegenstelling tot overige baggerlocaties in de Waddenzee, aanwijzingen dat de lokale morfologie op twee manieren wordt beïnvloed door de baggerwerkzaamheden (Waddenacademie 2024). Ten eerste is de dwarsdoorsnede van de vaargeul groter dan de evenwichtsdoorsnede. Als gevolg hiervan nemen de stroomsnelheden af neemt de sedimentatie in de geul toe.

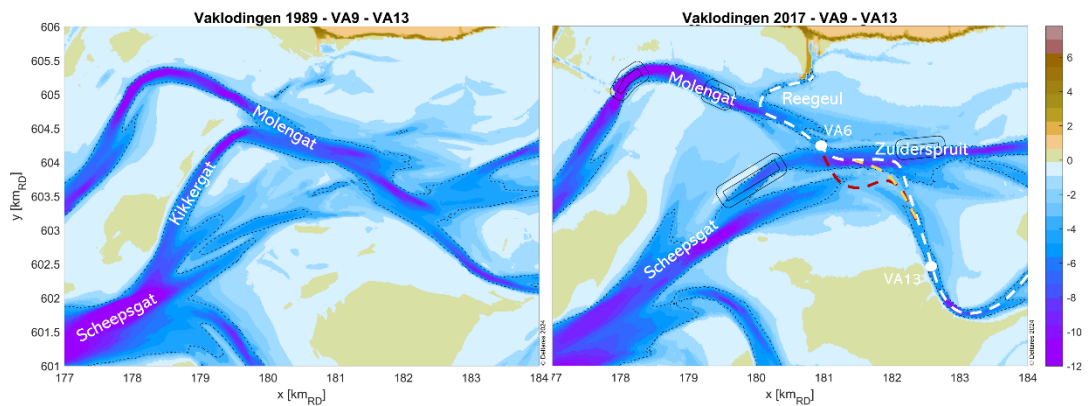
Daarnaast is het meanderende karakter van deze geulstaart onder invloed van het baggerwerk steeds verder toegenomen, waardoor de lengte van de vaarweg toenam. Vergelijking met andere (niet gebaggerde) geulen heeft uitgewezen dat het baggeren van de geul heeft geleid tot verdere uitbochtiging dan bij natuurlijke geulen zou optreden. Omdat de geuldoorsnede van de bocht kunstmatig groot wordt gehouden wordt het natuurlijke ontstaan van nieuwe kortsluitingen en/of vloedscharen geremd (Arcadis 2018). In het voorjaar van 2019 is een bochtafsnijding uitgevoerd, waarbij de vaarroute met ca 750m is verkort (te zien in Figuur 2-21). De effecten van deze bochtafsnijding zijn geëvalueerd met behulp van modelberekeningen en

een vergelijking met metingen (Deltares 2020). Uit de berekeningen blijkt dat door aanleg van de bochtafsnijding de snelheden en debieten in de bochtafsnijding toenemen. Ten oosten van de bochtafsnijding leidt de ingreep tot iets hogere peeksnelheden bij eb in de vaargeul bij Holwerd, wat volgens de berekeningen in Deltares (2020) leidt tot iets minder netto aanslibbing in de eerste drie kilometer van de vaargeul bij Holwerd.

2.4.2.2 Ontwikkeling VA9 – VA13

In het noordelijke deel van de veerroute zijn tussen 2011 en 2016 meerdere zandige drempels ontstaan, die sinds 2016 hebben geleid tot een toename van het baggerbezwaar. Dit is een dynamisch gebied dat het kruispunt vormt van verschillende geulen; Molengat, Kikkergat, Scheepsgat en Veerbootgat (Figuur 2-23). De drempels zijn het gevolg van eb- en vloedscharen die ontstaan door het splitsen en samenkomen van geulen (Witteveen + Bos 2022b).

De morfologische ontwikkeling van dit deelgebied is beschreven in Deltares (2023). Uit bodemkaarten van 1989 blijkt dat het Molengat in deze periode noordwest – zuidoost georiënteerd was en aansloot op de vaargeul naar Holwerd (Figuur 2-23). In de periode daarna is het Kikkergat verzand en heeft het Scheepsgat zich in noordoostelijke richting uitgebreid. Doordat ook het Molengat zich westwaarts heeft teruggetrokken is er ruimte ontstaan voor een west-oostwaarts georiënteerde Zuiderspruit, die de aansluiting tussen het Molengat en de vaargeul naar Holwerd doorkruist. Ten zuiden van de Zuiderspruit is een nieuw en dynamisch ondieptegebied ontstaan met sterke geulmigratie, waar de vaargeul doorheen loopt.

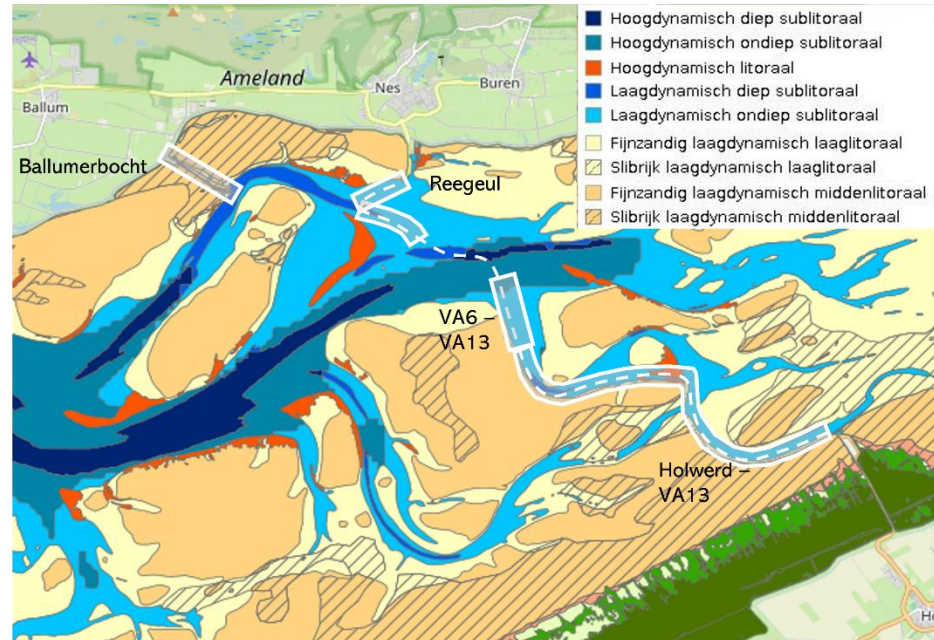


Figuur 2-23 Overzichtskaart bodemligging van het traject VA9 – VA13 in 1989 en 2017. De witte gestreepte lijn geeft de veerbootroute voor de geulverlegging van 2022 weer. De rode gestreepte lijn geeft de locatie van de geul tussen september 2022 en 2023, de gele lijn na de meest recente verlegging in 2023. De dunne zwarte stippellijn geeft de -3.8 m contour, de onderhoudsdiepte van de vaarweg.

Tot 2022 liep de vaarroute door het drempelgebied ten zuiden van de Zuiderspruit en maakte een scherpe hoek bij het uitmonden van de vaargeul in de Zuiderspruit. De ebschaar die westelijk van deze vaargeul op natuurlijke wijze was ontstaan leek een logisch alternatief voor de toenmalige route. In september 2022 is deze geulverlegging gerealiseerd. De oorspronkelijke doorsteek door de drempel die werd opgehouden door het baggeronderhoud is sinds de geulverlegging snel gedegenerend. Echter is de nieuwe geul door hoge stroomsnelheden sterk gaan uitbochten, met migratiesnelheden van soms 1 meter per dag. Hierdoor zijn wekelijkse inspanningen van lodingen en verlegging van de betonning noodzakelijk en is de bevaarbaarheid lastig door de sterke dwarsstroming, smalle doorgang en scherpe bocht die is ontstaan door het uitbochten (Deltares 2023). In 2023 is de geul daarom opnieuw verlegd (zie Figuur 2-23).

2.4.3 Ontwikkeling ecotopen op baggerlocaties

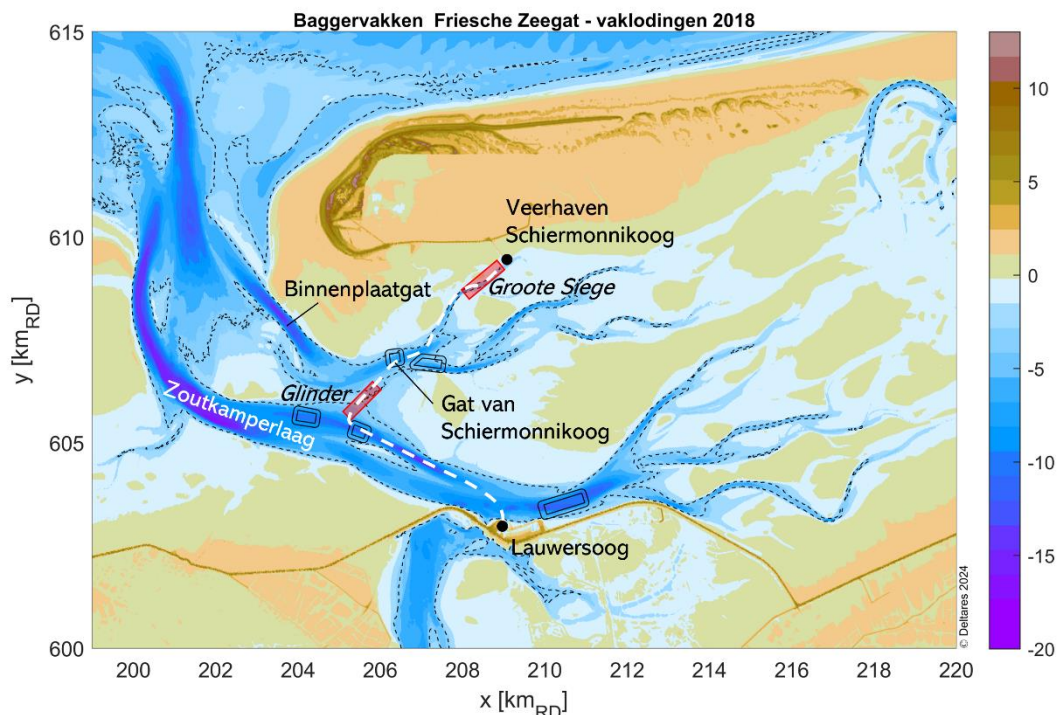
Volgens de Ecotopenkaart 2017 wordt vrijwel de gehele veerroute (met uitzondering van het deel door de Zuiderspruit), inclusief alle locaties waar baggeronderhoud plaatsvindt, geclassificeerd als laagdynamisch, met uitzondering van het drempelgebied bij het oversteken van de Zuiderspruit (Figuur 2-24). Op basis van de toenemende slibgehalten en toename van het plaatareaal kan worden verondersteld dat het laagdynamische gebied toeneemt. Dit geldt met name in het baggertraject Holwerd – VA13 nabij de vastelandskust van Friesland, waar ook de stroomsnelheden afnemen en de geul een slibrijke wadplaat doorsnijdt (Deltares 2020b; Deltares 2021b).



Figuur 2-24 Ecotopenkaart Borndiep met de verdeling in hoog- en laagdynamische gebieden. De actuele baggerlocaties zijn aangegeven in wit, de witte stippellijn is de veerbootroute. Aangepast van: Digitale systeemrapportage Wadden.

2.5 Friesche Zeegat

In het Friesche Zeegat wordt gebaggerd op twee locaties op de veerroute naar Schiermonnikoog: de Glinder en Grootte Siege. Daarnaast vinden grote veranderingen en sterke sedimentatie plaats in de huidige hoofdgeul Zoutkamperlaag. Dat betekent dat in deze geul op termijn mogelijk ook onderhoud uitgevoerd moet worden.

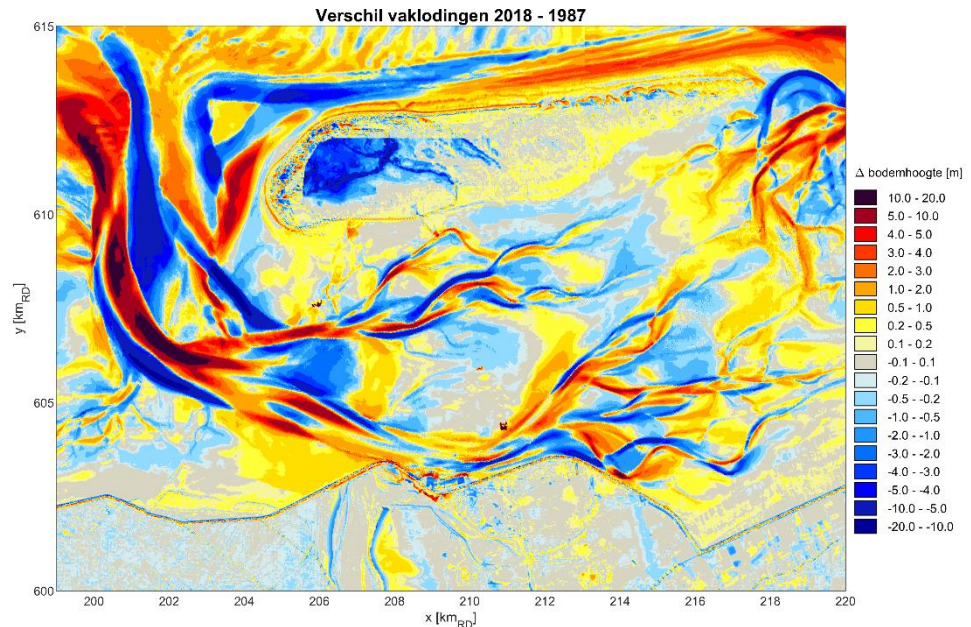


Figuur 2-25 Overzichtskartaal Friesche Zeegat met baggerlocaties in rood. De verspreidingsvakken zijn aangegeven met zwarte lijnen. De veerroute is aangegeven met een witte stippellijn.

2.5.1 Ontwikkeling bekken

Het Friesche Zeegat is een samengesteld zeegat en bestaat uit het Pinkegat in het westen en het zeegat van de Zoutkamperlaag in het oosten met de gelijknamige hoofdgeul, gescheiden door het Rif en de Engelsmanplaat. In het Pinkegat vinden geen baggerwerkzaamheden plaats. In het bekken van de Zoutkamperlaag vindt vaargeulonderhoud plaats bij de Glinder (de verbindingsgeul over de drempel tussen de Zoutkamperlaag en het Gat van Schiermonnikoog, zie Figuur 2-25) en de Grootte Siege (het laatste deel van de geulstart bij de veersteiger van Schiermonnikoog).

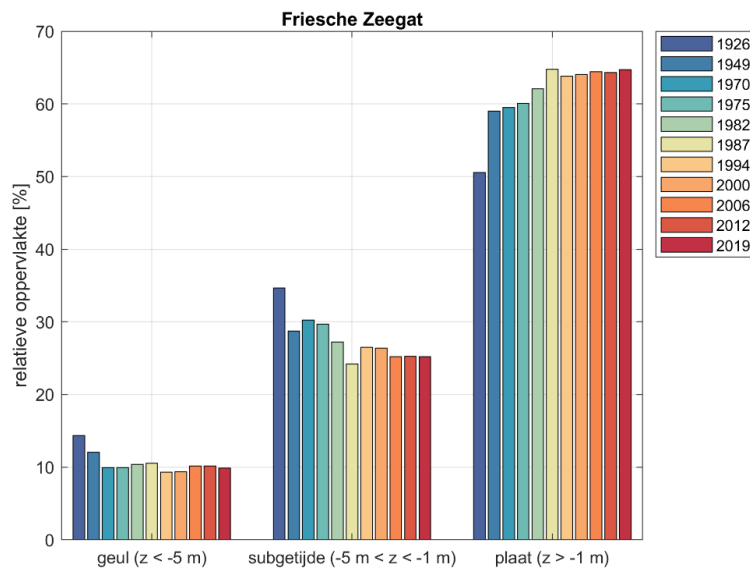
Het kombergingsgebied Zoutkamperlaag is sterk beïnvloed door de afsluiting van de Lauwerszee in 1969, die het getijvolume met ca. 35% heeft verkleind (Oost 1995). Als gevolg hiervan is sterke sedimentatie opgetreden in de hoofdgeul (Figuur 2-26). In de jaren na de afsluiting werd er veel sediment geïmporteerd in het bekken, 2,02 miljoen m³/jr. tussen 1933 en 2015 (Deltares 2017a; Deltares 2019). Sinds 1990 is de snelheid van deze sedimentimport gestagneerd, al vindt er nog steeds netto sedimentatie plaats (0,35 miljoen m³/jr. in 1991 – 2015 waarvan ca 15% slib; Deltares 2019; Deltares 2020b). Door deze sedimentatie is het areaal aan diepe geulen en subgetijdegebied afgenomen, terwijl het plaatareaal toenam (Figuur 2-27). De gemiddelde geuldiepte nam tot 1970 toe en neemt sindsdien af: hier is een duidelijke trendbreuk te zien na de afsluiting van de Lauwerszee (Deltares 2017a).



Figuur 2-26 Erosie en sedimentatie in het Friesche Zeegat tussen 1987 en 2018 op basis van vakkodungen data.

Door de afsluiting verplaatste het zwaartepunt van het bekken van de Zoutkamperlaag zich van het zuiden naar het oosten. In de jaren na de afsluiting schoof het wantij enkele kilometers oostwaarts en breidden de geulen in het oostelijke deel van het bekken zich sterk uit (Rijkswaterstaat 1986). Na geleidelijke morfologische aanpassingen is het oostelijk verplaatst van het wantij de laatste jaren gestagneerd en is het wantij in het zuidelijke deel van het bekken weer deels teruggeschoven.

Sinds de afsluiting vindt een transitie plaats van een ééngeulensysteem waarin de Zoutkamperlaag als hoofdgeul het volledige bekken bediende, naar een tweegeulensysteem (Deltares 2024). Het Binnenplaatgat, dat sinds 2000 oostelijk van de Zoutkamperlaag is gevormd en in een hoog tempo uitdiept, wordt steeds belangrijker voor de afwatering van het noordoostelijke gedeelte van het bekken. Modelberekeningen laten zien dat het debiet door het Binnenplaatgat toeneemt, ten koste van het debiet in de Zoutkamperlaag (Arcadis 2023). In paragraaf 2.4.2 wordt in meer detail op deze ontwikkeling ingegaan.



Figuur 2-27 Ontwikkeling van het relatieve oppervlakte van de geulen, subgetijdegebied en het plaatareaal in het Friesche Zeegat ten opzichte van het totale bekken.

De slibgehalten in het bekken zijn het hoogst in het zuidelijke deel van het bekken en bij het wantij van Schiermonnikoog. Er is een trendbreuk zichtbaar in de slibvolumes na 1971, waarna de slibsedimentatie sterk is toegenomen. Dit is waarschijnlijk een gevolg van de afsluiting. Vooral het wantij van Schiermonnikoog is in deze periode slibrijker geworden (Deltares 2020b).

De verwachte toekomstige ontwikkeling van de Zoutkamperlaag en implicaties hiervan voor het vaargeulbeheer zijn beschreven in Deltares (2024a). De sedimentimport in het bekken is niet meer zo sterk als in de jaren na de afsluiting, maar er is nog altijd sprake van een trend van netto sedimentatie. Ook blijkt uit modelsimulaties dat het debiet door het zeegat nog altijd licht afneemt (Arcadis 2023). De verschuivende balans tussen de hoofdgeulen Zoutkamperlaag en Binnenplaatgat heeft potentieel effect op de bereikbaarheid van Lauwersoog. In het geval dat het Binnenplaatgat verder blijft groeien bestaat de kans dat deze de functie van de Zoutkamperlaag als hoofdgeul over zal nemen. Dit zal de morfologie van het drempelgebied waarin de Glinder ligt sterk beïnvloeden en heeft gevolgen voor de bevaarbaarheid van de Zoutkamperlaag, de huidige verbinding tussen Lauwersoog en de Noordzee.

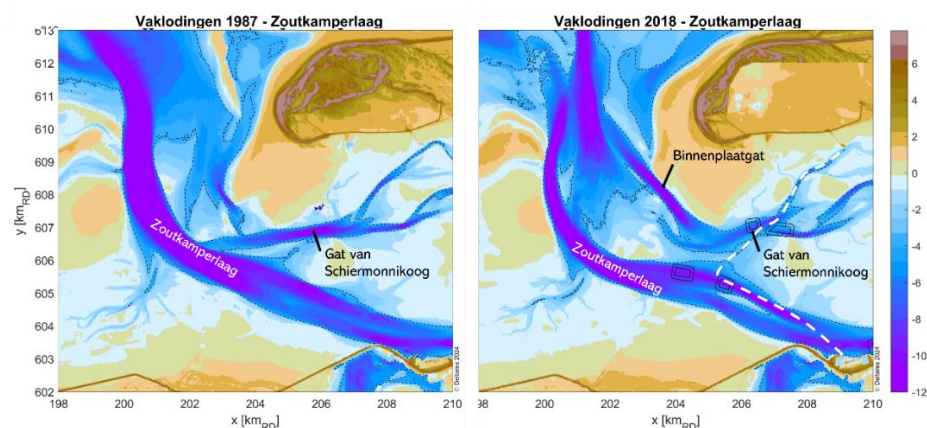
2.5.2 Morfologische ontwikkeling baggerlocaties

In het Friesche Zeegat zijn (potentiële) knelpunten aan te wijzen bij de volgende geulen:

- Zoutkamperlaag: zie 2.5.2.1. In deze geul vinden momenteel geen baggerwerkzaamheden plaats, maar deze wordt beschouwd als potentieel toekomstig knelpunt.
- Glinder: zie 2.5.2.2
- Grote Siege (niet verder uitgewerkt in dit rapport): Dit is het deel van de vaargeul nabij Schiermonnikoog. Deze geul liep in het verleden door tot oostelijk van de veerdam, maar heeft zich in de jaren '80 en '90 teruggetrokken en eindigt nu bij de veerdam. Deze terugtrekking is te wijten aan een combinatie van de aanleg van de veerdam en concurrentie met het iets zuidelijker gelegen geulsysteem Brakzandstergat, dat in die tijd aan belang won. De laatste decennia zijn zowel Grote Siege als Brakzandstergat stabiel qua ligging en debieten en er worden in de nabije toekomst hier geen knelpunten verwacht. Voor meer informatie zie de knelpuntanalyse Glinder – Grote Siege (Deltares 2024).

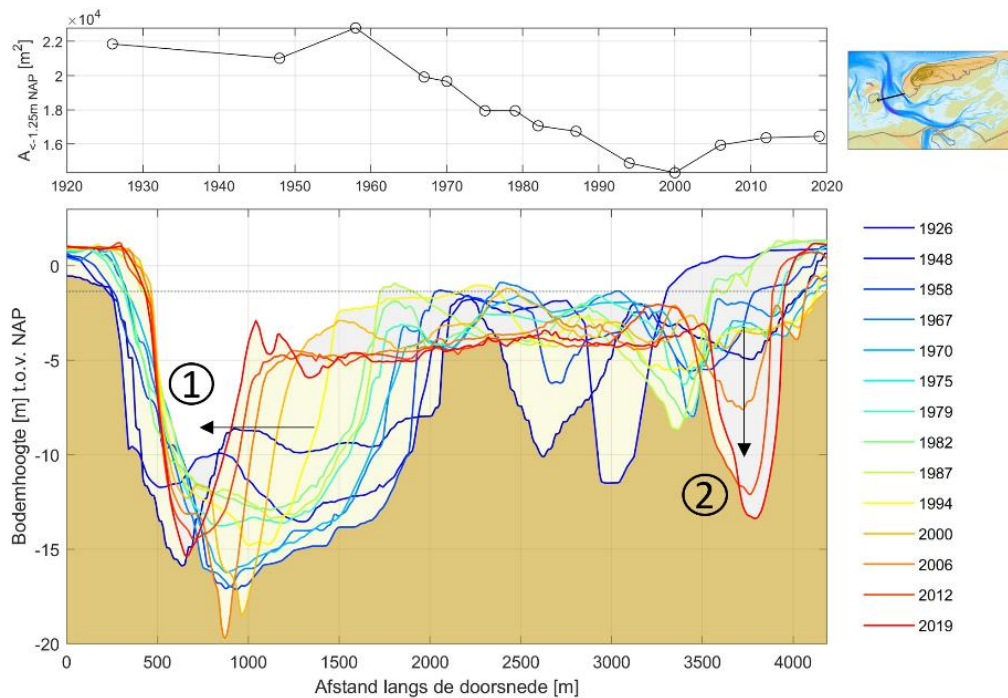
2.5.2.1 Ontwikkeling Zoutkamperlaag

De geul Zoutkamperlaag vormt de verbinding tussen de haven van Lauwersoog en de Noordzee (Figuur 2-28). Daarnaast is het zuidelijke deel van de Zoutkamperlaag onderdeel van de veerroute naar Schiermonnikoog.



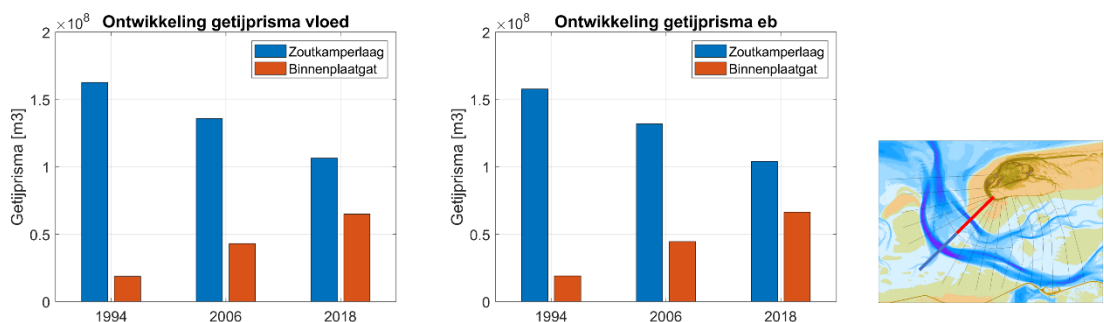
Figuur 2-28 Overzichtskaart bodemligging van de Zoutkamperlaag in 1987 en 2018. De witte gestreepte lijn toont de veerbootroute naar Schiermonnikoog. De dunne zwarte stippellijn geeft de -3.5 m contour, de onderhoudsdiepte van de vaarweg naar Schiermonnikoog.

Sinds de afsluiting van de Lauwerszee heeft er veel sedimentatie plaatsgevonden in de Zoutkamperlaag. De geul is smaller en ondieper geworden en is steeds verder gaan uitbochten (Figuur 2-28 en Figuur 2-29). Deze ontwikkeling is voor een groot deel veroorzaakt door een afname van het getijprisma na de afsluiting van de Lauwerszee en recenter door concurrentie met het nieuw gevormde Binnenplaatgat. Modelberekeningen laten een afname van het debiet door de Zoutkamperlaag zien tussen 1994 en 2018, gelijktijdig met een toename van het debiet in het Binnenplaatgat (Figuur 2-30; Arcadis 2023; Deltares 2024). Door het afnemende debiet is de Zoutkamperlaag steeds meer gaan uitbochten en ontstaan er drempels in het zuidelijk deel van de Zoutkamperlaag.



Figuur 2-29 Doorsnede door de Zoutkamperlaag en het Binnenplaatgat. (1) Versmalling en uitbochten van de Zoutkamperlaag. (2) Snelle vorming en uitdiepen van het Binnenplaatgat. Figuur overgenomen uit Deltares (2024a).

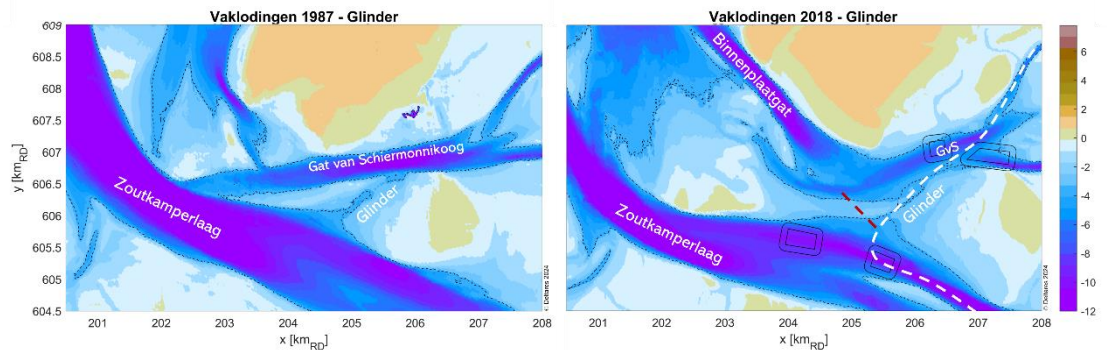
Actueel vindt er geen baggeronderhoud plaats in de Zoutkamperlaag, maar verdere verzanding en drempelvorming zou hier in de toekomst een knelpunt voor de bevaarbaarheid kunnen vormen. Hierdoor zou er in de zuidelijke Zoutkamperlaag een onderhoudsvraag kunnen ontstaan, waardoor de baggervolumes in het Friesche Zeegat behoorlijk toe kunnen nemen.



Figuur 2-30 Ontwikkeling van het getijprisma door de Zoutkamperlaag en het Binnenplaatgat in 1994, 2006 en 2018 op basis van modelberekeningen door Arcadis (2023). Figuur overgenomen uit Deltares (2024a).

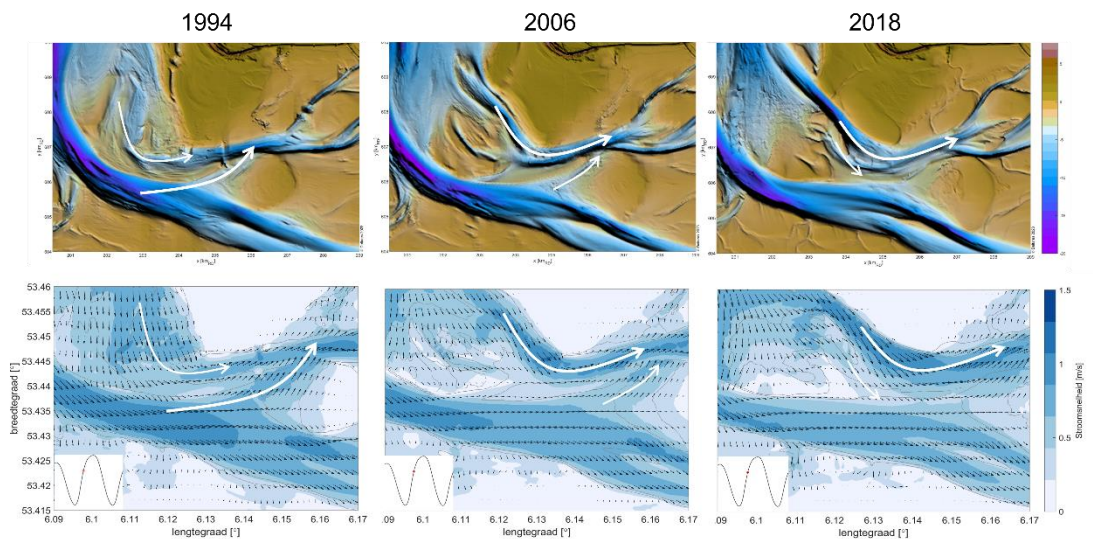
2.5.2.2 Ontwikkeling Glinder

De Glinder vormt de verbinding tussen de Zoutkamperlaag en het Gat van Schiermonnikoog en is daarmee een essentieel onderdeel van de veerroute naar Schiermonnikoog. De Glinder bevindt zich in een dynamisch drempelgebied dat sterk verbonden is met de ontwikkelingen van de hoofdgeulen eromheen. Er vindt baggeronderhoud plaats om de geul bevaarbaar te houden, en de baggervolumes zijn sinds 2005 toegenomen (Deltares 2022).



Figuur 2-31 Overzichtskaart bodemligging van het drempelgebied rondom de Glinder in 1987 en 2018. De witte gestreepte lijn toont de veerbootroute naar Schiermonnikoog. De rode gestreepte lijn geeft de voorgestelde verlegging door Arcadis (2023). De dunne zwarte stippellijn geeft de -3.5 m contour, de onderhoudsdiepte van de vaarweg.

Door de veranderende balans tussen de Zoutkamperlaag en het Binnenplaatgat verandert ook de stroomrichting over het drempelgebied waarin de Glinder ligt. In de jaren '80 en '90 werd de Glinder op diepte gehouden door een stroming vanuit de Zoutkamperlaag richting het noordoosten (linker paneel in Figuur 2-32). In de jaren daarna nam deze stroming af omdat het Gat van Schiermonnikoog steeds meer gevoed werd door het nieuw ontstane Binnenplaatgat (midden en rechter paneel in Figuur 2-32). Hierdoor is de overheersende stroomrichting in het drempelgebied nu parallel op de Glinder, waardoor sedimentatie in de Glinder optreedt en het baggerbezwaar toeneemt.



Figuur 2-32 Overzicht van de ontwikkelingen in morfologie (boven) en hydrodynamica (onder, op basis van modelberekeningen van Arcadis (2023)) in het drempelgebied rondom de Glinder in 1994, 2006 en 2018.

In Arcadis (2023) is een verlegging van de Glinder voorgesteld die beter aansluit op de overheersende stroomrichting (rode gestreepte lijn in Figuur 2-31). De verwachting is dat door deze ingreep, die in 2024 uitgevoerd wordt, het baggerbezwaar zal verlagen.

Op langere termijn is de ontwikkeling van de Glinder sterk afhankelijk van de verhouding tussen de twee hoofdgeulen in het bekken. Indien de noordwest-zuidoost gerichte stroming vanuit het Binnenplaatgat naar het zuidelijk deel van de Zoutkamperlaag verder toeneemt bestaat de mogelijkheid dat zich hier een doorbraak zal vormen, waardoor het baggeronderhoud verder af zou kunnen nemen (Deltares 2024). De toekomstige ontwikkeling van de Glinder is onzeker en sterk afhankelijk van de ontwikkelingen op grotere schaal.

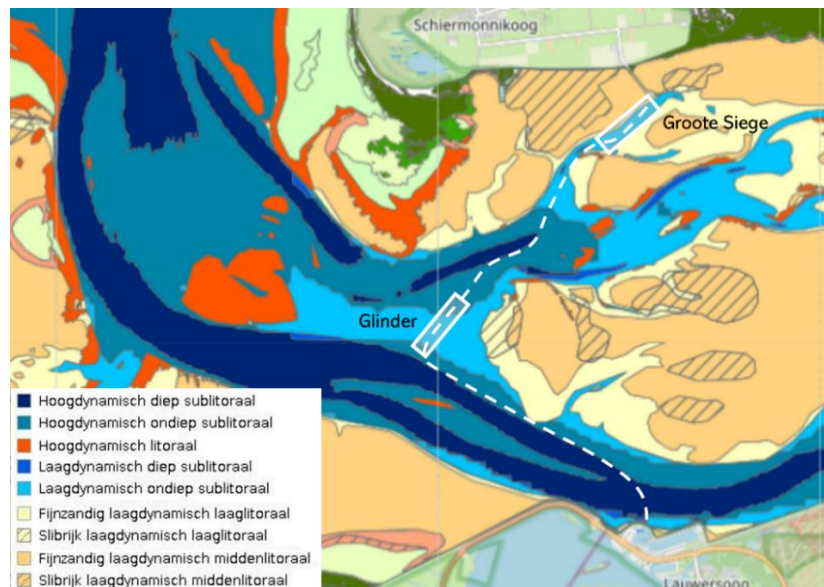
2.5.3 Ontwikkeling ecotopen op baggerlocaties

Groote Siege

De Ecotopenkaart 2017 classificeert de Groote Siege als laagdynamisch (Figuur 2-33). Het gebied waarin de Groote Siege zich bevindt wordt gekenmerkt door geulstaarten met relatief kleine debieten. Dit gebied is morfologisch gezien stabiel; er is geen sprake van een sterke trend van erosie of sedimentatie. Uit modelresultaten blijkt dat de stroomsnelheden in de Groote Siege sinds 1994 relatief constant zijn (Deltares 2024).

Glinder

De Glinder wordt volgens de definitie van de Ecotopenkaart (op basis van stroomsnelheden) aangeduid als 'laagdynamisch' maar is ondanks de lagere stroomsnelheden morfologisch gezien zeer dynamisch. Het gebied wordt ingeklemd tussen de twee hoofdgeulen en er vinden veel bodemveranderingen plaats. Het hier gebaggerde materiaal is zandig en bevat weinig slib (Deltares 2022). Hierdoor zal de impact van de baggerwerkzaamheden op ecologie en morfologie in dit gebied waarschijnlijk meevallen.

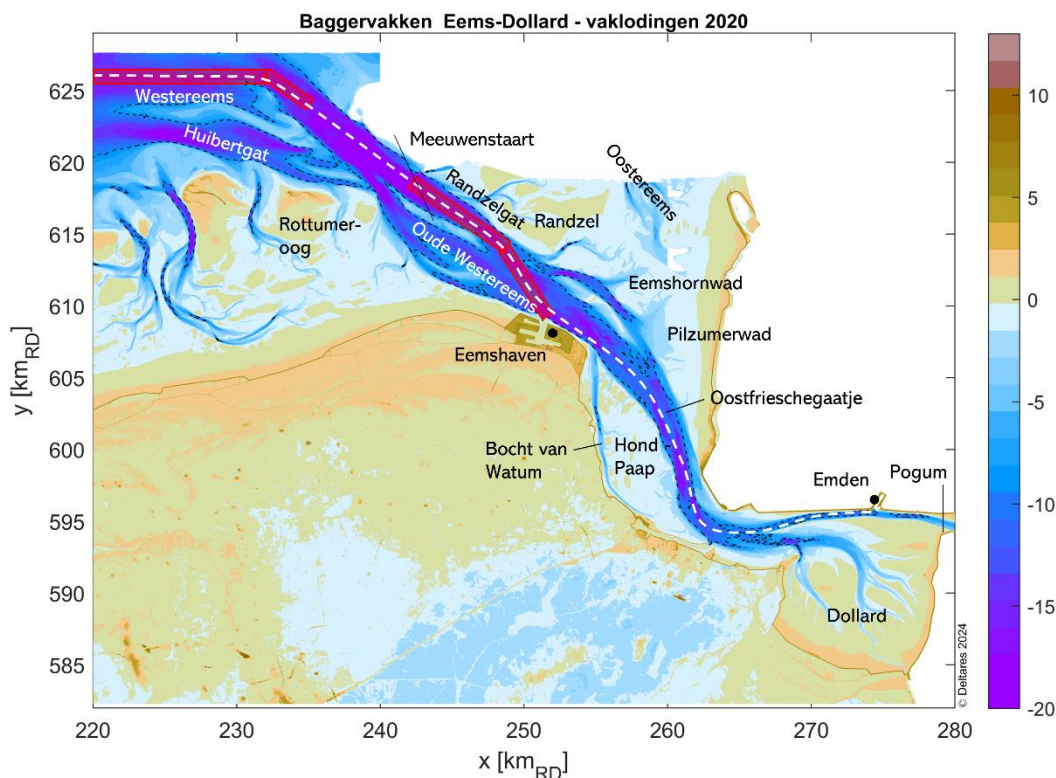


Figuur 2-33 Ecotopenkaart van de Zoutkamperlaag met de verdeling in hoog- en laagdynamische gebieden. De actuele baggerlocaties zijn aangegeven in wit, de witte stippellijn is de veerbootroute Aangepast van: Digitale systeemrapportage Wadden.

2.6 Eems – Dollard

Het Eems-Dollard estuarium omvat de vaarweg naar de Eemshaven, Delfzijl en Emden en sluit aan op de Eemsrivier in Duitsland. De geul van de Noordzee naar de Eemshaven heeft een streefdiepte van -15m NAP, de geul naar Emden -9m NAP. Het gebied dat als estuarium wordt aangeduid ligt tussen de riviermonding bij Pogum en de monding zeewaarts van Rottumeroog en Borkum en beslaat ongeveer 500 km². In het estuarium komt zoet water uit de Eemsrivier samen met zout zeewater. Dit leidt vooral landwaarts van Eemshaven tot een sterk variabel zoutgehalte (saliniteit) en een complexe waterbeweging.

Zoals in vele estuaria zijn ook in het Eems-Dollard estuarium veel menselijke activiteiten ontplooid. De morfologie van het estuarium wordt daarom, naast het getij, voor een groot deel bepaald door menselijke ingrepen (Rijkswaterstaat, 1998). De dijken die het gebied omringen en de landaanwinningswerken zijn daarvan een duidelijk voorbeeld. Andere belangrijke ingrepen zijn de verdiepingen en het continue onderhoud van de vaargeulen, de bouw van de Geisedam (1961-1968), het Zeehavenkanaal van Delfzijl (1971-1972), de Eemshaven (1973). Door de landaanwinningen is het intergetijdengebied afgenomen. Door getij-asymmetrie en gravitatie-circulatie wordt vooral fijn sediment landwaarts getransporteerd en vormt er zich een troebelheidsmaximum ter hoogte en stroomopwaarts van Emden (Van de Kreeke, 1996; Winterwerp, 2011). De verdere verdieping van de vaargeulen in Nederland en Duitsland heeft waarschijnlijk geleid tot een verhoogde mate van vertroebeling in het Eems-Dollard estuarium (Deltares & Royal HaskoningDHV 2022, Deltares 2024e).



Figuur 2-34 Overzichtkaart Eems-Dollard. De zwarte stippellijn geeft de -9m NAP contour (tevens de eis voor toegang naar de haven van Emden). De witte gestreepte lijn geeft de vaarroute naar de Eemshaven en de haven van Emden. De belangrijkste baggerlocaties zijn aangegeven in rood.

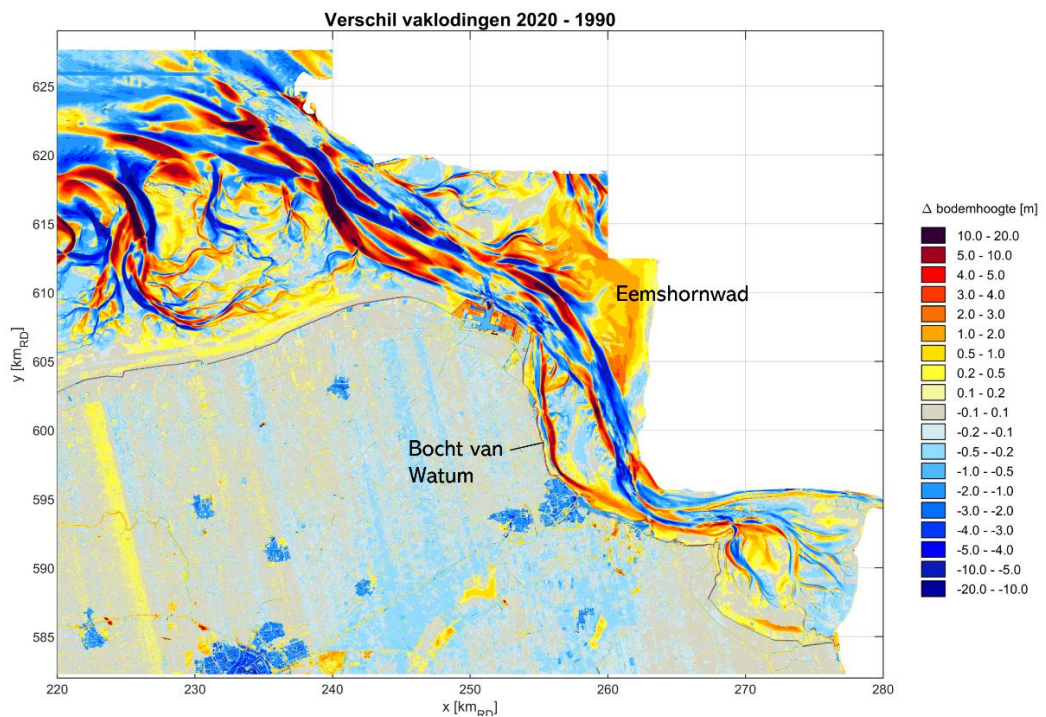
2.6.1 Ontwikkeling bekken

De grootste verandering in het geulenpatroon van de Eemsmonding in de afgelopen eeuw is het verdwijnen van de geulverbinding tussen de geulen Oostereems en Westereems. Tegenwoordig ligt hier een wantij, dat wordt gevormd door de platen en ondieptes Randzel, Eemshornwad en het Pilzumerwad. Direct zeewaarts van Eemshaven stroomt het grootste deel van het water door de geulen Randzelgat en de Oude Westereems (Figuur 2-34).

De grootste dynamiek treedt op in de Eemsmonding, zeewaarts van Rottumeroog. Relevante veranderingen in de afgelopen decennia bestaan vooral uit een bijzonder snelle bodemveranderingen door migratie van geulen en platen in het gebied waar het Huibertgat en de Oude Westereems op elkaar aansluiten (ten noordoosten van Rottumeroog), en het noordoostwaarts migreren van de Oude Westereems, waardoor de ondiepte tussen Oude Westereems en Randzelgat, de Meeuwenstaart, smaller is geworden.

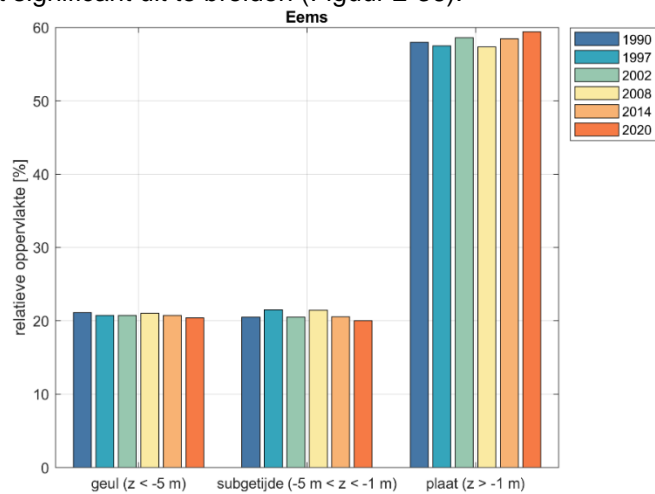
In het estuarium varen grote schepen met als voornaamste bestemmingen Eemshaven en Emden. Deze maken gebruik van een vaargeul door het Randzelgat en de Westereems, die voor dit doel met baggerwerkzaamheden op diepte wordt gehouden.

De recente morfologische ontwikkelingen zijn in kaart gebracht door Deltares (2021e). Een vergelijking tussen de bodem van 1990 en de huidige bodem laat zien dat de hoofdgeul, die de toegang vormt tot de Eemshaven en de haven van Emden, op veel plaatsen is verdiept (Figuur 2-35). Het is echter niet duidelijk of dit een natuurlijke ontwikkeling is, of een direct gevolg van baggerwerkzaamheden. Op de wadplaten is sprake van continue sedimentatie en ophoging, met name op het Eemshornwad, dat sinds 1990 met een meter is opgehoogd. Ook in Bocht van Watum, de in onbruik geraakte oude hoofdgeul westelijk van de plaat Hond-Paap, is sprake van opvulling.



Figuur 2-35 Erosie en sedimentatie in de Eems-Dollard tussen 1990 en 2020 op basis van vaklodingen data.

Uit de volumebalans blijkt een netto sedimentimport in het Eemsestuarium van 3.5 miljoen m³/jr., waarvan 42% slib (Deltares 2021e). De bijdrage van slib aan de totale sedimentatie ligt hier veel hoger dan in de rest van de Waddenzee. In deze volumebalans is de 'extra' sedimentimport om te compenseren voor bodemdaling, sedimentonttrekkingen en kweldersedimentatie niet meegenomen. Wanneer deze ook worden beschouwd is de totale sedimentimport 7.3 miljoen m³/jr., waarvan ruim de helft slib (Deltares 2021e). Deze sedimentimport uit zich vooral in een ophoging van de platen en het plaatareaal lijkt tussen 1990 en 2020 niet significant uit te breiden (Figuur 2-36).

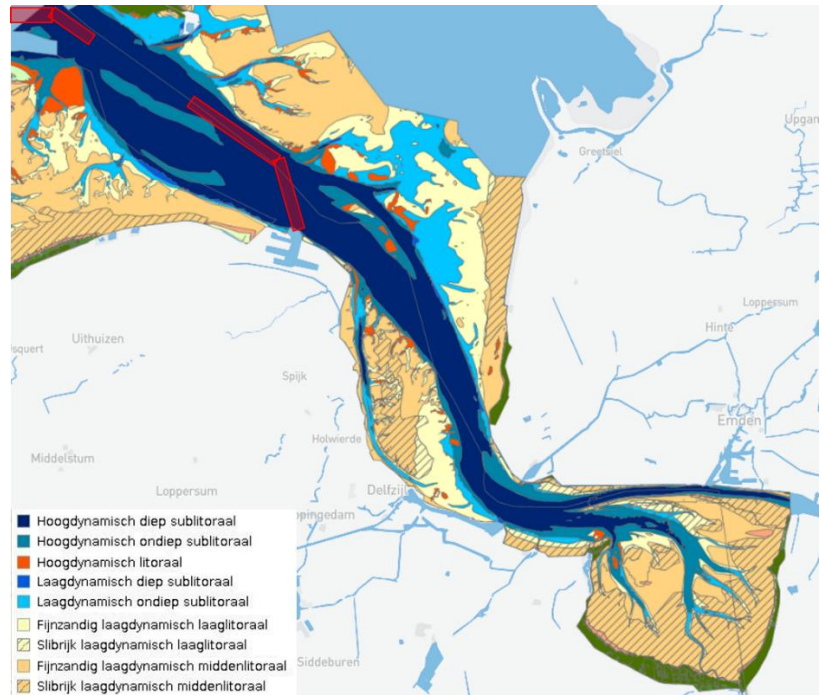


Figuur 2-36 Ontwikkeling van het relatieve oppervlakte van de geulen, subgetijdegebied en het plaatareaal in de Eems-Dollard ten opzichte van het totale bekken.

2.6.2 Ontwikkeling ecotopen op baggerlocaties

Alle baggerlocaties in de Eems-Dollard bevinden zich volgens de Ecotopenkaart in hoogdynamisch gebied (Figuur 2-37). Omdat er echter structureel over een lange afstand hoge volumes gebaggerd worden, worden lokale omstandigheden gedomineerd door de gevolgen van de baggerwerkzaamheden, met name wat betreft de slibconcentratie (Arcadis 2024).

Naast zeespiegelstijging is in het Eems-estuarium ook sprake van bodemdaling door gaswinning. Numerieke simulaties suggereren dat met versnelde zeespiegelstijging zandige gebieden slibrijker zullen worden, omdat het transport van enkel zand onvoldoende is om zandige platen geheel mee te laten groeien met zeespiegelstijging (Deltares 2019b; Royal HaskoningDHV 2019). Het is niet mogelijk om een directe vertaling te maken van deze modelvoorspellingen naar veranderingen in baggerhoeveelheden (Arcadis 2024).



Figuur 2-37 Ecotopenkaart van de Eems-Dollard met de verdeling in hoog- en laagdynamische gebieden. De actuele baggerlocaties zijn aangegeven in wit, de witte stippellijn is de vaarroute van de Noordzee naar de haven van Emden. Aangepast van: Digitale systeemrapportage Wadden.

2.7 Troebelheid

Vertroebeling kan een gevolg zijn van een verscheidenheid aan oorzaken. In deze studie beperken we ons tot het beschrijven van vertroebeling door kleine slibdeeltjes die in de waterkolom zweven (Suspended Particle Matter, kortweg SPM), omdat deze component van vertroebeling een directe link heeft met bagger- en verspreidingswerkzaamheden. Andere oorzaken van vertroebeling laat deze studie dus buiten beschouwing. Deze paragraaf beschrijft de natuurlijk voorkomende concentratie, variatie en verspreiding van SPM in de Waddenzee. Dit is de context om de effecten van baggeren op troebelheid te kunnen duiden.

Vertroebeling in Waddenzee en Eems-estuarium is onderzocht in meerdere studies. Metingen van SPM in de waterkolom zijn geanalyseerd (Deltares 2018b; Deltares 2020c, Philippart et al., 2013). Daarnaast is het KRW Slib model ontwikkeld en gekalibreerd, waarmee de ruimtelijke verdeling van SPM in kaart gebracht is en effecten van ingrepen op de troebelheid kunnen worden onderzocht (Deltares 2020d; Deltares 2021b).

2.7.1 Concentraties en natuurlijke variatie

Sinds de jaren '90 worden gehalten van zwevend stof in de waterkolom op een consistente manier verzameld bij de MWTL stations. Daarnaast is er een consistente meetreeks bij de NIOZ steiger op Texel sinds 1974. Uit statistische analyse van deze data blijkt de slibconcentratie in de waterkolom niet trendmatig te zijn toegenomen sinds de start van de metingen (Philippart et al., 2013). Gemiddelde SPM-concentraties gemeten bij de MWTL stations in de Waddenzee staan in Tabel 2:1. In het kader van het onderzoek naar abiotische condities voor ondergedoken Groot zeegras is de troebelheid in de westelijke Waddenzee gemodelleerd in 1927 (voor afsluiting van de Zuiderzee) en in 2017. Uit deze modelresultaten lijkt de troebelheid in de westelijke Waddenzee toegenomen sinds 1927 (Deltares 2024d).

Tabel 2:1 Gemiddelde SPM-concentraties in mg/L gemeten bij de MWTL meetpunten in de Waddenzee tussen 1989 en 2017 (Deltares 2020d))

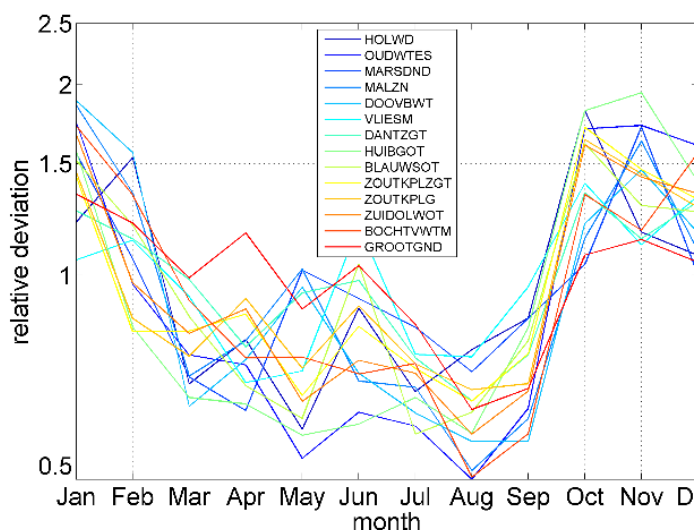
Meetpunt (locatie; bekken)	Aantal metingen	SPM-concentratie in mg/L (1989 – 2017)
<i>Westelijke Waddenzee</i>		
MARSDND (Marsdiep; Marsdiep)	524	27.4
DOOVBWT (Doove Balg; Marsdiep)	517	22.7
BOOMKDP (Boomkendsiep; Vlie buiten)	188	29.3
VLIESM (Vliestroom; Vlie)	338	26.7
<i>Oostelijke Waddenzee</i>		
DANTZGT (Dantziggat; Borndiep)	671	97.7
<i>Eems-Dollard</i>		
HUIBGOT (Huibertgat; monding Eems-Dollard)	526	15.6
ROTTUMPT3 (Rottummerplaat; monding Eems-Dollard)	225	25.0
BOCHTVWTM (Bocht van Watum; Eems-Dollard)	471	116.6
GROOTGND (Grote Gat; Eems-Dollard)	526	147.0



Figuur 2-38 SPM-concentraties op de MWTL meetpunten in de Waddenzee tussen 1989 en 2017 (getallen op basis van Deltares 2020d).

De achtergrondconcentraties van SPM in de Waddenzee zijn van nature sterk variabel en fluctueren op verschillende tijdschalen. Er is een sterke seizoensdynamiek en ook een langjarige dynamiek in de concentraties. Daarnaast fluctueert de troebelheid ook op kortere tijdschalen: binnen een enkel getij, in een springtij-doottij cyclus, en ook kortdurende meteorologische forcering zoals stormen en golven kan de concentraties voor een periode van enkele uren of dagen sterk verhogen. Aandrijvende krachten voor de natuurlijke variaties in troebelheid verschillen afhankelijk van de locatie. In geulen worden SPM-concentraties voornamelijk gestuurd door getijstrooming en dichtheidsgradiënten, terwijl op de platen golven, windopzet en bodemstabilisatie een grotere rol spelen (Deltares 2023d).

Op de tijdschaal van een jaar is een duidelijke seizoensvariatie te zien waarbij concentraties fluctueren tussen 0,5x en 2x de jaargemiddelde waarde (Figuur 2-39; Deltares 2018b). SPM concentraties zijn hoger in de winter en lager in de zomer. Dit is te verklaren door een combinatie van factoren. Enerzijds is er sprake van kalmere condities in de zomer; met name golfcondities spelen een belangrijke rol in het opwoelen en in suspensie houden van slib. Ook worden benthische algen (microfytobenthos) die in de zomer groeien in verband gebracht met het opvangen van slib uit de waterkolom en het beperken van erosie (Deltares 2021c).

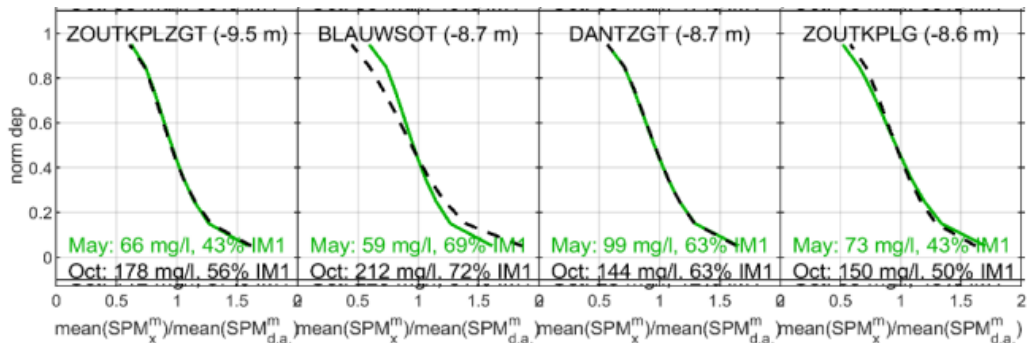


Figuur 2-39 Seizoensdynamiek in slibconcentratie bovenin de waterkolom voor MWTL-stations in de Waddenzee, uitgedrukt als afwijking ten opzichte van het jaargemiddelde. Overgenomen uit Deltares (2020c).

Wanneer meerjarige fluctuaties worden bekeken valt het op dat verschillende stations in de Waddenzee pieken op vergelijkbare momenten. Dit betekent dat er een grootschalige aandrijving verantwoordelijk moet zijn voor de fluctuaties in het zwevende stofgehalte, op de schaal van de gehele Waddenzee. Deze langjarige fluctuaties zijn tot nu toe nog niet verklaard aan de hand van fluctuaties in bijvoorbeeld meteorologie of ecologie (Deltares 2021c). Daarnaast lijkt het systeem een sterk ‘geheugen’ te hebben: een verandering in het zwevend stof gehalte blijft nog lang (soms langer dan een jaar) doorwerken in de gemeten concentraties.

2.7.2 Ruimtelijke verspreiding

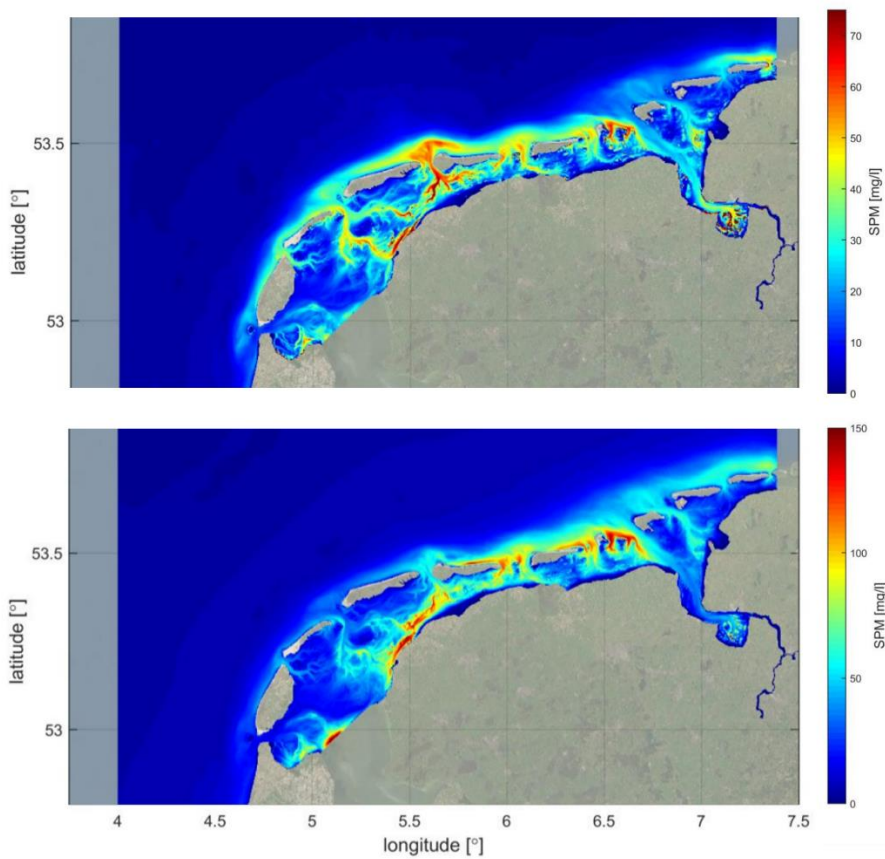
De verticale verdeling van zwevend stof over de waterkolom blijft ongeveer gelijk over de seizoenen (Figuur 2-40). De steilheid van de verticale profielen is vergelijkbaar voor verschillende stations in de Waddenzee, ondanks aanzienlijke verschillen in het maandgemiddeld zwevend stofgehalte (Deltares, Arcadis & Royal HaskoningDHV, 2020).



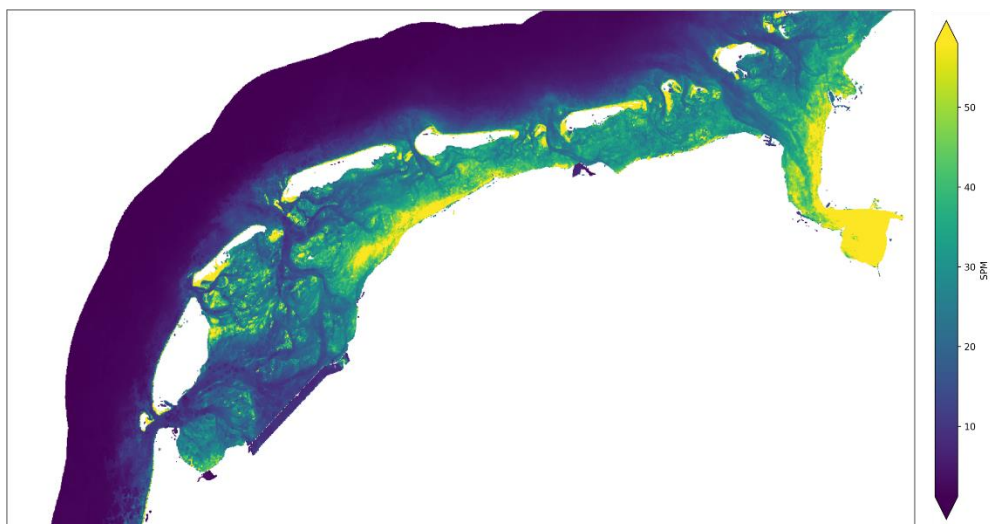
Figuur 2-40 Profielen van SPM in de waterkolom uit het KRW slib model voor mei (groen) en oktober (zwart). Onderaan elke plot staat het maandgemiddeld, dieptegemiddeld SPM voor het betreffende station. Figuur overgenomen uit Deltares, Arcadis & Royal HaskoningDHV (2020).

Ruimtelijke verspreiding over de Waddenzee is in kaart gebracht met behulp van het KRW slib model en remote sensing beelden (Figuur 2-41 en Figuur 2-42). Beide methoden hebben bepaalde beperkingen in het accuraat in beeld brengen van de ruimtelijke verspreiding: van satellietbeelden is bekend dat deze alleen de toplaag laten zien. Hierdoor worden over het algemeen SPM concentraties in geulen onderschat. Daarnaast worden de concentraties op droogvallende platen overschat (Figuur 2-42). Het KRW slib model onderschat juist de concentratie op de platen, omdat opwoeling boven platen onvoldoende wordt meegenomen. Over het algemeen kunnen concentraties boven platen hoger zijn dan in de geulen, maar zijn de concentraties op platen ook meer variabel.

In beide figuren zijn hogere SPM gehalten zichtbaar in de oostelijke Waddenzee. Met behulp van het KRW slib model is de seizoensvariatie in verspreiding in beeld gebracht. In de zomer, onder kalmere condities, doen hoge SPM gehalten zich vooral voor in de geulen en is er weinig resuspensie van slib vanaf de platen (Deltares 2020d). In oktober zijn er hogere SPM gehalten boven de platen (Figuur 2-41).



Figuur 2-41 Berekende maandgemiddelde concentratie SPM [mg/L] aan de oppervlakte met het KRW slib model in juni (boven) en oktober 2017 (onder). De kaarten tonen de verschillen in ruimtelijke verdeling tussen zomer- en wintercondities. Let op de verschillen in kleurschaal. Figuur uit Deltares (2020d).



Figuur 2-42 Jaargemiddelde SPM-concentraties aan de oppervlakte voor 2020 uit satellietbeelden (CMEMS 100m, Deltares 2022b).

3 Baggeractiviteiten

3.1 Inleiding en achtergrondinformatie

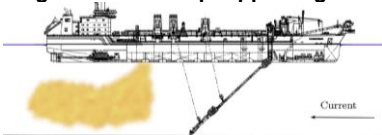
3.1.1 Opzet van het hoofdstuk

Deze beschrijving van de baggeractiviteiten in de Waddenzee en Eems-Dollard begint met algemene beschrijving (3.1.2) en beoordeling (3.1.3) van de verschillende baggermethodes en een aandachtspunt rondom de registratie van baggercijfers (3.1.4). Dit hoofdstuk geeft daarna per kombergingsgebied een overzicht van de baggercijfers en trends hierin, een uitwerking van de baggerinspanning naar ruimte, tijd, methode en sedimentsamenstelling en een indicatie van de potentiële abiotische impact van het baggeren. Zowel de baggerinspanning door Rijkswaterstaat als door de havens wordt meegenomen. Alleen het onderhoudsbaggerwerk is beschouwd en niet de baggerwerkzaamheden voor aanleg of verdieping van havens of vaarwegen.

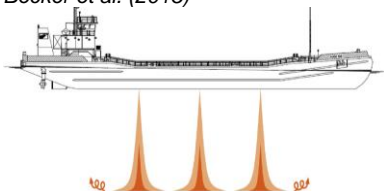
3.1.2 Toegepaste bagger- en verspreidingsmethodes

De toegepaste bagger- en verspreidingsmethodes voor de vaarwegen in de Waddenzee en Eems-Dollard staan in onderstaande tabel. Het onderhoudsbaggerwerk voor de Nederlandse havens wordt uitgevoerd met een sleephopperzuiger en verspreid op een verspreidingslocatie, met als uitzondering de haven van Delfzijl waar nagenoeg al het baggervolume met de Airset gebaggerd wordt (zie categorie agiteren in Tabel 3.1 en hoofdstuk 3.7 voor meer informatie). Het baggeren in de havens vindt plaats in de beschutte omgeving van een haven en het sediment wordt vervolgens verspreid in de Waddenzee of Eems-Dollard. Voor het baggerwerk in havens is de impact van het verspreiden relevant, maar niet zozeer van het baggeren zelf. Voor het baggerwerk in de vaarwegen is zowel het baggeren zelf als de verspreiding van het sediment relevant voor de impact. In de rest van dit hoofdstuk worden daarom voor het baggerwerk in de vaarwegen zowel de impact van baggeren als van verspreiden beschouwd en voor het havenbaggerwerk alleen de impact van het verspreiden.

Tabel 3.1 Omschrijving bagger- en verspreidingsmethodes.

Baggermethode	Omschrijving baggeren	Verspreiden
Knijpen  <i>Baggermethode knijpen, foto Rijkswaterstaat</i>	<p>Knijpen is een baggermethode waar een kraanschip het sediment opschept en in een beun transporteert naar een verspreidingslocatie. Beun en kraan kunnen op hetzelfde schip zitten, maar het kan ook gaan om een apart kraanschip en beunschip, waarbij er dus twee of meerdere schepen tegelijkertijd aanwezig zijn. Het duurt typisch enkele uren voordat het kraanschip een beun volgeladen heeft en er naar een verspreidingslocatie gevaren dient te worden. Sediment verspreiding kan optreden tijdens het ophalen van de kraanbak of grijper door de waterkolom en door overtollig proces water uit het beun wat overboord kan stromen via een overvloed. Omdat de productie van een kraanschip laag is en het sediment met een kraanschip onverdund wordt opgeschept is de overvloedbron van deze baggermethode verwaarloosbaar laag t.o.v. vertroebeling door het ophalen van de kraanbak of grijper door de waterkolom.</p>	<p>Op een verspreidingslocatie wordt het sediment uit het beun in minder dan tien minuten losgelaten door het openen van de bodemdeuren.</p>
Zuigen/storten sleephopperzuiger 	<p>Een sleephopperzuiger (TSHD) zuigt sediment op door het in de sleepkop te fluïdiseren en mengen met water en transporteert dit in zijn eigen beun naar een verspreidingslocatie. Tijdens het laden van een sleephopperzuiger stroomt het overtollige proceswater overboord via een overvloed. Het laden van een TSHD duurt</p>	<p>Op een verspreidingslocatie wordt het sediment uit het beun in minder dan tien minuten</p>

Schematisch figuur overvloeipluim TSHD uit Becker et al. (2015)



Schematisch figuur verspreiden via bodemdeuren uit Becker et al. (2015)

typisch een uur (IHC 2024). De baggeraar voor vaarweg Holwerd Ameland in 2016 heeft aangegeven slechts een kwartier nodig te hebben om een TSHD te laden (Deltares 2016b). De laadtijd van een TSHD hangt af van het type sediment en het schip. Een tijdsduur van maximaal een uur voor de korte termijn near-field baggerpluim is een goed te verdedigen waarde om te gebruiken voor de Waddenzee en Eems-Dollard. Met een TSHD kan bij baggeren van zand ook gebaggerd worden zonder overvloei, dit geeft echter een minder efficiënte lading en maakt het baggeren per m³ duurder en geeft meer uitstoot per m³ en zijn er meer trips nodig om hetzelfde volume te baggeren. In slib is baggeren zonder overvloei met een TSHD niet realistisch omdat dan een heel inefficiënte lading verkregen zou worden.

losgelaten door het openen van de bodemdeuren.

Ploegen



Ploegboot Peter van baggermij. Van der Kamp

Bij baggermethode ploegen wordt met een stalen schuif/bak achter een schip lokale verhogingen in de bodem weggesleept en gladgetrokken. Ploegen wordt toegepast in zandige omstandigheden en klassiek vaak toegepast in combinatie met TSHD om de inzet van een TSHD uit te kunnen stellen of meer efficiënt te maken of in situaties waar van nature een drempel ontstaat die gladgetrokken kan worden naar een nabijgelegen dieper deel zonder sediment te verwijderen. Een ploegboot werkt typisch enkele uren achter elkaar om een gebied te egaliseren.

n.v.t.

Injecteren (WIB of WID)



Schematisch figuur WID uit CEDA/IADC (2018)

Injecteren, wordt ook wel Water Injectie Baggeren (WIB of WID) genoemd waarbij een slibrijke bodem gefluïdiseerd wordt met waterjets waarna een dichtheidsstroom nabij de bodem ontstaat die het sediment naar een lokale verdieping of hoogdynamisch gebied transporteert. WIB werkt goed voor slib (en eventueel heel fijn zand) maar niet goed voor zand. Een WIB werkt typisch enkele uren achter elkaar om de toplaag van het slib in een gebied te laten wegstromen met een dichtheidsstroming.

n.v.t.

Agiteren



Foto van een variant van agiteren met een TSHD, foto Rijkswaterstaat

Er zijn verschillende omschrijvingen van agiteren in omloop. In dit rapport wordt agiteren beschouwd vanuit het perspectief van wat er fysisch gebeurt met het sediment en hoe het sediment zich vervolgens verspreid. Vanuit dat perspectief omvat agiteren elke baggermethode die sediment op stroom brengt door het sediment van de bodem omhoog in suspensie in de waterkolom te brengen waarna de getijstrooming het sediment meeneemt. Typisch aan agiteren is dat er geen horizontaal transport plaatsvindt van het sediment in het baggerwerktuig. Op welke manier het sediment op stroom gebracht wordt, of door het te fluïdiseren en omhoog te pompen, of door injectie van luchtbellens, of door sediment net onder de waterspiegel weer los te laten, of op een andere manier, is in deze definitie van ondergeschikt belang omdat de effecten op het sediment en de verspreiding hiervan hetzelfde zijn. Agiteren kan bijvoorbeeld met een TSHD gedaan worden waarbij het sediment niet in het beun losgelaten wordt maar in de waterkolom. Toepassing van de Airset in de haven van Delfzijl is ook een vorm van agiteren waarbij sediment uit de slibvang in de monding van de haven gefluïdiseerd wordt en vervolgens op stroom gezet met luchtbellens. Bij agiteren wordt typisch één of enkele uren achter elkaar tijdens een gunstige getijfase gewerkt in een gebied.

n.v.t.

3.1.3 Expert judgement ecologische impact bagger- en verspreidingsmethodes

Met behulp van expert judgement, gebruikmakend van literatuurbronnen zoals (Becker et al. 2015, CEDA/IADC 2018, Decrop 2015, de Wit 2014, Spearman et al. 2011), is Tabel 3.2 opgesteld met relatieve kwalitatieve scores van ++ (heel goed vergeleken met andere methodes, niet in absolute zin) tot - - (heel slecht vergeleken met andere methodes, niet in absolute zin) per baggermethode voor verschillende aspecten. Deze aspecten en de totstandkoming van de scores worden onder de tabel nader toegelicht.

Tabel 3.2 Expert judgement eerste, globale inschatting impact scores baggermethodes Waddenzee.

Parameter	Knijpen	Verspreiden na knijpen	Zuigen (TSHD)	Verspreiden (TSHD)
Morfologische effectiviteit per m ³	++	++	++	++
Energieverbruik per m ³	-	-	0	0
Vertroebeling waterkolom	0	0	++ (zonder overflow) - (met overflow)	0
Near-field pluimkarakter tijdens baggeren	~200m horizontaal Hele waterkolom ~10-100mg/l (tijdsduur typisch enkele uren)	~500m horizontaal ~500-1000mg/l Dichtbij bodem (tijdsduur typisch 10 min)	Met overflow: Alleen oppervlaktepluim mogelijk van ~10-100mg/l ~1000m horizontaal, (tijdsduur typisch uur)	~km horizontaal Dichtbij bodem >1000 mg/l (tijdsduur typisch 10 min)
Bodemberoering	-	- ~250m sedimentatie bodem	--	-- ~500m sedimentatie bodem
Verstoring	-	-	0	0

Parameter	Ploegen	Injecteren	Agiteren
Morfologische effectiviteit per m ³	-	+	- /+ afh. van omstandigheden
Energieverbruik per m ³	-	++	++
Vertroebeling waterkolom	++	+	--
Pluimkarakter tijdens baggeren	~50m horizontaal Dichtbij bodem ~10-100 mg/l (tijdsduur typisch enkele uren)	~500m horizontaal Dichtbij bodem ~500-1000 mg/l (tijdsduur typisch enkele uren)	~1 km horizontaal hele waterkolom ~500-1000 mg/l (tijdsduur typisch enkele uren) ~5 km horizontaal hele waterkolom ~100 mg/l (tijdsduur typisch enkele uren)
Bodemberoering	-	+	--
Verstoring	-	+	-

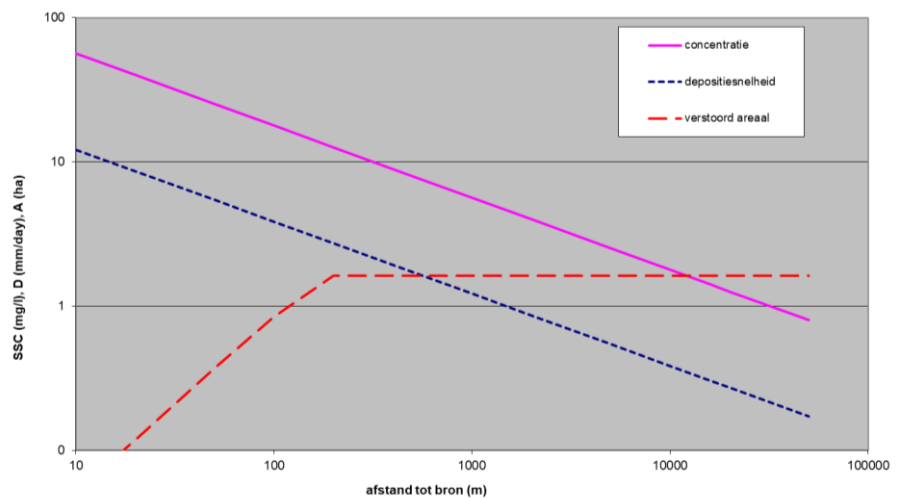
Toelichting beoordelingsaspecten in Tabel 3.2:

- **Morfologische effectiviteit per m³**
 - Hoe effectief is een m³ gebaggerd sediment in het op diepte houden van een vaarweg? Indien sediment ver genoeg weggebracht wordt van het baggervak en de retourstroming langzaam of afwezig is, dan scoort een baggermethode met bijbehorende verspreidingsmethode goed op dit aspect. Bij een baggermethode waarin elke m³ sediment slechts op beperkte afstand wordt losgelaten en de retourstroming richting de vaarweg relatief snel gaat, dan scoort een methode slecht.
 - De baggermethodes knijpen en zuigen/storten TSHD scoren heel goed (++) omdat het sediment opgepakt wordt en weggebracht van het baggervak. Ploegen scoort een (-) omdat het sediment niet ver weg wordt getransporteerd en injecteren een (+) omdat de dichtheidsstroming het sediment veel verder wegbrengt dan bij ploegen. Injecteren kan echter alleen gunstig toegepast worden indien er lokaal een diep gedeelte of hoogdynamisch gebied is om het sediment naar toe te laten lopen via de dichtheidsstroming. Agiteren scoort een (+ / -) omdat de morfologische effectiviteit afhangt van de omstandigheden, bij een sterke ebstroming die het geagiteerde sediment wegdraagt van het baggervak zal agiteren effectief zijn, maar bij te lage stroming of stroming in de verkeerde richting zal de effectiviteit afnemen of zelfs slecht worden.
- **Energieverbruik per m³**
 - Hoeveel energie kost het om een m³ sediment te baggeren met de betreffende baggermethode? Een baggermethode scoort goed indien het weinig energie per m³ vergt en slecht indien dit veel energie vergt.
 - Injecteren en agiteren scoren een (++) omdat deze de krachten van de natuur gebruiken (respectievelijk dichtheidsstroming en getijstroming). Zuigen/storten TSHD scoort een (0) omdat dit een efficiënte methode met hoge productie is, maar met een energieverbruik per m³ die fors boven dat van injecteren en agiteren ligt. Ploegen en knijpen scoren een (-) omdat deze methodes meer energie per m³ vergen dan de andere methodes. Bron: CEDA (2022).
- **Vertroebeling waterkolom (near field)**
 - De score voor vertroebeling waterkolom is goed indien er weinig vertroebeling optreedt en slecht indien er veel vertroebeling optreedt.
 - Vertroebeling in de waterkolom door baggeren hangt af van het sedimenttype waarbij slib zorgt voor meer vertroebeling dan zand. Voor near-field vertroebeling, wat hier beschouwd wordt, is dit verschil een stuk kleiner dan voor far-field vertroebeling omdat in het far field de verschillen in bezinksnelheid tussen zand en slib een grotere invloed hebben. Bij het baggeren van zand is het percentage slib in het zand van belang voor de bronterm en vertroebeling. De verliezen (spill) per m³ gebaggerd materiaal liggen voor slib over het algemeen hoger dan voor zand, maar omdat de productie lager is bij het baggeren van slib, zijn genoemde kentallen voor de near-field pluim qua orde grootte geldig voor beide sediment typen.
 - Ploegen en zuigen (TSHD) zonder overflow scoren een (++) omdat deze methodes nauwelijks vertroebeling geven. Zuigen (TSHD) zonder overflow is geen realistische optie voor baggeren van slib, maar voor zand zou dit een optie kunnen zijn die duurder is en meer uitstoot geeft en meer trips nodig heeft voor hetzelfde volume, maar nauwelijks nog vertroebeling tijdens de baggerwerkzaamheden zelf geeft. Injecteren scoort een (+) omdat deze methode wel vertroebeling genereert, maar heel lokaal en alleen nabij de bodem. Knijpen en storten (TSHD) krijgen een (0) vanwege de beperkte vertroebeling die dit genereert. Zuigen (TSHD) met overflow scoort een (-) vanwege de overvloeipluim en agiteren een (--) vanwege de hoge mate van vertroebeling in de waterkolom.

- Pluimkarakter tijdens baggeren (near field)
 - Pluimgedrag kan opgesplitst worden in near field en far field. Near-field pluimgedrag gaat over de baggerpluim dichtbij het baggerwerktuig waar de dynamica en dichtheid van de pluim zelf belangrijk is voor de verspreiding. Een typische afmeting van de near-field zone is enkele honderden meters rondom het baggerwerktuig. Far-field pluimgedrag gaat over de baggerpluim op kilometers afstand van het baggerwerktuig waarbij de verspreiding gedomineerd wordt door de getijstrooming en het bezinkgedrag van het sediment in de pluim. De far-field pluim wordt ook wel passief genoemd omdat hij de omgevingsstrooming volgt en de near-field pluim wordt actief genoemd omdat de interne dynamica en dichtheid van de pluim zelf nog invloed hebben op de verspreiding.
 - In de tabel staan enkele karakteristieke kentallen van het korte termijn near-field pluimgedrag, concentratie zwevend stof en de invloedafstand o.b.v. expert judgement. De genoemde kentallen voor de vertroebeling en tijdsduur van baggerpluimen zijn gebaseerd op metingen en simulaties uit diverse literatuurbronnen (Becker et al. 2015, CEDA/IADC 2018 en daarin genoemde bronnen, Decrop 2015, de Wit 2014, Spearman et al. 2011). De kentallen zijn in lijn met metingen rondom baggerwerkzaamheden in de Waddenzee bij de vaarweg Holwerd-Ameland waar hoge concentraties >1000 mg/l nabij de bodem rondom het verspreiden van sediment gevonden zijn en een tijdelijke verhoging van 1000-1500 mg/l nabij de bodem rondom agitatiebaggeren (Waterproof 2019). De verschillende baggermethodes hebben elk hun karakteristieke sediment concentraties, near-field invloed afstand en near-field pluim tijdsduur, zie Tabel 3.1 voor informatie per baggermethode. Deze kentallen zijn gebruikt om impact-zone kaarten op te stellen rondom de bagger- stortvakken in de Waddenzee met daar ook in aangegeven zeegraslocaties en mossel- en oesterbanken. Deze near-field pluim impact-zone kaarten zijn per bekken opgesteld en staan in het vervolg van dit hoofdstuk waar de verschillende bekkens behandeld worden.
 - De langere termijn tijdsgemiddelde far-field invloed van pluimen van baggeren en verspreiden is niet in kentallen gevat omdat dit afhankelijk is van lokale hydrodynamica en bodemligging en de frequentie van opeenvolgende baggerinspanningen in een gebied. In het bijgaande kader is aangegeven hoe deze effecten globaal kunnen worden gekwantificeerd met een analytische methode. Als meer detail en nauwkeurigheid is gewenst, kan een numeriek verspreidingsmodel worden ingezet.

De vertroebeling in een baggerpluim in het far field kan analytisch worden berekend voor geschematiseerde condities (constante waterdiepte, getijsnelheid, dispersie en bronsterkte, zie CEDA, 2018). Zie Figuur 4.1 voor de resultaten voor condities die representatief zijn voor de Waddenzee. De bronsterkte van de fijne fractie ten opzichte van het totaal verspreide volume baggerspecie kan worden geschat volgens de methodiek van Becker et al. (2015). De resultaten zijn sterk afhankelijk van deze bronsterkte. De (secundaire) pluimdispersie is bovendien afhankelijk van de wind- en lokale stromingscondities en wordt in het bovenstaande voorbeeld slechts bij benadering berekend. Voor een nauwkeuriger berekening is voor iedere locatie, hydrodynamische condities en samenstelling van de baggerspecie een specifieke berekening nodig met een numeriek model, bij voorkeur in combinatie met veldmetingen ter validatie. Dit voert te ver voor de huidige rapportage.

Gegeven een grens voor ecologische effecten kan uit Figuur 4.1 een schatting voor het verstoorde areaal worden afgeleid. Als deze grens voor afdekking bijvoorbeeld 1 mm/dag bedraagt en voor concentratieverhoging 5 mg/l (ongeveer 10% van de natuurlijke achtergrondconcentratie in de Waddenzee), ligt deze grens op circa 1000 m rondom het verspreidingsvak en is het verstoorde areaal rondom elk verspreidingsvak ongeveer 2 ha. Met n aangewezen verspreidingsvakken per kombergingsgebied is het totaal verstoorde areaal t.g.v. verspreiden in dit voorbeeld dus $2n$. De passieve pluim verplaatst zich met de getijsnelheid. Als deze 1 m/s bedraagt, is de duur van de verstoring per verspreiding in dit voorbeeld dus ongeveer 0.5 uur. De hierin genoemde grenzen zijn slechts illustratief en dienen nog in overleg met ecologen te worden vastgesteld. Afgebeeld op habitatkaarten rondom de bagger- en verspreidingslocaties kan het verstoorde oppervlak worden opgesplitst in hoog- en laagdynamisch gebied.



- Bodemberoering
 - Dit aspect beschouwt hoe intensief en hoeveel oppervlak van de bodem beroerd wordt per m³ tijdens het baggeren. Dit aspect is gescoord van (- -) voor intensief en veel bodemberoering tot (++) voor weinig bodemberoering. Dit is een ingewikkeld punt van beoordeling omdat bodemberoering eigenlijk onvermijdbaar is bij baggeren om zo een vaarweg op diepte te houden. Van het totale te baggeren gebied wordt dus uiteindelijk altijd de bodem beroerd bij elke baggermethode. Voor beoordeling van de ecologisch impact van bodemberoering zijn ook nog andere factoren van belang zoals terugkeertijd.
 - In deze tabel is voor bodemberoering een (--) gegeven aan agiteren, zuigen (TSHD) en storten (TSHD) omdat bij deze operaties grote oppervlaktes van de bodem in relatief korte tijd worden beroerd over enkele decimeters diepte per werkgang. Knijpen en ploegen scoren een (-) omdat deze methodes weliswaar de bodem mechanisch beroeren over enkele decimeters diepte per werkgang, maar met een relatief lage oppervlakte per tijdseenheid vergeleken met TSHD of agiteren. Injecteren scoort een (+) omdat de bodem niet mechanisch beroerd wordt maar hydraulisch gefluïdiseerd wat qua impact op de bodemdieren naar verwachting minder erg is. Voor storten (na knijpen) en storten (TSHD) is een karakteristieke sedimentatie afstand aangegeven waarbinnen het sediment bezinkt op de bodem.
- Verstoring
 - Het aspect verstoring is een combinatie van mate van verstoring per trip en hoe vaak er teruggekomen dient te worden (frequentie). Het gaat hier om de impact van afschrikking door bijvoorbeeld geluid (boven en onderwater) of de aanwezigheid van het schip zelf en terugkeerfrequentie van het baggerwerktuig.
 - Knijpen, agiteren en ploegen krijgen een (-) omdat bij deze methodes er relatief veel vermogen en geluid nodig is bij het baggeren in combinatie met een relatief hoge terugkeerfrequentie. Zuigen en storten (TSHD) krijgen een (0) omdat ze weliswaar per trip best wat verstoring en geluid kunnen veroorzaken, maar door de hoge productie hoeft er relatief weinig teruggekomen te worden vergeleken met de andere methodes. Injecteren scoort een (+) op verstoring omdat het met minder motorvermogen en geluid plaatsvindt dan de andere methodes.

Gebruik van Tabel 3.2 voor potentiële abiotische impact zones bagger- en verspreidingsmethodes

Het pluimkarakter zoals benoemd in Tabel 3.2 wordt in de uitwerking van de potentiële abiotische impact van de verschillende bagger- en verspreidingsmethodes in elk kombergingsgebied gebruikt om potentiële ruimtelijke impactzones te tonen in relatie tot de ecotopenkaart en de locaties van mossel-, oesterbanken en zeegras. De baggerpluim impact zone laat de zone zien waar potentieel verhoogde vertroebeling in de waterkolom kan optreden door baggeren. De sedimentatie voetafdruk laat het oppervlakte zien waar potentieel het sediment op de bodem zich kan afzetten.

De getoonde impact zones voor de near-field pluim en sedimentatie zijn een worst-case inschatting. De potentiële ruimtelijke impact zones van de near-field pluim en sedimentatie door baggeren en verspreiden zijn opgesteld zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstroming mee te nemen. In werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal in één richting (benedenstrooms van de activiteit) invloed hebben, maar in de figuren is simpelweg eenzijdige invloedaftand geplot. Voor bodempluimen en de sedimentatie voetafdruk is in deze figuren alleen een grofstoffelijke correctie uitgevoerd dat deze slechts op de diepe delen kunnen optreden. Daarnaast vinden er ook niet continue baggerwerkzaamheden plaats op alle locaties in een bekken tegelijk. De potentiële ecologische impactzone van geluid en verstoring is niet meegenomen in deze

figuren. De bovenstaande informatie geeft een beeld van de ecologische impact maar is een veralgemening en moet per locatie in samenhang met andere versturende factoren bekeken worden.

Cumulatieve effecten baggeractiviteiten

Behalve lokale en korte termijn effecten van het baggeren kunnen in geval van frequent baggeren ook cumulatieve effecten optreden met een doorwerking op grotere tijd- en ruimteschaal. Het gaat daarbij om de volgende aspecten:

- Frequent baggeren en verspreiden leidt mogelijk tot een verhoogde achtergrondconcentratie, bijvoorbeeld doordat slib door herhaaldelijk baggeren en verspreiden niet de gelegenheid krijgt om te consolideren en onder invloed van golven en stroming makkelijker opwervelt dan zonder baggeronderhoud. De kans hierop is groter naarmate er minder horizontale uitwisseling optreedt met de bredere omgeving, waardoor accumulatie kan plaatsvinden rondom de bagger- en verspreidingslocatie alsmede retourstroming naar de baggerlocatie indien de afstand tussen beide klein is. Dit is met name van belang voor slibrijke specie. Voor zandige specie bestaat dit risico niet, maar wel het risico van lokale verondieping van de verspreidingslocatie en degeneratie van nevengeulen als hierin wordt verspreid en de transportcapaciteit onvoldoende is.
- In geval van baggeronderhoud van geulen zijn deze geulen per definitie dieper dan de natuurlijke diepte, anders zou dit onderhoud niet nodig zijn. Afhankelijk van de baggerstrategie (meebewegen of niet) kan dit de geulligging bovendien fixeren. Beide aspecten hebben mogelijk invloed op de morfologische ontwikkeling van het bekken, doordat de getijvoortplanting en -asymmetrie hierdoor lokaal kunnen wijzigen. Ook rondom de verspreidingslocatie kunnen morfologische effecten optreden, doordat deze geleidelijk ondieper wordt (met name voor zandige specie, al treedt dit niet vaak op doordat voldoende transportcapaciteit een belangrijk selectie criterium is voor een verspreidingslocatie) of doordat kwelders en intergetijdengebieden in de buurt sneller aangroeien (voor slibrijke specie).
- Tenslotte kan de sedimentbalans van het bekken door baggeren en verspreiden worden beïnvloed. Dit is evident als de specie wordt onttrokken en buiten het bekken wordt verspreid of aan land gebracht. Dit heeft invloed op de netto sedimentbalans. Als alle specie lokaal wordt verspreid heeft dit invloed op de bruto sedimentbalans, omdat baggeren en verspreiden in ruimte en tijd in zekere mate zijn ontkoppeld en tijdelijke accumulatie van slib de lokale beschikbaarheid vergroot en dus kan leiden tot een hogere concentratie in de waterkolom en grotere bruto transporten.

Deze aspecten komen in het synthesehoofdstuk terug.

3.1.4 Kanttekening methodiek registratie baggercijfers

In 2022 heeft Deltares een analyse gedaan van enkele belangrijke tekortkomingen in de huidige methodiek van registreren van de baggervolumes met enkele aanbevelingen ter verbetering (Deltares 2022). Omdat deze analyse relevant is voor de duiding van de baggercijfers, worden hieronder de belangrijkste conclusies en aanbevelingen uit Deltares (2022) beknopt herhaald. Deze analyse geldt voor de baggercijfers van Rijkswaterstaat. Van de baggercijfers van niet-Rijkswaterstaat areaal is niet bekend hoe deze exact geregistreerd worden en of dit consistent voor verschillende jaren en eventueel verschillende baggermethodes gebeurt. Maar de genoemde aanbevelingen om consistent en eenduidig de baggervolumes te registreren zijn ook waardevol voor het baggerwerk in niet-Rijkswaterstaat areaal.

Momenteel zijn de door Rijkswaterstaat gerapporteerde baggerhoeveelheden nog niet één-op-één vergelijkbaar tussen de verschillende aannemers of de verschillende baggermethodieken. Er wordt nu een hybride registratie gevoerd met een combinatie van beunvolumes (van een sleephopperzuiger) en in-situ baggervolumes (overige baggermethodieken) door

Rijkswaterstaat en de gecontracteerde aannemers. Het volume van sediment hangt echter sterk af van de dichtheid en de dichtheid in-situ is anders dan de dichtheid in het beun. In-situ baggervolumes en beunvolumes zijn daardoor niet altijd goed vergelijkbaar. Dit vertroebelt de interpretatie van de gegevens. Daarbij geldt dat de wijze van registratie van het baggervolume, bijvoorbeeld de overgang naar de halve bol methode¹ voor beunvolume, invloed kan hebben op de gerapporteerde volumes ook als het daadwerkelijke baggerwerk onveranderd is gebleven. Bij de recente overgang in baggercontract en overgang naar halve bolmethode voor beunvolume bepaling in 2021 is zo'n verschuiving in baggervolumes (verlaging in dit geval) bijvoorbeeld zichtbaar (Rijkswaterstaat, 2023).

Aanbevolen wordt om in de toekomst alle baggerhoeveelheden in de basis uit te drukken in in-situ volumes in m³ en zowel de in-situ volumes in m³ als de TDS (tonnen droge stof) te registreren in het overzicht van de baggerhoeveelheden. In-situ volumes zijn belangrijk voor de morfologische effecten en TDS is belangrijk voor ecologische effecten zoals vertroebeling en beter geschikt voor vergelijking met slibtransport modellen. In bijlage A wordt deze aanbeveling verder gespecificeerd. Het is van belang om in het toekomstige beheerplan de registratie van baggerinspanningen in in-situ m³ en TDS toe te staan en te stimuleren. Het is belangrijk om bovenstaande kanttekening mee te nemen in de interpretatie van onderstaande baggerhoeveelheden.

3.1.5 In deze studie gebruikte baggervolumes

Voor baggervolumes is er een verschil tussen beunvolumes en in-situ volumes. Beunvolumes gaan uit van het volume van het sediment in het beun van een sleephopperzuiger en in-situ volumes gaan uit van het volume van het sediment zoals het op de zeebodem lag. Omdat tijdens het baggeren met een sleephopperzuiger het sediment verdund wordt, zijn beunvolumes hoger dan in-situ volumes. Het voordeel van beunvolume is dat dit relatief eenvoudig te bepalen is. In-situ m³ zijn echter relevanter dan beun-m³ voor de morfologische impact en ecologische impact (die weer afhangt van in-situ m³ omgerekend naar TDS en het percentage fijn sediment) van baggeren.

De N2000 baggervolumes en rapportage gaan uit van beunvolumes. In deze studie worden de baggervolumes gebruikt zoals beschikbaar uit de Rijkswaterstaat tripgegevens en jaarrapportage (Rijkswaterstaat areaal en havens). Dit betreft een mix van beunvolumes voor baggerwerk met een sleephopperzuiger en inschattingen van in-situ volumes voor de andere baggermethodes. Aangezien een groot deel van het baggerwerk in de Waddenzee en Eems-Dollard door sleephopperzuigers wordt uitgevoerd is dit een conservatieve keuze omdat een baggervolume uitgedrukt in beun-m³ een groter volume is dan uitgedrukt in in-situ m³. Uitgedrukt in in-situ m³ zouden de baggervolumes uitgevoerd door sleephopperzuigers lager zijn. Een andere verandering in de bepaling van beunvolume die er nog door de Rijkswaterstaat baggercijfers heenloopt is de overstap naar de halve bol methode vanaf 1 november 2021 door de nieuwe aannemer die zorgt voor ongeveer 10% tot 30% lagere beunvolumes dan bepaald met de vorige methode (Rijkswaterstaat, 2023). Door de halve bol methode wordt gebaggerd water niet meegenomen in de volume bepaling en daarmee is dit dus een verbetering. Het geeft wel een verandering in beunvolume t.o.v. de beunvolumes van voor 1 november 2021, dus bij het analyseren van trends is het goed deze overstap mee te wegen. Ook voor de beunvolumes bepaald met de halve bol methode geldt nog steeds dat deze in principe hoger zijn dan in-situ volumes (maar dan 10-30% minder hoog dan voorgaande methode) en dat het conservatief is om deze te gebruiken als maat van de baggerinspanning.

¹ Met de halve bolmethode wordt het beunvolume van de lading met een dichtheid groter dan 1200 kg/m³ gemeten waardoor het volume van de bovenste waterlaag die slechts weinig sediment bevat in het beun niet meegemeten wordt. Vooral voor sliblagen is de halve bolmethode nauwkeuriger voor de bepaling van het baggervolume dan wanneer simpelweg gerekend wordt met het totale beunvolume bij een vol schip.

Opgemerkt dient te worden dat bij elke overgang in aannemer en contract een verandering in baggervolume op kan treden door bijvoorbeeld verandering in registratiewijze, inzet andere schepen, logistieke redenen of contractuele prikkels. Een andere kanttekening betreft de inschatting van in-situ volumes bij de overige baggermethodes behalve de sleephopperzuiger. Deze inschatting heeft ook een significante mate van onzekerheid, zeg +/- 30%, omdat dit gebeurt op basis van gewerkte uren vermenigvuldigd met een productie die gebaseerd is op een beperkt aantal productierapportages.

Voor de niet-Rijkswaterstaat baggervolumes is niet bekend hoe deze exact bepaald worden en of dit in-situ m³ of beun m³ betreffen. Enkele havens registreren in-situ m³ en andere beun m³, maar het is niet voor elke haven goed bekend wat geregistreerd wordt.

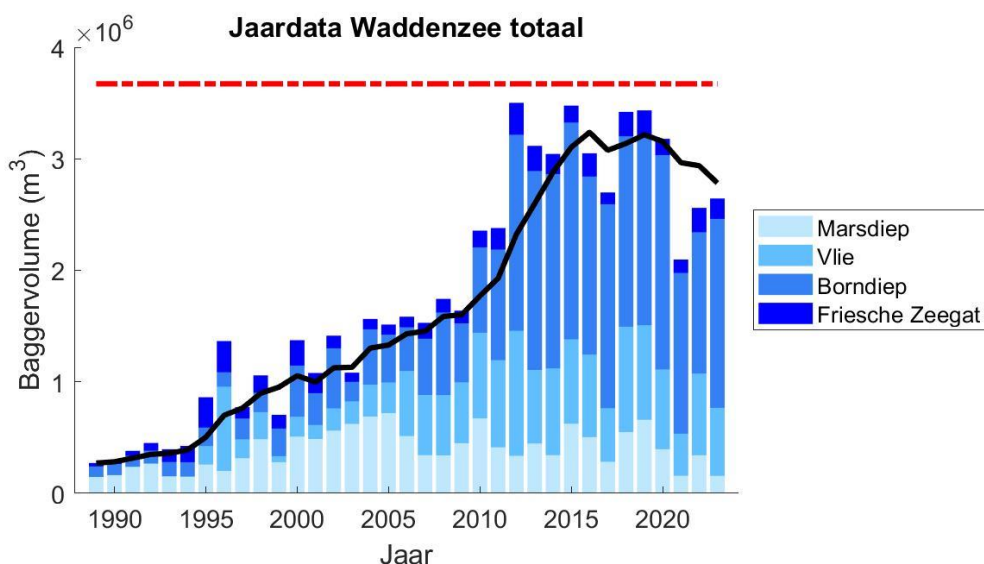
Uit bovenstaande opsomming blijkt dat er een aantal kanttekeningen te plaatsen zijn rondom de geregistreerde baggervolumes. Een toename in geregistreerd baggervolume hoeft dus bijvoorbeeld niet altijd te komen door een toename in sedimentatie in de betreffende vaargeul of toename in TDS maar kan ook komen door een verandering van aannemer of een verandering in registratiemethode of een verandering in baggermethode. Een toename in geregistreerd baggervolume die puur door een verandering in registratie komt zal bijvoorbeeld geen verandering in impact geven. Een verandering in baggermethode bij gelijkblijvend baggervolume daarentegen zou wel tot een andere impact leiden. Het is bij de interpretatie van de baggervolumes en trends dus goed om bewust te zijn van bovenstaande kanttekeningen en niet altijd één op één een relatie te veronderstellen tussen een sprong in geregistreerde baggervolumes en potentiële impact.

3.2 Waddenzee en Eems-Dollard algemeen

Allereerst wordt een globaal overzicht gegeven van de historische trend in de baggervolumes van de Waddenzee en Eems-Dollard, waarbij de huidige volumes gevisualiseerd zijn (Figuur 3-1, maar zie ook Figuur 1.2). De bron is de tijdreeks van de Rijkswaterstaat baggervolumes vanuit de vaarwegen in alle bekkens in de Waddenzee. Duidelijk zichtbaar in Figuur 3-1 is de sterke stijging (ruim een factor 10) sinds de vroege jaren '90 naar een niveau van ongeveer 2.5-3.5 miljoen m³/j. Vooral de bekkens Vlie en Borndiep vertonen een sterke stijging. De baggervolumes in het Friesche Zeegat en Marsdiep zijn veel minder sterk gegroeid. De stijging in baggervolumes vanuit de vaarwegen hangt samen met verdieping en verbreding van enkele vaarwegen en de netto sedimentatie trend in de Waddenzee zoals in hoofdstuk 2 beschreven. Ook het baggervolume vanuit de vaarweg in de Eems-Dollard vertoont een sterke stijging van bijna een factor 10 sinds de verdieping van de vaarweg medio 2017/2018, zie Figuur 3-31, en bevindt zich nu op een niveau van ongeveer 2.5-4 miljoen m³/j.

Het baggervolume in de havens ligt op een niveau van ongeveer 2-3 miljoen m³/j voor de havens langs de Waddenzee en ongeveer 3-4 miljoen m³/j voor de Nederlandse havens langs de Eems-Dollard. De baggervolumes voor de havens zijn veel stabielier over de tijd dan die van de vaarwegen omdat de omvang en geometrieën van de havens slechts weinig aangepast zijn in de laatste decennia.

De uitwerking voor de verschillende bekkens in de paragrafen hierna verschaft meer details en achtergrond over de trends in de baggervolumes.



Figuur 3-1 Jaarlijks baggervolume 1989-2023 van Rijkswaterstaat in de Waddenzee, excl. havens (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023).

3.3 Marsdiep

3.3.1 Actuele baggercijfers en verwachte trends

Het jaarlijkse baggervolume uitgevoerd door Rijkswaterstaat (excl. lokale beheerders) in kombergingsgebied Marsdiep tussen 1989-2023 is weergegeven in Figuur 3-2. Het overzicht inclusief baggervolume door lokale beheerders is beschikbaar voor een kortere periode (2019-2023) en staat in Tabel 3.3. Het Rijkswaterstaat baggervolume nam eerst gradueel toe, van 200.000 m³/j. begin jaren 90 naar ruim 600.000 m³/j. rondom 2005. Daarna nam het iets af naar gemiddeld ongeveer 450.000 m³/j. tussen 2006 en 2020. Een verdere kleine daling volgde tussen 2020-2023.

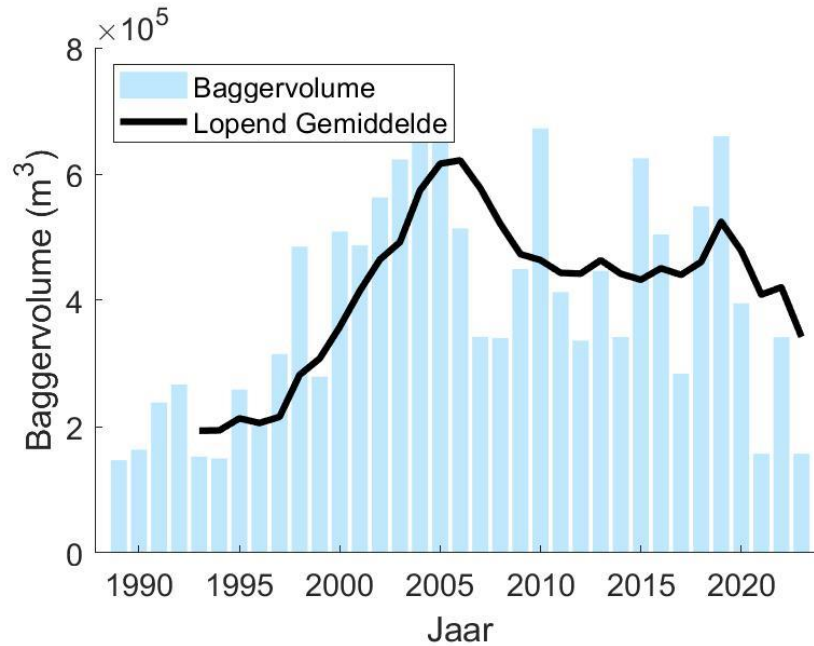
Het betreft echter de som van vier locaties, met elk hun eigen ontwikkeling. De verdieping van de Boontjes, van een streefdiepte van -2.8 m naar een streefdiepte van -3.8 m NAP in 2015, leidde ertoe dat er een vierde baggerlocatie kwam, waar sinds 2015 zo'n 100.000 - 300.000 m³/j. aan onderhoud moet gebeuren², zie Figuur 3-3. In het Marsdiep was in 1990 op één locatie baggeronderhoud (Kornwerderzand) en in de loop van de jaren '90 zijn daar twee locaties (Den Oever en Visjagersgaatje) bij gekomen.

Een ander aspect dat meespeelt is dat in het Visjagersgaatje voorheen zandwinning plaatsvond, wat sinds 2022 niet meer is toegestaan. Daarmee is een extra prikkel om te baggeren weggevallen. Voor de verschillende geulen in kombergingsgebied Marsdiep is er een vrij groot verschil zichtbaar voor de jaren met hoog baggervolume en jaren daaromheen met een lager baggervolume. Dit vertaalt zich door naar een grote variatie in het totale baggervolume in het Marsdiep. Op het oog lijken de pieken enigszins in de buurt van de overgangen in contract en aannemer te liggen, maar of dit een causaal verband heeft is niet zeker. Die overgangen vonden plaats op 1-1-2003, 1-1-2006, 15-1-2010, 15-9-2015 en 1-11-2021.

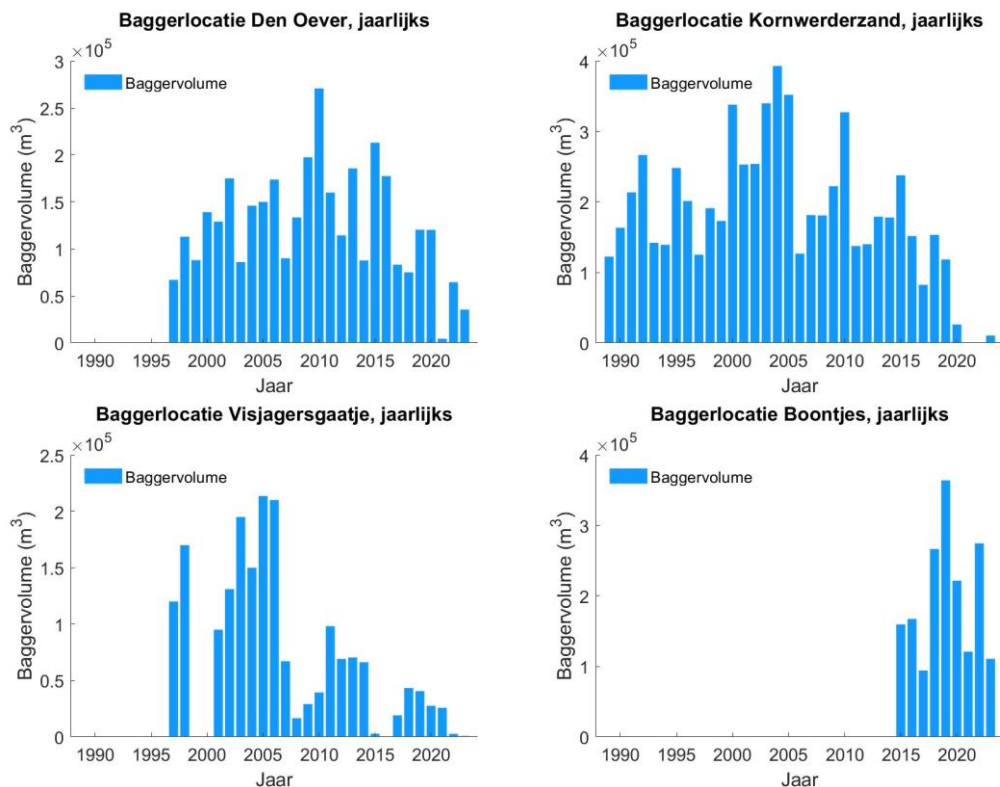
Voor kombergingsgebied Marsdiep is het baggervolume door de lokale beheerders de meeste jaren een factor 2 - 4 groter dan het baggervolume van Rijkswaterstaat, met uitzondering van 2019. De baggervolumes in kombergingsgebied Marsdiep liggen ruim onder de verwachting in het N2000-beheerplan van 2.118.000 m³/j. (Rijkswaterstaat en lokale beheerders samen). De uitzondering is hier weer 2019 toen het baggervolume van Rijkswaterstaat hoger was dan wat in het N2000-beheerplan was verwacht.

² Het 'aanlegbaggerwerk' (de verdieping zelf) zit niet in deze getallen

Kombergingsgebied Marsdiep, jaarlijks



Figuur 3-2 Jaarlijks baggervolume 1989-2023 van Rijkswaterstaat in bekken Marsdiep, excl. lokale beheerders, incl. ploegen (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023).



Figuur 3-3 Jaarlijks baggervolume 1989-2023 van Rijkswaterstaat van enkele relevante individuele baggerlocaties in bekken Marsdiep, excl. lokale beheerders, incl. ploegen (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023).

Tabel 3.3 Jaarlijks baggervolumes 2019-2023 in bekken Marsdiep per baggerlocatie, incl. lokale beheerders, in m³ (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023). Tussen haakjes staat het baggervolume door methode ploegen.

Locatie	2019	2020	2021	2022	2023	Verwachting N2000-beheerplan
Rijkswaterstaat						
Veerhaven Texel	14.737	-	6.180 (475)	- (1.083)	- (3.496)	6.000
Veerhaven Den Helder	-	-	- (238)	- (0)	- (88)	1.000
Havens Den Oever	120.381	120.160	4.360 (1.413)	64.526 (7.200)	35.299 (12.238)	150.000
Haven Breezanddijk	1.981	-	- (0)	- (0)	- (0)	6.000
Havens Kornwerderzand	118.296	26.097	- (625)	- (775)	10.236 (658)	175.000
Visjagersgaatje	40.501	27.530	25.728 (1.888)	2.631 (6.550)	813 (2.350)	60.000
Boontjes	363.992	221.541	120.876 (4.400)	262.922 (21.204)	110.710 (5.058)	80.000
<i>Totaal Rijkswaterstaat</i>	<i>659.888</i>	<i>395.327</i>	<i>157.144 (9.039)</i>	<i>330.079 (36.812)</i>	<i>157.058 (23.888)</i>	<i>478.000</i>
Lokale beheerders						
Gemeentelijke haven Oude Schild	12.499	39.600	17.206	17.126	33.189	55.000
Jachthaven Oude Schild	-	-	-	-	-	10.000
Mokbaai Texel	42.960	56.160	33.079	16.425	56.010	50.000
NIOZ haven	7.946	-	-	-	11.664	55.000
Gemeentelijke havens Den Helder	181.738	-	-	-	-	20.000
Marine Havens Den Helder	327.840	685.990	610.689	769.235	357.475	1.450.000
<i>Totaal Lokale beheerders</i>	<i>572.983</i>	<i>781.750</i>	<i>660.974</i>	<i>802.786</i>	<i>458.338</i>	<i>1.640.000</i>
<i>Totaal Marsdiep (exclusief ploegen)</i>	<i>1.232.871</i>	<i>1.177.077</i>	<i>818.118</i>	<i>1.132.865</i>	<i>615.396</i>	<i>2.118.000</i>

In kombergingsgebied Marsdiep zijn de baggervolumes van de lokale beheerders veel hoger dan voor de vaargeulen en havens die Rijkswaterstaat beheert. Het gaat daarbij vooral om de marinehavens. Voor de prognose van de baggervolumes richting 2035 (looptijd volgende beheerplan N2000) en 2050 wordt daarom begonnen met een prognose van het baggervolume van de lokale beheerders. De baggervolumes van de havens van de lokale beheerders zijn vrij stabiel. De sedimentatie in havens, en daarmee het baggervolume, hangt samen met de concentratie zwevend stof in het water. Er is geen langjarige trend in de concentratie zwevend stof in de Waddenzee (Philippart et al., 2013) en daarmee is de verwachting dat de baggervolumes voor de lokale beheerders in het Marsdiep rondom het huidige niveau zullen blijven richting 2035 en 2050, namelijk 500.000 - 1 miljoen m³/j, uitgaande van niet-veranderende havengeometrieën en onderhoudsdieptes. Dit ligt onder de huidige N2000-beheerplan verwachting van 1.64 miljoen m³/j. De invloed van zeespiegelstijging op de baggervolumes in de havens zal tot 2050 klein zijn.

De jaarlijkse baggervolumes in Marsdiep voor het Rijkswaterstaat areaal variëren vanaf 2000 tot 2023 tussen 150.000-650.000 m³/j zonder duidelijke trend, zie Figuur 3-2, maar met significante jaarlijkse variatie. Een groot deel van het baggervolume van het Rijkswaterstaat areaal is voor locatie de Boontjes. Voor de Boontjes is in Deltares (2022c) een prognose van het baggervolume opgesteld die hier beknopt wordt overgenomen. Door grootschalige sedimentatie in de Westelijke Waddenzee, afname van het kombergingsvolume van de Boontjes en ophoging van het intergetijdengebied rondom de Boontjes is de prognose dat het baggervolume van de Boontjes doorgroeit van 100.000-300.000 m³/j nu naar 0.3-1.5 miljoen m³/j in 2050, uitgaande van de huidige vaargeuldiepte van NAP-3.8m. Voor de overige geulen is in de historische baggercijfers geen duidelijke stijgende trend zichtbaar en voor Kornwerderzand en Visjagersgaatje een afname in baggervolume in de recente jaren. Voor Visjagersgaatje is er een zorg dat in de toekomst de afnemende trend wellicht weer ombuigt in

een groeiende trend in baggervolume vanwege de groei van de wadplaten rondom de geul, zie paragraaf 2.2. Onder de aanname dat het baggervolume van de overige geulen samen ongeveer gelijk blijft aan de huidige volumes komt de prognose van het totale Rijkswaterstaat baggervolume in het Marsdiep voor Boontjes en overige gebieden samen dan op ongeveer 0.6-1.8 miljoen m³/j in 2050 en ongeveer 0.5-1.2 miljoen m³/j in 2035. De grote bandbreedte geeft een indicatie van de onzekerheid in de prognose en de grote jaarlijkse variatie. Een belangrijke aanname in deze prognose is dat de diepte en breedte van de vaargeulen niet aangepast wordt. De invloed van zeespiegelstijging op de baggervolumes zal tot 2050 klein zijn. De prognose van de Rijkswaterstaat baggervolumes in 2035 en 2050 liggen boven de huidige N2000-beheerplan verwachting van 478.000 m³/j.

Er zijn aanwijzingen dat het noordelijke deel van de Boontjes slibrijker is geworden, er wordt daar 'fluid mud' gevonden en de historische toename in baggervolume in de Boontjes is groter dan de toename in TDS (Deltares 2021d). Dit is daarmee een voorbeeld van een gebied waar de aanbeveling uit sectie 3.1.4 om de baggerinspanning te gaan registreren in TDS en dan met een representatieve dichtheid om te rekenen naar in-situ volume meer inzicht in de daadwerkelijke trends en impact verkregen zou worden. Een optimalisatie in bagger- en verspreidingsstrategie zou wellicht mogelijk zijn door toepassing van WID in het slibrijke noordelijke deel van de Boontjes te onderzoeken. De baggervolumes zullen door toepassing van WID weliswaar niet afnemen omdat sedimentatie onveranderd blijft, maar de potentiële effecten wel doordat de vertroebeling dicht bij de bodem blijft en alleen in de diepere delen van de geul zal blijven. Ook uitstoot en kosten zullen afnemen indien er meer WID toegepast kan worden. Deze techniek is echter niet toegestaan vanuit het beheerplan. Verdere optimalisatie van de sedimentverspreiding van de haven van Harlingen in het nabijgelegen Kimstergat zou wellicht minder hoge baggervolumes in de Boontjes kunnen opleveren. Er zou dan wel onderzocht moeten worden of een verlaging in retourstroming opweegt tegen een grotere vaarafstand richting een verder gelegen verspreidingslocatie en of dit haalbaar is voor de haven van Harlingen.

3.3.2 Uitwerking baggerinspanning naar ruimte, tijd, bagger- en verspreidingstechniek en sedimentsamenstelling

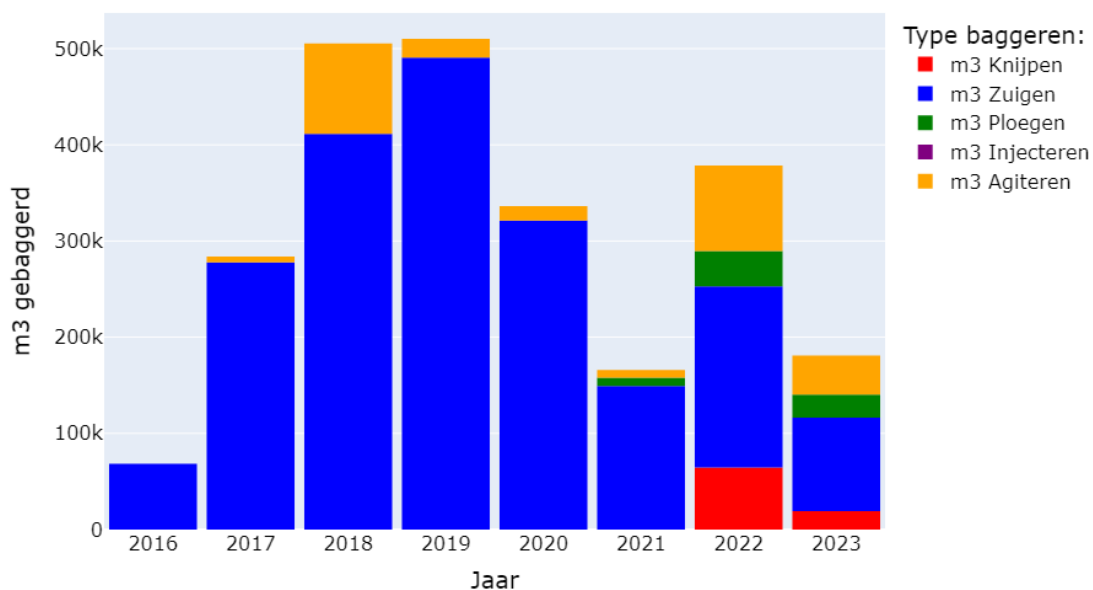
Sedimentsamenstelling Marsdiep

Het Rijkswaterstaat baggerwerk in het Marsdiep bestaat uit zowel zand als slib waarbij het aandeel slib toeneemt (Deltares 2020b, 2021d). Het gebaggerde materiaal in de marinehaven Den Helder is vooral slib en deels zand (Waddenacademie 2023). Voor het baggerwerk van de overige havens is niet bekend wat de sedimentsamenstelling is.

Bagger- en verspreidingstechniek Marsdiep

In het huidige baggercontract (van na november 2021) wordt in het Marsdiep voor het Rijkswaterstaat areaal meer geagiteerd, geknepen en geploegd dan voorheen, maar nog steeds wordt het merendeel gebaggerd met een sleephopperzuiger, zie Figuur 3-4. De jaarlijkse verspreidingsvolumes in het Marsdiep staan in Tabel 3.4.

Type baggeren in deelgebied: Marsdiep



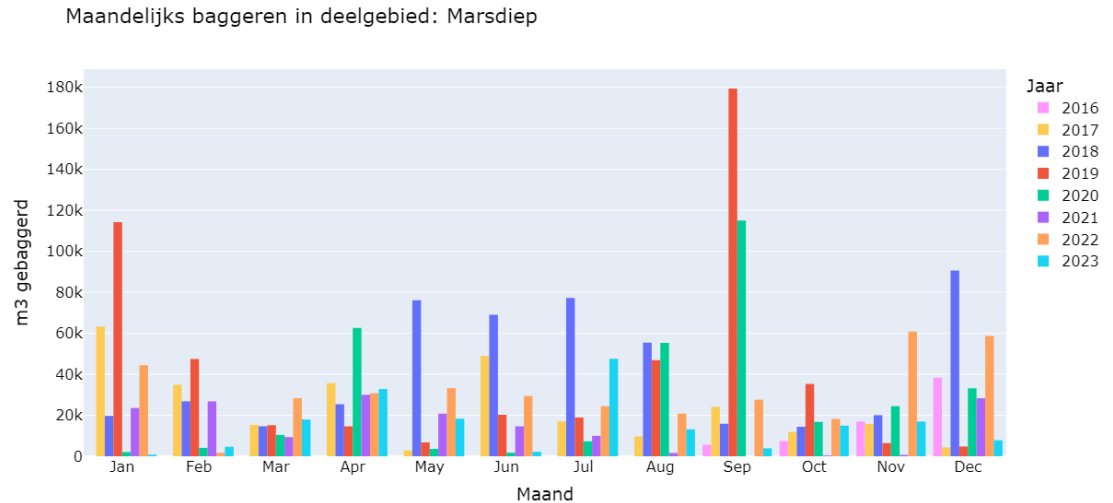
Figuur 3-4 Uitsplitsing Rijkswaterstaat baggerinspanning Marsdiep 2016-2023 naar baggermethode.

Tabel 3.4 Jaarlijks verspreidingsvolumes 2019-2023 in bekken Marsdiep per verspreidingslocatie, incl. lokale beheerders, in m³ (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023).

Verspreidingslocatie	2019	2020	2021	2022	2023
Boontjes	159.721	63.762	5.671	50.488	12.982
Breezanddijk	1.981	-	-	-	-
Kornwerderzand	9.815	-	-	9.543	8.695
Malzwin	119.264	99.197	4.360	64.526	32.988
Texelstroom 1	57.220	-	3.955	-	-
Texelstroom 3	9.015	-	2.225	-	-
Afsluitdijk	-	-	-	28.693	-
Harlingen strand	-	-	-	14.723	-
Dijkvak KWZ (Lewvel)	-	2.307	-	-	-
Totaal Rijkswaterstaat	357.016	165.266	16.211	167.973	54.665
Lokale beheerders					
Gemeentelijke haven Oude Schild	12.499	39.600	17.206	17.126	33.189
Jachthaven Oude Schild	-	-	-	-	-
Mokbaai Texel	42.960	56.160	33.079	16.425	56.010
NIOZ haven	7.946	-	-	-	11.664
Gemeentelijke havens	181.738	-	-	-	-
Den Helder	-	-	-	-	-
Marine Havens Den Helder	327.840	685.990	610.689	769.235	357.475
Totaal Lokale beheerders	572.983	781.750	660.974	802.786	458.338
Totaal Marsdiep	929.999	947.016	677.185	970.759	513.003

Variatie baggerinspanning Marsdiep over het jaar

Er wordt door Rijkswaterstaat in het Marsdiep jaarrond gebaggerd, zie Figuur 3-5. Er is wel wat variatie van maand tot maand, maar zonder duidelijke trend of seizoensvariatie. Het onderhoudsbaggerwerk in de Boontjes wordt bijvoorbeeld verspreid over zo'n 3-6 maanden per jaar uitgevoerd zonder duidelijk patroon, maar in reactie op een peiling waarin blijkt dat er niet aan de streefdiepte wordt voldaan (Deltares 2021d). Het sediment dat verspreid wordt uit de marinehaven Den Helder wordt alleen in de winter gebaggerd en verspreid (Waddenacademie 2023). In de zomer wordt er wel binnen de marinehaven geploegd zonder dat er op de Waddenzee sediment verspreid wordt. Van de overige havens in het Marsdiep is niet bekend hoe de baggerinspanningen over het jaar verdeeld zijn.

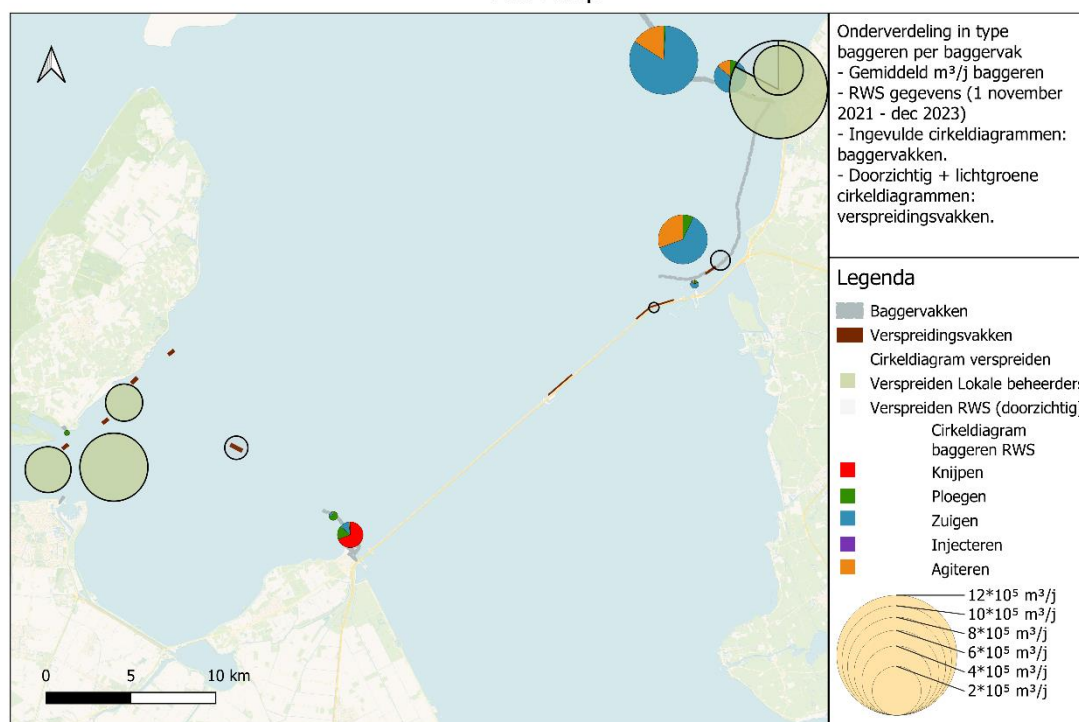


Figuur 3-5 Maandelijks variatie baggervolume van Rijkswaterstaat in bekken Marsdiep, excl. lokale beheerders, voor de jaren 2016-2023.

Ruimtelijke verdeling baggerinspanning Marsdiep

Figuur 3-6 toont de ruimtelijke verdeling van het baggeren (opgesplitst naar baggermethode) en verspreiden over de verschillende baggervakken en verspreidingsvakken in het Marsdiep. Veel van het Rijkswaterstaat baggerwerk in het Marsdiep vindt plaats in de Boontjes en wordt verspreid via verspreidingslocatie Kimstergat. De verspreidingsvolumes van verspreidingslocatie Kimstergat zijn daarom opgenomen in dit figuur, hoewel geografisch deze locatie niet meer in het Marsdiep bekken ligt.

Marsdiep



Figuur 3-6 Ruimtelijke verdeling bagger en verspreidingsvolumes Marsdiep.

Verstoord oppervlak baggeren Marsdiep

Voor een inschatting van het aantal ha bodemoppervlakte van het baggeren wordt een globale, grofstoffelijke analyse gemaakt op welke locaties en over welke afstanden en breedtes er frequent, d.w.z. elk kwartaal of vaker, gebaggerd wordt in het Marsdiep. Dit gebeurt aan de hand van lodingen uit het document Dynamisch vaargeulbeheer Waddenzee (Arcadis en Deltares 2022) waaruit zichtbaar wordt op welke locaties de vaargeul niet voldoet en met baggeren op diepte gebracht wordt. Dit geeft een orde-grootte inschatting van het aantal ha bodemverstoring door frequent baggeren. Aan de hand van de N2000 contour en de ecotopenkaart is een globale onderverdeling gemaakt van het deel van het verstoord oppervlak door frequent baggeren dat binnen N2000 gebied valt en welk deel laagdynamisch is. De bepaling laagdynamisch oppervlak is een nog globalere inschatting dan het aantal ha bodemverstoring zelf omdat de locaties waar frequent gebaggerd wordt niet op de meter nauwkeurig bekend zijn.

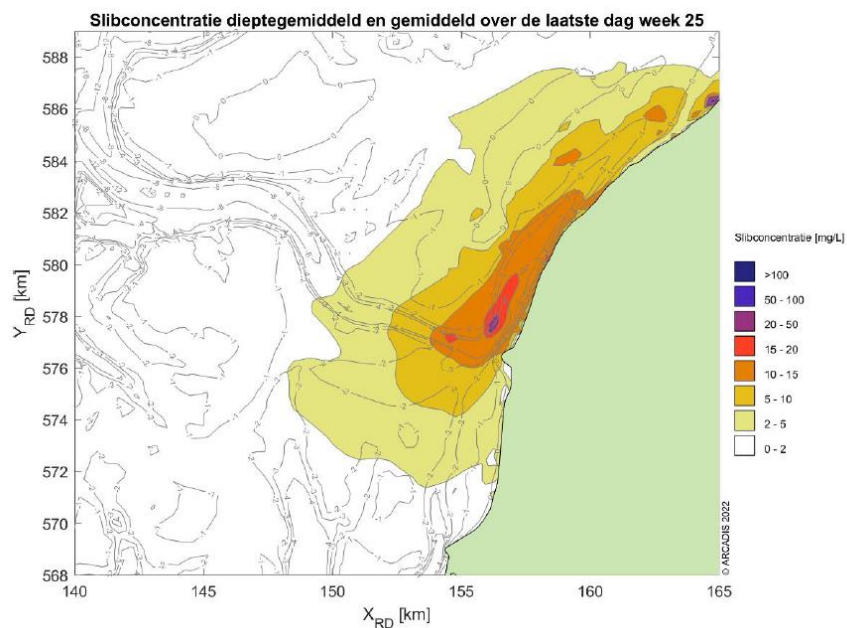
Locatie	Oppervlak	Oppervlak N2000	binnen	Oppervlak laagdynamisch
Visjagersgatje	Globaal 600 m × 120 m = 7 ha	7 ha		7 ha
Boontjes	Globaal 4.4 km × 100 m = 44 ha (Deltares 2022c)	44 ha		44 ha
Havens Den Oever	22 ha (inschatting: 50% van het totale oppervlak van het baggervak)	11 ha (inschatting: 50% baggerwerk in toegangseul)		11 ha (inschatting: 50% baggerwerk in toegangseul)
Haven Kornwerderzand	4 ha	4 ha		4 ha
Verspreidingsvakken	76 ha	76 ha		45 ha
Totaal	153 ha	142 ha		111 ha

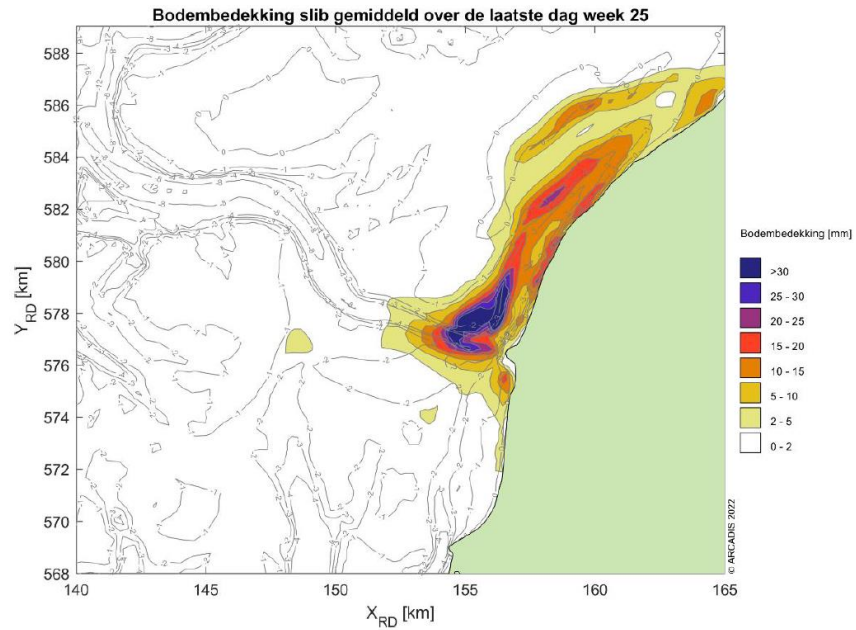
Het totale oppervlak waar frequent gebaggerd en verspreid wordt in het Marsdiep komt met deze grofstoffelijke analyse globaal op ongeveer 153 ha. Dit is slechts 0.2% van het totale oppervlak van het bekken (~674 km² bron: Deltares (2023b)) en ongeveer 1% van het totale geuloppervlakte z<-5m van het bekken (160 km², zie hoofdstuk 2) . N.B. deze analyse beschouwt alleen directe verstoring van het baggeren en storten binnen de bagger- en verspreidingsvakken. Verstoring door bijvoorbeeld sedimentatie of vertroebeling of geluid of een andere invloed op de omgeving is in deze oppervlakte bepaling niet meegenomen.

3.3.3 Potentiële abiotische impact van de verschillende bagger- en verspreidingstechnieken

Voor de verspreiding van baggerspecie van de Boontjes en van de nabijgelegen haven van Harlingen (gelegen in het Vlie bekken) is de gesimuleerde vertroebelingspluim en sedimentatie voetafdruk beschikbaar uit een model studie (Arcadis 2022). In Figuur 3-7 worden resultaten getoond van een scenario waarbij de daadwerkelijke baggervolumes van de eerste helft van 2021 gehanteerd zijn als verspreidingsvolume. De verspreiding van baggerspecie uit de nabijgelegen haven van Harlingen is meegenomen omdat dit significant bijdraagt aan de vertroebeling en sedimentatie in dit gebied. Een toename in daggemiddelde slibconcentratie van 50 mg/l blijft beperkt tot een zone van zo'n 500m rondom de verspreidingslocaties, met een daggemiddelde toename van 20 mg/l tot zo'n 3 km afstand. Omdat er continue jaarrond verspreid wordt zullen deze far-field daggemiddelde slibconcentraties ook continue optreden. Meer dan 25 mm sedimentatie treedt op in een zone van ongeveer 3 km rondom de verspreidingslocatie.

De modelstudie laat zien dat de tijdsgemiddelde far-field effecten van het baggeren en verspreiden op de vertroebeling en sedimentatie rondom de Boontjes optreden in een zone van enkele kilometers rondom de bagger- en verspreidingsactiviteiten. Voor alle Rijkswaterstaat baggervakken in het Marsdiep wordt een meer grofstoffelijke beschouwing o.b.v. expert judgement zonder modellering (zie paragraaf 3.1.3) van de potentiële alzijdige korte termijn impact afstand van de pluimvorming tijdens baggeren en verspreiden getoond in Figuur 3-8 voor de meest gebruikte baggermethode TSHD. De ligging van mossel-, oesterbanken, zeegraslocaties en de ecotopenkaart is aangegeven om een eerste indicatie te verkrijgen van de potentiële overlap van de impact afstand van de betreffende baggermethode en ecologische gevoelige gebieden. In bijlage B staan de potentiële alzijdige impact afstanden voor de overige baggermethodes die minder toegepast worden in kombergingsgebied Marsdiep.

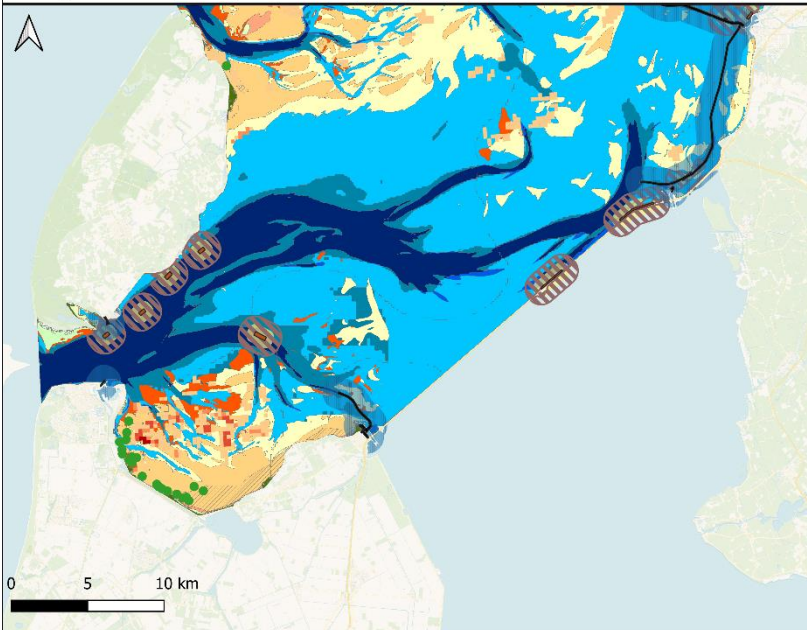




Figuur 3-7 Gemodelleerde vertroebelingspluim en sedimentatie door verspreiding van baggerspecie uit de Boontjes en haven van Harlingen voor de daadwerkelijke baggervolumes van het eerste halfjaar van 2021 (overgenomen uit Arcadis 2022). De getoonde resultaten tonen de daggemiddelde pluimconcentratie en sedimentatie aan het einde van de simulatie. Incidenteel tijdens de simulatie zijn hogere waarden opgetreden, maar slechts voor een korte periode. Alleen een figuur van de dieptegemiddelde concentratie is beschikbaar, echter de verschillen tussen de gemodelleerde maximale slibconcentratie aan de bodem en oppervlak zijn klein en veel kleiner dan de ruimtelijke variatie.

Marsdiep: TSHD

Potentiële alzijdige invloedsafstand baggermethode TSHD o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstrooming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben.



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengedata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 500 m buffer: TSHD sedimentatie bodem
- 1 km buffer: TSHD bodempluim ~500-1000 mg/l tijdens storten (tijdsduur typisch 10 minuten)
- 1 km buffer: TSHD oppervlaktepluim ~10-100 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch een uur)
- Mossel en oesterbanken**
- < 1 %
- 1 - 4 %
- 5 - 7 %
- 8-10
- > 11
- Zeegras locaties
- Ecotopenkaart (2017)**
- Hiërdustrait
- Hoogdynamisch diep sublitoraal
- Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
- Middeldynamisch diep sublitoraal
- Middeldynamisch ondiep sublitoraal
- Laagdynamisch diep sublitoraal
- Laagdynamisch ondiep sublitoraal
- Hoogdynamisch litoraal
- Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
- Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Hoogdynamisch supralitoraal
- Laagdynamisch supralitoraal
- Prielzone
- Kwelder of Schor
- Duin
- Overig

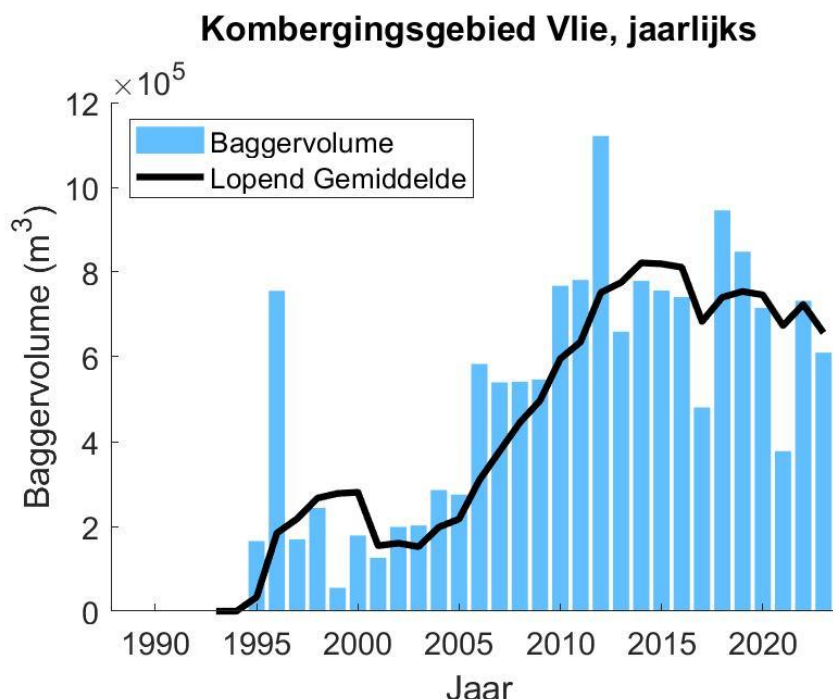
Figuur 3-8 Potentiële alzijdige invloedsafstand van pluimvorming door baggeren en verspreiden door baggermethode TSHD in het Marsdiep in relatie tot de ecotopenkaart en locaties van mossel-, oesterbanken en zeegras.

3.4 Vlie

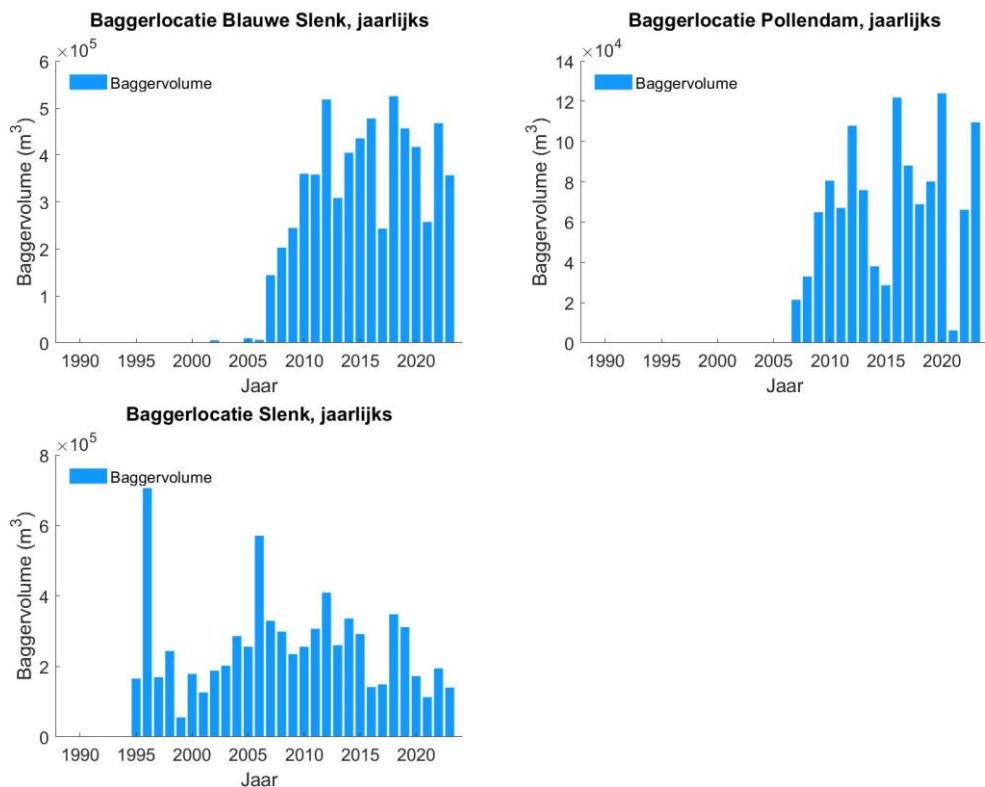
3.4.1 Actuele baggercijfers en verwachte trends

Het jaarlijkse baggervolume uitgevoerd door Rijkswaterstaat (excl. lokale beheerders) in kombergingsgebied Vlie tussen 1989 - 2023 is weergegeven in Figuur 3-9 met een completer overzicht inclusief het baggervolume door lokale beheerders voor 2020 - 2023 in Tabel 3.5. Het Rijkswaterstaat baggervolume is eerst sprongsgewijs toegenomen van nul in begin jaren '90 naar gemiddeld ongeveer 800.000 m³/j sinds 2010 tot heden. De toename na 2005 is veroorzaakt door de vaargeulverdieping Harlingen-Noordzee naar NAP -7.5m. Ruim de helft van het baggerwerk door Rijkswaterstaat gebeurt in de Blauwe Slenk met verder significante baggerinspanning in de Slenk en de Vaargeul langs de Pollendam, zie Figuur 3-10 voor de trend in baggervolume van deze locaties. In het verleden is een significant deel (variërend van 30 - 90% tussen 2005 - 2017) van het baggervolume van Rijkswaterstaat areaal van het Vlie gebruikt voor zandwinning en niet verspreid (Arcadis en Deltares 2022). Na 2018 is het quotum winbaar zand jaarlijks verlaagd en sinds 2022 mag er geen zand meer worden onttrokken bij vaargeulonderhoud. Er is geen duidelijke invloed zichtbaar van de variatie in zandwinning op de baggervolumes in het Vlie. De Slenk is halverwege jaren '90 doorgebaggerd als alternatief voor het Schuitengat, hetgeen in 2018 heroverwogen is met als conclusie dat het baggerbezwaar in het Schuitengat te onvoorspelbaar is (Arcadis 2018b).

Voor kombergingsgebied Vlie is het baggervolume van de lokale beheerders de meeste jaren een factor ~2 groter dan het baggervolume van Rijkswaterstaat, waarbij het merendeel van het baggervolume van de lokale beheerders in de haven van Harlingen gebaggerd wordt. Het baggervolume voor de haven van Harlingen lag tussen 2020 - 2023 op 0.7 - 1.2 miljoen m³/j., zie Tabel 3.5, en tussen 2007 - 2018 op 1 - 1.4 miljoen m³/j. (Baptist et al. 2019). De baggervolumes in kombergingsgebied Vlie liggen onder de N2000-beheerplan verwachting van 2.504.000 m³/j. (Rijkswaterstaat en lokale beheerders samen), echter het baggervolume van Rijkswaterstaat in 2019 lag net iets hoger dan de N2000-beheerplan verwachting voor het Rijkswaterstaatsdeel.



Figuur 3-9 Jaarlijks baggervolume 1989-2023 van Rijkswaterstaat in bekken Vlie, excl. lokale beheerders, incl. ploegen (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023).



Figuur 3-10 Jaarlijks baggervolume 1989-2023 van Rijkswaterstaat van enkele relevante individuele baggerlocaties in bekken Vlie, excl. lokale beheerders, incl. ploegen (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023).

Tabel 3.5 Jaarlijks baggervolumes 2019-2023 in bekken Vlie per baggerlocatie, incl. lokale beheerders, in m³ (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023). Tussen haakjes staat het baggervolume door methode ploegen.

Locatie	2019	2020	2021	2022	2023	Verwachting N2000-beheerplan
Rijkswaterstaat						
Veerdam Vlieland	-	-	-	-	-	1.000
Haven Terschelling (voormalige Rijkshaven)	-	2.075	1.500	2.853	550	20.000
Vaargeul langs Pollendam	80.088	123.995	6.160	66.165	109.523	65.000
Blauwe Slenk	456.529	417.376	257.316	468.611	356.706	400.000
Pannengat	-	-	-	1.582	3.377	25.000
Vliesloot	-	-	-	-	-	15.000
Slenk	311.492	172.310	112.610	194.253	139.668	320.000
<i>Totaal Rijkswaterstaat</i>	<i>848.109</i>	<i>715.756</i>	<i>377.586</i>	<i>733.464</i>	<i>609.824</i>	<i>846.000</i>
Lokale beheerders						
Aanloophaven Vlieland	7.797	5.023	7.255	7.255	3.465	9.000
Gemeentehaven Terschelling						60.000
Jachthaven Terschelling						15.000
Haven van Harlingen		1.161.274	1.031.414	1.014.302	734.595	1.400.000
Inschot - Zuidwal						20.000
<i>Totaal Lokale beheerders</i>	<i>7.797</i>	<i>1.166.297</i>	<i>1.038.669</i>	<i>1.021.557</i>	<i>738.060</i>	<i>1.504.000</i>
<i>Totaal Zeegat van het Vlie (exclusief ploegen)</i>	<i>855.906</i>	<i>1.882.053</i>	<i>1.416.255</i>	<i>1.755.021</i>	<i>1.347.884</i>	<i>2.350.000</i>

In kombergingsgebied Vlie liggen de baggervolumes van de lokale beheerders bijna twee maal hoger dan van het Rijkswaterstaat areaal. Het merendeel van het baggervolume van de lokale beheerders wordt door de haven van Harlingen gebaggerd. Voor de prognose van de baggervolumes richting 2035 (looptijd volgende beheerplan) en 2050 wordt daarom begonnen met een prognose van het baggervolume van de lokale beheerders. De baggervolumes van de havens van de lokale beheerders zijn al jaren vrij stabiel. De sedimentatie in havens, en daarmee het baggervolume, hangt samen met de concentratie zwevend stof in het water. Er is geen langjarige trend in de concentratie zwevend stof in de Waddenzee en daarmee is de verwachting dat de baggervolumes voor de havens in het Vlie rondom het huidige niveau zullen blijven richting 2035 en 2050, namelijk 1 – 1.4 miljoen m³/j (incl. bandbreedte van ongeveer +/- 20% voor onzekerheden), uitgaande van een niet veranderende havengeometrie, onderhoudsdiepte, en zoetwater spuidebieten. Dit ligt onder de huidige N2000-beheerplan verwachting van 1.504 miljoen m³/j. De invloed van zeespiegelstijging op de baggervolumes in de havens zal tot 2050 klein zijn.

De jaarlijkse Rijkswaterstaat baggervolumes voor het Vlie als geheel zijn na 2010 vrij stabiel op een niveau van ongeveer 800.000 m³/j gemiddeld zonder duidelijke trend, zie Figuur 3-2, maar met significante jaarlijkse variatie. Dit komt onder anderen doordat de vaargeuldimensies sinds de vaargeulverdieping Harlingen-Noordzee naar NAP -7.5m constant zijn gebleven. Ruim de helft van het Rijkswaterstaat baggerwerk in het Vlie vindt plaats in de Blauwe Slenk. De baggervolumes van de Blauwe Slenk zijn tussen 2006 en 2012 gegroeid van vrijwel nul naar ongeveer 400.000 - 500.000 m³/j. Sinds 2012 liggen de baggervolumes globaal op dit hoge niveau met forse jaarlijkse variaties van ongeveer 50%. Dit past bij de sterk veranderlijke morfologisch ontwikkeling rondom een vloedschaar (Arcadis en Deltares 2022). Ook de baggervolumes van Slenk en Pollendam zijn sinds 2010 gemiddeld vrij constant, maar met jaarlijks forse variaties.

Voor de prognose van het Rijkswaterstaat baggervolume in Vlie zijn voor de recente periode na 2010 geen duidelijke trends in de historische baggerdata zichtbaar en uit de morfologische analyse volgt ook geen duidelijke toenemende of afnemende trend van de sedimentatie, behalve dat de vaargeulen in Vlie in morfologisch dynamisch gebied liggen waarbij een grote variatie van jaar tot jaar te verwachten is en de vaargeulen van tijd tot tijd verlegd dienen te worden. De doorgaande sedimentatie in de Waddenzee met verlanding rond de Pollendam in combinatie met groeiende drempels tussen eb- en vloedscharen zullen naar verwachting op termijn kunnen leiden tot een toenemend baggervolume. Daarom wordt aangenomen dat de Rijkswaterstaat baggervolumes van het Vlie tot 2035 en 2050 zal toenemen met orde 33% tot ongeveer 1.1 miljoen m³/j met een bandbreedte van +/- 50% 0.5 miljoen m³/j om rekening te houden met de jaarlijks forse variaties die kunnen optreden door het morfologisch dynamische gebied waarin de vaarwegen liggen. Daarmee komt de prognose voor 2035 en 2050 voor het Rijkswaterstaat baggervolume in het Vlie op 0.6 - 1.6 miljoen m³/j. Een belangrijke aanname in deze prognose is dat de diepte en breedte van de vaargeulen niet aangepast wordt. De invloed van zeespiegelstijging op de baggervolumes zal tot 2050 klein zijn. De genoemde prognose van de Rijkswaterstaat baggervolumes in 2035 en 2050 stijgt tot boven de huidige N2000-beheerplan verwachting van 846.000 m³/j, maar vanwege de hoge jaarlijkse variatie zullen er naar verwachting ook soms jaren zijn dat deze niet overschreden zou worden.

Optimalisatie van de bagger- en verspreidingsstrategie zal naar verwachting hooguit een beperkte invloed hebben op de baggervolumes van het Vlie. Aanpassing van de verspreidingsstrategie zal bijvoorbeeld naar verwachting weinig invloed hebben omdat een omslag van meer dan 50% naar 0% zandwinning in het verleden al geen zichtbare invloed op de baggervolumes heeft gegeven.

3.4.2 Uitwerking baggerinspanning naar ruimte, tijd, bagger- en verspreidingstechniek en sedimentsamenstelling

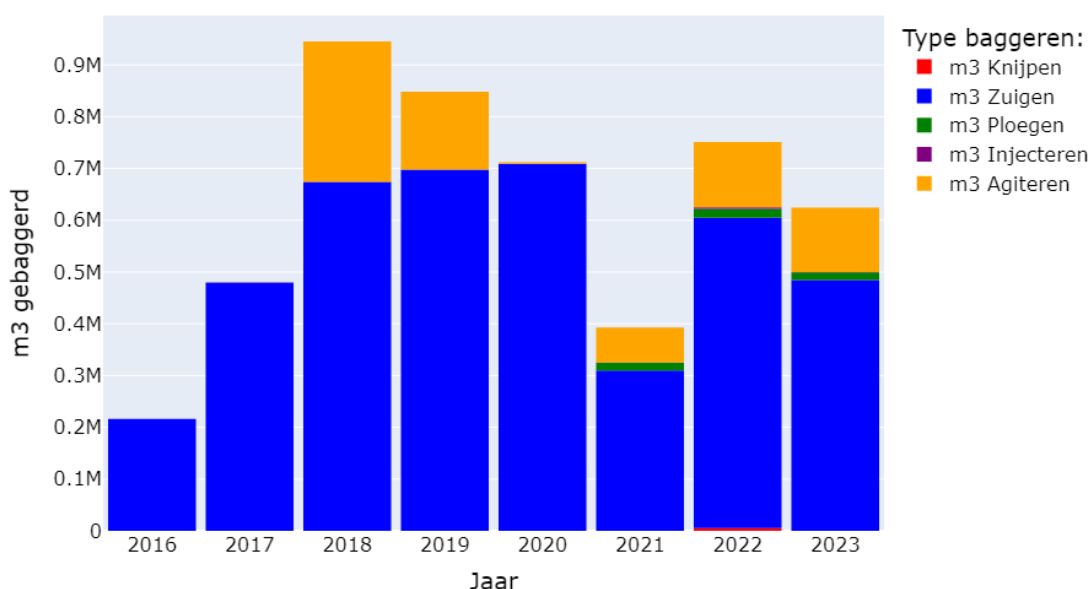
Sedimentsamenstelling Vlie

Het Rijkswaterstaat baggerwerk in het Vlie vindt voornamelijk plaats in morfologisch zandig gebied en zal dus zandig zijn. Het gebaggerde materiaal in de haven van Harlingen is vooral slib.

Bagger- en verspreidingstechniek Vlie

Het merendeel van het baggervolume van het Rijkswaterstaatsareaal wordt met een sleehopperzuiger gebaggerd en verspreid, zie Figuur 3-11. Het baggerwerk van de haven van Harlingen wordt ook met een sleehopperzuiger gebaggerd en verspreid (Baptist et al. 2019). De jaarlijkse verspreidingsvolumes in het Vlie staan in Tabel 3.6.

Type baggeren in deelgebied: Vlie



Figuur 3-11 Uitsplitsing Rijkswaterstaat baggerinspanning Vlie 2016-2023 naar baggermethode.

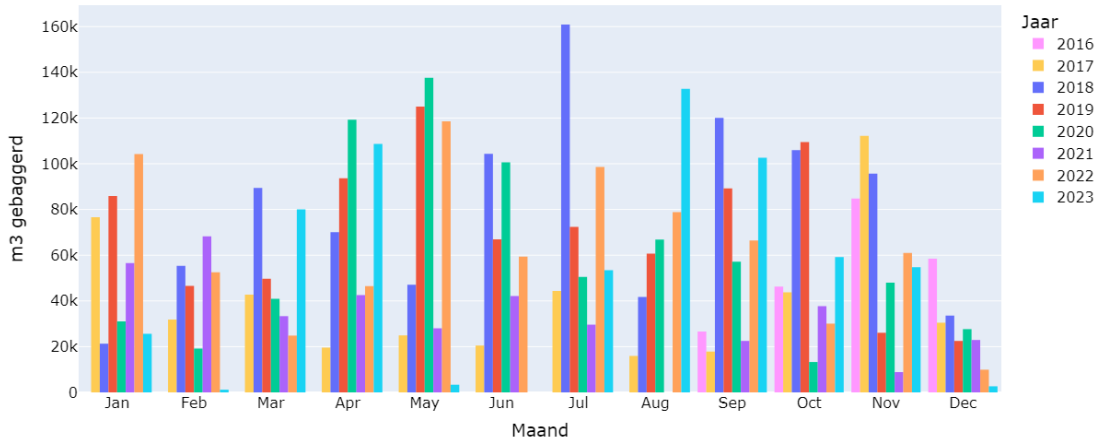
Tabel 3.6 Jaarlijks verspreidingsvolumes 2019-2023 in bekken Vlie per verspreidingslocatie, incl. lokale beheerders, in m³ (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023).

Verspreidingslocatie	2019	2020	2021	2022	2023
Blauwe Slenk	187.212	219.181	54.673	373.467	322.040
Kimstergat 1	406.152	282.894	114.363	181.975	110.193
NO-Meep 1	15.395	33.319	5.470	12.855	14.508
NO-Meep 2	11.536	18.795	5.100	7.063	10.436
Schuitengat 1	18.103	39.492	42.645	25.211	31.910
Schuitengat 2	32.954	46.803	9.045	84.765	57.373
Vliestroom 1	-	-	-	935	-
Totaal Rijkswaterstaat	671.352	640.484	231.296	686.271	546.460
Lokale beheerders					
Aanloophaven Vlieland	7.797	5.023	7.255	7.255	3.465
Haven van Harlingen		1.161.274	1.031.414	1.014.302	734.595
Totaal Lokale beheerders	7.797	1.166.297	1.038.669	1.021.557	738.060
Totaal Vlie	679.149	1.806.781	1.269.965	1.707.828	1.284.520

Variatie baggerinspanning Vlie over het jaar

Het sediment dat verspreid wordt uit de haven van Harlingen wordt jaarrond constant gebaggerd en verspreid in het Kimstergat (Waddenacademie 2023). Ook door Rijkswaterstaat wordt in het Vlie jaarrond gebaggerd, zie Figuur 3-12. Er is wel wat variatie van maand tot maand, maar zonder duidelijke trend of seizoensvariatie. Van de overige havens in het Vlie is niet bekend hoe de baggerinspanningen over het jaar verdeeld zijn, maar deze volumes zijn veel lager dan die van Harlingen.

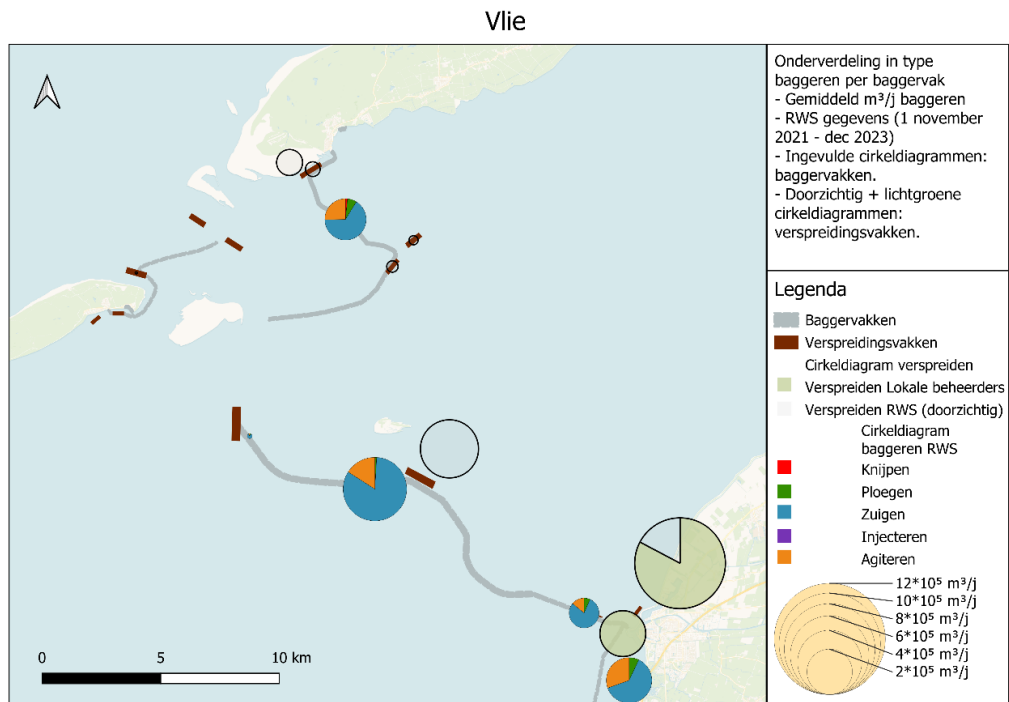
Maandelijks baggeren in deelgebied: Vlie



Figuur 3-12 Maandelijks variatie baggervolume van Rijkswaterstaat in bekken Vlie, excl. lokale beheerders, voor de jaren 2016-2023.

Ruimtelijke verdeling baggerinspanning Vlie

Figuur 3-13 toont de ruimtelijke verdeling van het baggeren (opgesplitst naar baggermethode) en verspreiden over de verschillende baggervakken en verspreidingsvakken in bekken het Vlie. Het baggervolume van het Rijkswaterstaat baggerwerk in de Boontjes wat wordt verspreid via verspreidingslocatie Kimstergat is ook opgenomen in dit figuur omdat de verspreiding plaatsvindt in bekken het Vlie en vanwege de interactie tussen de Boontjes en het Vlie.



Figuur 3-13 Ruimtelijke verdeling bagger en verspreidingsvolumes Vlie.

Verstoord oppervlak baggeren Vlie

In onderstaande tabel wordt een globale, grofstoffelijke orde-grootte inschatting van het aantal ha bodemverstoring door frequent baggeren gemaakt (voor uitleg van de aanpak zie paragraaf 3.4.2).

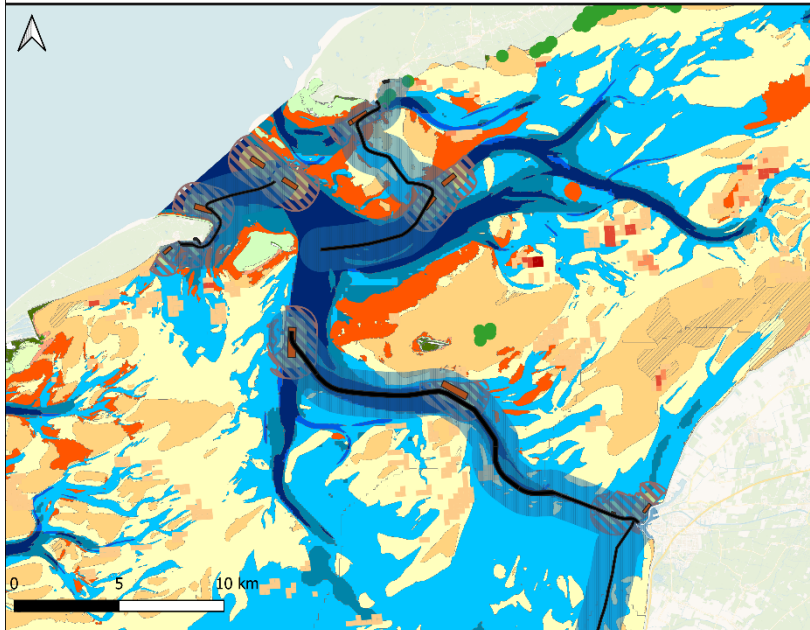
Locatie	Oppervlak	Oppervlak binnen N2000	Oppervlak laagdynamisch
Vaargeul langs Pollendam	Globaal 1 km × 140 m = 14 ha (merendeel van de vaargeul is diep en in beheersloding Arcadis en Deltares 2022 geen verondieping zichtbaar, in deze studie wordt aangenomen dat in totaal 1 km van de ~5 km frequent gebaggerd dient te worden)	14 ha	7 ha (aannname: 50% baggerwerk in laagdynamisch gebied)
Blaauwe Slenk	Globaal 2 km × 220 m = 44 ha	44 ha	5 ha
Slenk	Globaal 2.5 km × 130 m = 33 ha (in beheersloding van Arcadis en Deltares 2022 geen duidelijke verondieping zichtbaar, in deze studie wordt aangenomen dat ongeveer de helft frequent gebaggerd dient te worden)	33 ha	30 ha
Verspreidingsvakken	102 ha (excl. Vliestroom 1 die nauwelijks gebruikt wordt)	102 ha	26 ha
Totaal	193 ha	193 ha	68 ha

Het totale oppervlak waar frequent gebaggerd en verspreid wordt in het Vlie komt met deze grofstoffelijke analyse globaal op ongeveer 193 ha. Dit is slechts 0.3% van het totale oppervlak van het bekken (~ 676 km² bron: Deltares (2023b)) en ongeveer 2% van het totale geuloppervlakte $z < -5\text{m}$ van het bekken (87 km², zie hoofdstuk 2). N.B. deze analyse beschouwt alleen directe verstoring van het baggeren en storten binnen de bagger- en verspreidingsvakken. Verstoring door bijvoorbeeld sedimentatie of vertroebeling of geluid of een andere invloed op de omgeving is in deze oppervlakte bepaling niet meegenomen.

- 3.4.3 Potentiële abiotische impact van de verschillende bagger- en verspreidingstechnieken**
- Voor het bekken Vlie zijn er geen recente modelstudies van vertroebelingspluimen door bagger- en verspreidingsactiviteiten beschikbaar. Een meer grofstoffelijke beschouwing o.b.v. expert judgement zonder modellering, zie paragraaf 3.1.3, van de potentiële alzijdige korte termijn impact afstand van de pluimvorming tijdens baggeren en verspreiden in het Rijkswaterstaat areaal wordt getoond in Figuur 3-14 voor de meest gebruikte baggermethode TSHD. De ligging van mossel-, oesterbanken, zeegraslocaties en de ecotopenkaart is aangegeven om een eerste indicatie te verkrijgen van de potentiële overlap van de impact afstand van de betreffende baggermethode en ecologische gevoelige gebieden. In bijlage B staan de potentiële alzijdige impact afstanden voor de overige baggermethodes die minder toegepast worden in kombergingsgebied Vlie.

Vlie: TSHD

Potentiële alzijdige invloedsafstand baggermethode TSHD o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstroming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben.



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengeodata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

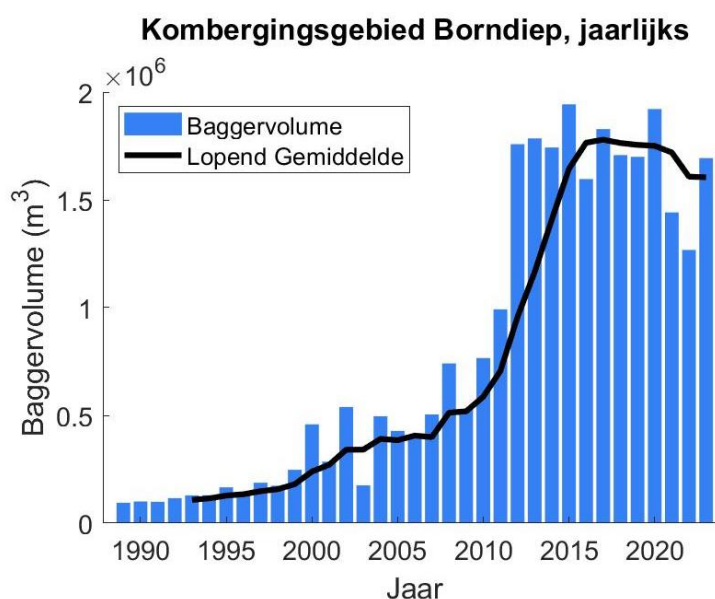
- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 500 m buffer: TSHD sedimentatie bodem
- 1 km buffer: TSHD bodempluim
~500-1000 mg/l tijdens storten (tijdsduur typisch 10 minuten)
- 1 km buffer: TSHD oppervlaktepluim
~10-100 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch een uur)
- Mossel en oesterbanken
 - < 1 %
 - 1 - 4 %
 - 5 - 7 %
 - 8-10
 - > 11
- Zeegras locaties
- Ecotopenkaart (2017)
 - Hardsubtraat
 - Hoogdynamisch diep sublitoraal
 - Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
 - Middeldynamisch diep sublitoraal
 - Middeldynamisch ondiep sublitoraal
 - Laagdynamisch diep sublitoraal
 - Laagdynamisch ondiep sublitoraal
 - Hoogdynamisch litoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
 - Hoogdynamisch supralitoraal
 - Laagdynamisch supralitoraal
 - Prielzone
 - Kwelder of Schor
 - Duin
 - Overig

Figuur 3-14 Potentiële alzijdige invloedsafstand van pluimvorming door baggeren en verspreiden door baggermethode ploegen (boven) en TSHD (onder) in het Vlie in relatie tot de ecotopenkaart en locaties van mossel-, oesterbanken en zeegras.

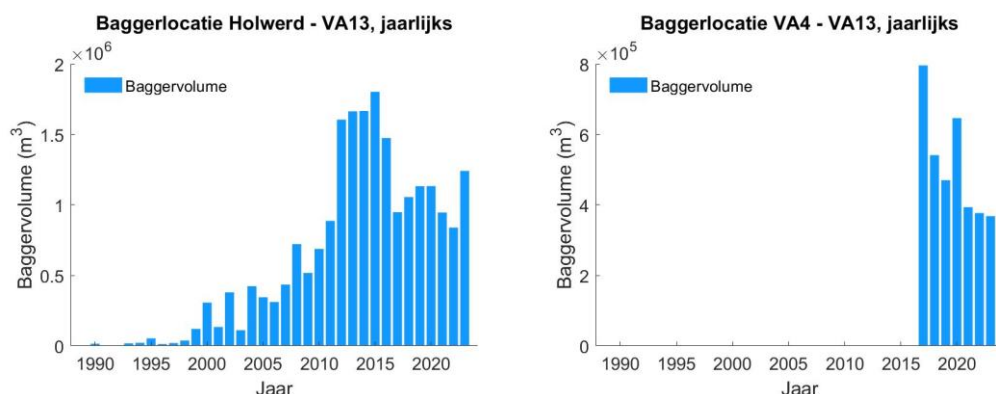
3.5 Borndiep

3.5.1 Actuele baggercijfers en verwachte trends

Het jaarlijkse baggervolume uitgevoerd door Rijkswaterstaat (excl. lokale beheerders) in kombergingsgebied Borndiep tussen 1989 - 2023 is weergegeven in Figuur 3-15. Tabel 3.7 toont voor 2021 - 2023 een completer overzicht voor kombergingsgebied Borndiep inclusief het baggervolume door lokale beheerders. Voor kombergingsgebied Borndiep is het baggervolume van de lokale beheerders verwaarloosbaar (< 2%) vergeleken met het baggervolume van Rijkswaterstaat. In kombergingsgebied Borndiep is het baggervolume over de jaren zeer sterk gestegen van 100.000 m³/j begin jaren 90 naar bijna 2 miljoen m³/j in de piekjaren 2015 en 2020. In 2010 tot 2012 is een sprong te zien in baggervolumes naar 1.7 miljoen m³/j met wat jaarlijkse fluctuaties naar boven en beneden. Deze sprong gaat samen met de aanpassing van geuldimensies op de verbinding Holwerd-Ameland van 55 m naar 60 m breedte en van -3,50 m NAP naar -3,80 m NAP diepte. Locatie VA4-VA14 ligt in een morfologisch actief drempelgebied waar pas sinds 2017 gebaggerd wordt, zie Figuur 3-16. De baggervolumes in kombergingsgebied Borndiep liggen onder de N2000-beheerplan verwachting van 2.145.000 m³/j (Rijkswaterstaat en havens van lokale beheerders samen).



Figuur 3-15 Jaarlijks baggervolume 1989-2023 van Rijkswaterstaat in bekken Borndiep, excl. lokale beheerders, incl. ploegen (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023).



Figuur 3-16 Jaarlijks baggervolume 1989-2023 van Rijkswaterstaat van enkele relevante individuele baggerlocaties in bekken Borndiep, excl. lokale beheerders, incl. ploegen (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023).

Er zijn enkele wisselingen in contract en aannemer geweest die soms significante invloed hebben gehad op het geregistreerde baggervolume door bijvoorbeeld toepassing van een andere baggermethode, of een andere registratiewijze, of door contractuele prikkels, of andere redenen. De meest recente overgangen in contract en aannemer vonden plaats op 1-1-2003, 1-1-2006, 15-1-2010, 15-9-2015 en 1-11-2021. Tijdens de twee contractperiodes tussen 2010 - 2021 zijn bijvoorbeeld grote volumes baggerspecie van de vaarweg Holwerd Ameland 'op stroom gezet' en dit heeft de totale baggervolumes in die jaren verhoogd door de grotere retourstroming (Witteveen en Bos 2022a), zie Figuur 3-18. In het contract na 1-11-2021 is overgestapt naar registratie van baggervolumes met de halve bol methode die zorgt voor een nauwkeuriger, en ongeveer 10% tot 30% lager, baggervolume dan bepaald met de vorige methode (Rijkswaterstaat, 2023). Vooral in de slibrijke gebieden zal de overgang naar halve bol invloed hebben op de geregistreerde volumes. Voor vaarweg Holwerd Ameland gaat dit over het traject Holwerd-VA33 die in Tabel 3.7 onder de volumes van Holwerd-VA13 valt: na 2021 zijn deze volumes door de halve bol methode naar verwachting ongeveer 7-20% lager dan de jaren ervoor (want Holwerd-VA33 is ongeveer 2/3 van het volume van Howerd-VA13). Een andere factor die van invloed is geweest op de toename van het baggervolume na 2010 is de al eerder genoemde toename van de te onderhouden breedte van 55 naar 60 m en diepte van NAP -3.5m naar NAP-3.8m in 2010 (Deltares 2016). In de praktijk wordt er overigens een overdiepte gehanteerd en wordt er gebaggerd op een diepte tot NAP -4.0m.

Tabel 3.7 Jaarlijks baggervolumes 2019-2023 in bekken Borndiep per baggerlocatie, incl. lokale beheerders, in m³ (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023). Tussen haakjes staat het baggervolume door methode ploegen.

Locatie		2019	2020	2021	2022	2023	Verwachting N2000-beheerplan
Rijkswaterstaat							
Veerdam Holwerd		38.430	64.097	31.476 (700)	21.495 (22.783)	28.780 (33.050)	40.000
Veerdam Nes		20.290	39.269	28.974 (38)	5.470 (7.758)	15.875 (22.542)	20.000
Veerbootroute (Holwerd-VA13)	Ameland	1.132.357	1.133.670	945.837 (1.150)	839.425 (39.704)	1.246.251 (5.050)	2.000.000
Veerbootroute (VA4-VA13)	Ameland	470.064	646.363	393.538 (1.100)	376.899 (39.171)	368.519 (2.396)	4.000
Reegeul		11.400	13.615	19.380 (0)	10.089 (2.809)	11.467 (4.087)	45.000
Ballumerbocht		27.210	24.325	22.495 (0)	14.166 (2.925)	28.587 (3.513)	25.000
<i>Totaal Rijkswaterstaat</i>		1.699.751	1.921.339	1.441.700 (2.988)	1.267.544 (115.150)	1.699.479 (70.638)	2.134.000
Lokale beheerders							
Veerdam Nes, Jachthaven				20.231	12.000	13.900	10.000
Ballumerbocht							1.000
Totaal Lokale beheerders		-	-	20.231	12.000	13.900	11.000
<i>Totaal Borndiep (exclusief ploegen)</i>		1.699.751	1.921.339	1.461.931	1.279.544	1.713.379	2.145.000

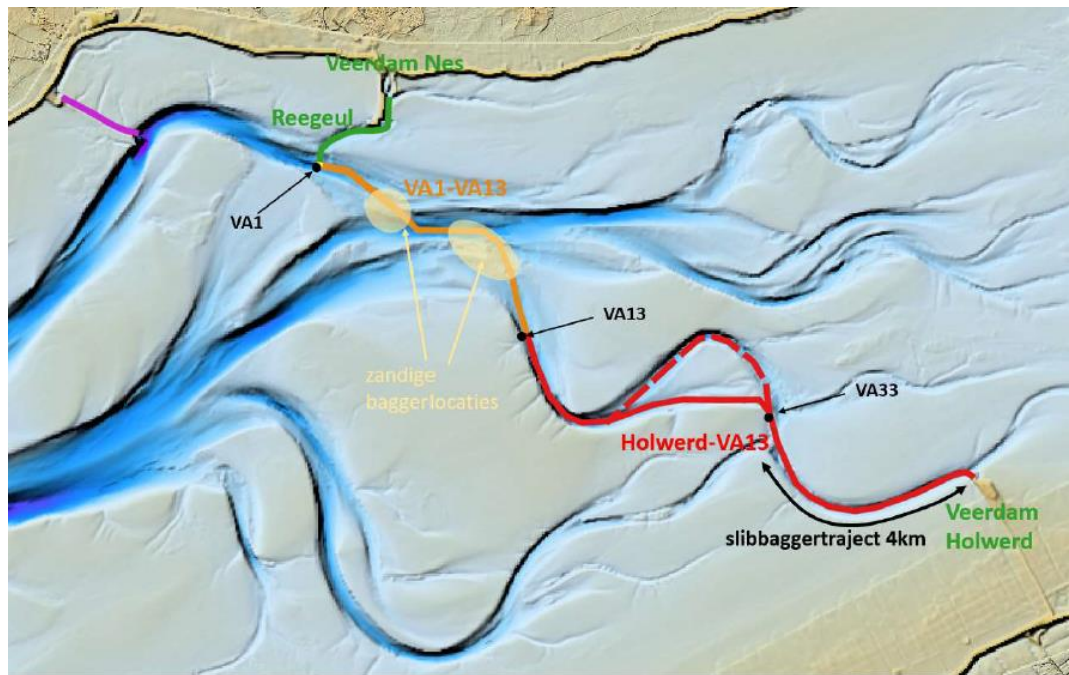
In de recente VBA 2030 studie (Witteveen en Bos 2022a) is een trendanalyse gemaakt van de baggervolumes voor de vaarweg Holwerd Ameland. Deze trendanalyse wordt hieronder beknopt overgenomen. Voor meer details zie Witteveen en Bos (2022a).

Het totale baggervolume in 2020 voor de veerroute Holwerd-Ameland bedroeg 1,9 Mm³. Dit kan worden onderverdeeld in drie baggertrajecten (zie Figuur 3-17):

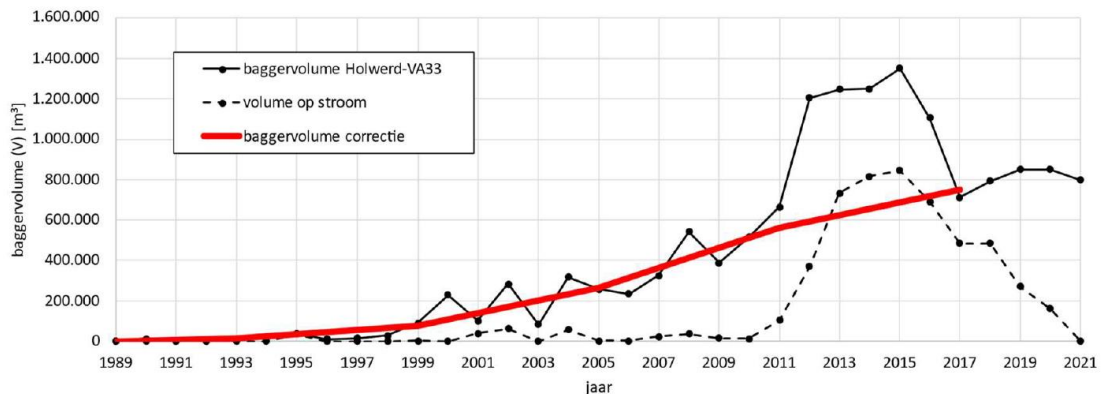
- Holwerd - VA13 (meest zuidelijke deel van de vaargeul incl. bochtafsnijding): 1,1 Mm³ (circa 60 %);
- VA1 - VA13 (gebied met drempels): 0,7 Mm³ (circa 35 %);
- overig (Veerdam Holwerd, Reegeul, Veerdam Nes): 0,1 Mm³ (circa 5 %).

Voor Holwerd - VA33 is de prognose gebaseerd op het afleiden van empirische relaties tussen kombergingsvolume en evenwichtsdoorsnede van de geul enerzijds en de baggervolumes anderzijds op basis van historische data. De baggervolumes voor Holwerd-VA33 zijn gecorrigeerd voor de afwijking tussen 2011-2017 waarin zeer grote volumes 'op stroom' gezet zijn, zie Figuur 3-18, hetgeen heeft geleid tot hogere baggervolume t.o.v. de baggermethode (zuigen met sleephopperzuiger en verspreiden in verspreidingsvakken) die voor 2011 en ook weer na 2017 worden toegepast. De toekomstige kombergingsvolumes zijn bepaald door het opschuiven van het wantij, sedimentatie en groei kwelders, met relatieve bijdrages aan de verandering van het kombergingsvolume van respectievelijk 64%, 16% en 20%.

Voor VA13-VA33 is de prognose gedefinieerd als een vast percentage (33%) van het maximale verwachte baggervolume in traject Holwerd-VA33. Dit percentage volgt uit de aanname dat de verdeling in baggervolumes tussen traject Holwerd-VA33 en VA13-VA33 gelijk is aan 75% staat tot 25% respectievelijk. Daarbovenop wordt een onzekerheidstoeslag gehanteerd van 20% op het maximale baggervolume. De prognoses van VA1-VA13 en overig zijn gebaseerd op het maximale baggervolume dat is geregistreerd plus 1 maal de standaarddeviatie.

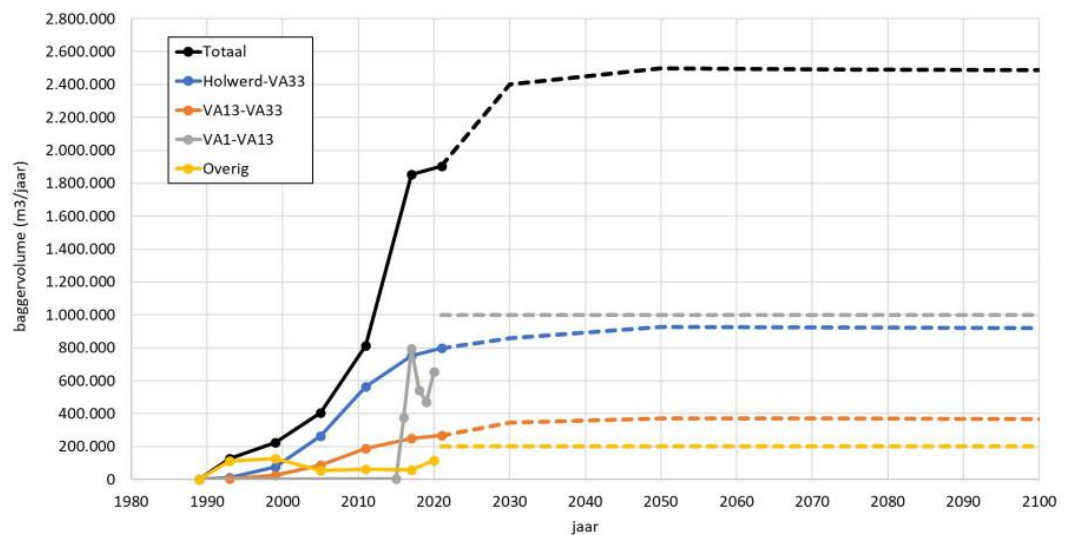


Figuur 3-17 Overzicht baggerlocaties veerroute Holwerd-Ameland, overgenomen uit VBA 2030 Witteveen en Bos (2022a).



Figuur 3-18 Totaal baggervolume voor traject Holwerd-VA33 en een correctie voor de verandering in meetmethode van het baggervolume en het grote volume 'op stroom zetten' tussen 2011-2017, overgenomen uit VBA 2030 Witteveen en Bos (2022a).

De prognose van de (conservatieve) maximale baggervolumes voor vaarweg Holwerd-Ameland uit VBA 2030 (Witteveen en Bos 2022a) is weergegeven in Figuur 3-19. In deze prognose groeit het totale baggervolume voor vaarweg Holwerd-Ameland door naar 2.5 miljoen m³/j. Dit baggerbezwaar treedt op voor het scenario waarbij het wantij verder naar het westen verplaatst, de kwelders doorgaand sedimenteren tot 2050. Daarnaast wordt uitgegaan van de geobserveerde sedimentatie in combinatie met de ondergrens van het gematigde SSP2-4.5 klimaatscenario. Indien het wantij niet verplaatst t.o.v. de huidige ligging is de prognose voor 2100 2.4 Mm³/j (0.1 Mm³/j lager), en bij maximale oostwaartse verplaatsing 1.9 Mm³/j (0.6 Mm³/j lager). Afgraven van de kwelders tot niveau 1960 verlaagt de prognose voor 2100 met circa 0.4 Mm³/j en handhaven van de huidige ligging van de kwelders verlaagt de prognose met 0.1 Mm³/j. Voor scenario's met snellere zeespiegelstijging neemt de prognose van het maximale baggervolume af tot 2.4 Mm³/j in 2100 (een verlaging van de prognose van 0.1 Mm³/j in 2100). Deze prognoses gelden voor de huidige afmeting en huidig traject van de vaarweg. Indien de vaarweg in de toekomst verkleind zou worden in doorsnede en/of verlegd zou worden naar een korter en gunstiger traject dan kan het verwachte baggervolume (fors) afnemen, zie VBA 2030 (Witteveen en Bos 2022a) voor de verwachte baggervolumes voor enkele alternatieve trajecten en vaarweg dimensies.



Figuur 3-19 Baggerbezwaar veerroute Holwerd-Ameland met historische baggervolumes (doorgetrokken lijn) en verwachte maximale baggervolumes (gestippelde lijnen), overgenomen uit VBA 2030 Witteveen en Bos (2022a).

De prognose van de baggervolumes voor vaarweg Holwerd-Ameland in Figuur 3-19 heeft in 2035 een waarde van ruim 2.4 miljoen m³/j en in 2050 2.5 miljoen m³/j. Voor de groei van het baggervolume tot 2050 in het Borndiep zijn het opschuiven van het wantij, en de verlanding (bestaande uit sedimentatie van het kombergingsgebied en groei van de kwelders) dominant ten opzichte van de invloed van zeespiegelstijging. Daarom is een doorgaande groei van het baggervolume tot 2050 een realistische prognose. De prognose in Figuur 3-19 houdt alleen rekening met baggerwerk op de huidige locaties waar gebaggerd wordt, maar niet met een mogelijke toename van baggerlocaties langs de vaarroute bijvoorbeeld in de zone VA13-VA33. Om deze en andere onzekerheden mee te nemen wordt een bandbreedte rondom de prognose met expert judgement ingeschat op 0.5 Mm³/j (20% van het totaal volume) wat resulteert in een prognose van 1.9 - 2.9 miljoen m³/j in 2035 en 2 - 3 miljoen m³/j in 2050. Een belangrijke aanname in deze prognose is dat de diepte en breedte van de vaargeulen niet aangepast wordt.

De mediaan en bovengrens van zowel de prognose van 1.9 - 2.9 miljoen m³/j in 2035 als 2 - 3 miljoen m³/j in 2050 komen uit boven de huidige N2000-beheerplan verwachting van 2.134 miljoen m³/j (Rijkswaterstaat areaal excl. lokale beheerders). Het tijdsverloop van de prognose in Figuur 3-19 laat zien dat de 2.134 miljoen m³/j grens in 2024 al zou kunnen worden overschreden. Het tijdsverloop van deze prognose is voor de eerste jaren na 2020 wellicht wat conservatief snel groeiend, 2021 - 2023 waren bijvoorbeeld jaren met minder baggervolume t.o.v. 2020, maar desondanks is het waarschijnlijk dat de huidige N2000-beheerplan verwachting van 2.134 miljoen m³/j voor 2035 zal worden overschreden.

Mocht er in de nabije toekomst optimalisaties in vaarweg afmeting en traject of afgraving van kwelders worden uitgevoerd dan is het mogelijk dat de baggervolumes wel binnen de huidige N2000-beheerplan verwachting blijven tot 2035 of 2050, zie bijvoorbeeld Witteveen en Bos (2022a). Een andere wijze om binnen de huidige N2000-beheerplan verwachting te blijven tot 2035 en 2050 zou kunnen bestaan uit het optimaliseren van de bagger- en verspreidingsstrategie. Om de baggervolumes te verlagen zou gekozen kunnen worden voor verspreiding op locaties met minder retourstroming, echter heeft dit ook nadelen zoals bijvoorbeeld langere vaarafstanden, hogere kosten, hogere uitstoot en dat het sediment dan minder gemakkelijk of niet in hetzelfde morfologische systeem opgenomen kan worden als waar het gebaggerd is. Optimalisatie in baggermethode zou er uit kunnen bestaan om in het eerste deel Holwerd-VA13 meer water injectie baggeren (WID) toe te gaan passen, zoals in het verleden voor 2010 ook al gedaan is. WID zal naar verwachting niet al het hopper baggerwerk kunnen vervangen op dit traject, maar wel een deel. Er zal dan wel eerst goed uitgezocht dienen te worden of de argumenten om in 2010 te stoppen met WID nog gelden, of dat er inmiddels zwaarwegendere argumenten zijn om toch weer WID te gaan toepassen. De baggervolumes zullen door toepassing van WID weliswaar niet afnemen, maar de potentiële effecten wel doordat de vertroebeling dichter bij de bodem blijft en alleen in de diepere delen van de geul zal blijven. Ook uitstoot en kosten zullen afnemen indien er meer WID toegepast kan worden. Indien besloten zou worden om de bagger- en verspreidingsstrategie aan te willen passen, dan wordt aanbevolen om eerst nader onderzoek te doen en een pilot om de voor- en nadelen en effectiviteit van de aanpassingen in kaart te brengen. Zie ook de VBA2030 studie (Witteveen en Bos 2022a) voor opties om de baggerinspanning voor de vaarweg Holwerd Ameland te optimaliseren.

De baggervolumes van niet-Rijkswaterstaat areaal (een jachthaven en veerdam) in kombergingsgebied Borndiep zijn erg laag vergeleken met de baggervolumes van de vaarweg en er zijn slechts beperkt gegevens hiervan voorhanden. De baggervolumes tussen 2021 en 2023 lagen tussen 12.000 en 20.000 m³/j. Dit is hoger dan de huidige N2000-beheerplan verwachting van 11.000 m³/j. De sedimentatie in havens, en daarmee het baggervolume, hangt samen met de concentratie zwevend stof in het water. Er is geen langjarige trend in de concentratie zwevend stof in de Waddenzee en invloed van zeespiegelstijging op baggervolumes zal tot 2050 klein zijn, daarmee is de verwachting dat de baggervolumes voor niet-Rijkswaterstaat areaal in Borndiep rondom het huidige niveau van 12.000-20.000 m³/j zullen blijven richting 2035 en 2050.

3.5.2 Uitwerking baggerinspanning naar ruimte, tijd, bagger- en verspreidingstechniek en sedimentsamenstelling

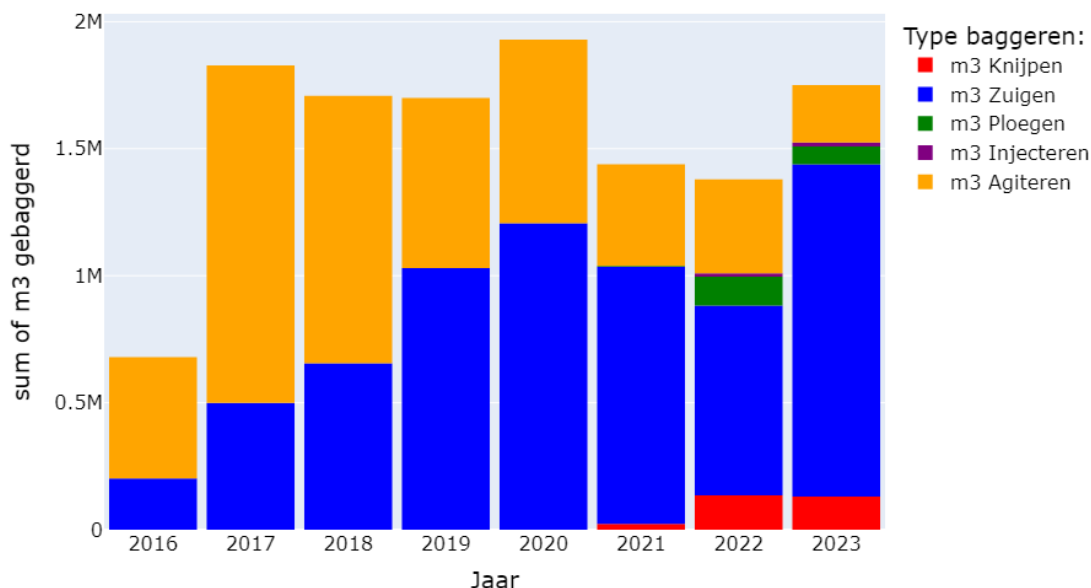
Sedimentsamenstelling Borndiep

In het meest zuidelijke deel, de eerste 4 km van de vaarweg (Holwerd-VA33), wordt met name slib gebaggerd en in het overige deel met name zandig materiaal (Deltares 2016b, Witteveen en Bos 2022, Arcadis 2024). De eerste kilometers van de vaarweg is het slibgehalte zeer hoog (60-90%) afnemend tot 30-40% op 2 km van de pier en 5% op 5 km van de pier (Deltares 2021b). Dit komt overeen met eerdere waarnemingen van ~80% slibrijk materiaal in de eerste kilometers van de pier (Deltares 2016b). Tussen januari 2018 en juni 2020 maakte Holwerd-VA33 ongeveer 43% uit van het totale baggervolume (Deltares 2021b). Dit geeft een globale verdeling van ruim een derde slibrijk materiaal en krap twee derde zandig materiaal wat gebaggerd wordt in de vaarweg Holwerd-Ameland.

Bagger- en verspreidingstechniek Borndiep

Het merendeel van het gebaggerde volume in kombergingsgebied Borndiep in het huidige baggercontract na november 2021 wordt gebaggerd met een sleeppopperzuiger en vervolgens verspreid in een verspreidingsvak (methode 'zuigen'), zie Figuur 3-20. Tussen 2016-2020 werden grote volumes middels agiteren 'op stroom' gezet. Toepassing van agiteren is sinds 2021 ingeperkt tot momenten rondom laagwater waarbij een verspreidingsvak niet te bereiken is of de bodemdeuren niet geopend kunnen worden. Dit gebeurt met hetzelfde baggerschip (sleeppopperzuiger) als methode 'zuigen'. Een nog kleiner volume wordt met methode knippen gebaggerd langs de randen van een geul bij platen waar het lastig of onmogelijk is om met een sleeppopperzuiger te baggeren (Waddenacademie 2023). Methode ploegen wordt toegepast om de verdiepte gebaggerde banen van een sleeppopperzuiger glad te trekken en zo de bodem te egaliseren. Sinds 2021 wordt hier een volume aan toegekend, echter t.o.v. het volume met methode 'zuigen' gaat dit om kleine volumes (<10%). Het volume wat met WIB (injecteren) wordt gebaggerd is nagenoeg verwaarloosbaar t.o.v. de andere baggermethodes. De jaarlijkse verspreidingsvolumes in het Borndiep staan in Tabel 3.8.

Type baggeren in deelgebied: Borndiep



Figuur 3-20 Uitsplitsing Rijkswaterstaat baggerinspanning Borndiep 2016-2023 naar baggermethode.

Tabel 3.8 Jaarlijks verspreidingsvolumes 2019-2023 in bekken Borndiep per verspreidingslocatie, incl. lokale beheerders, in m³ (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023).

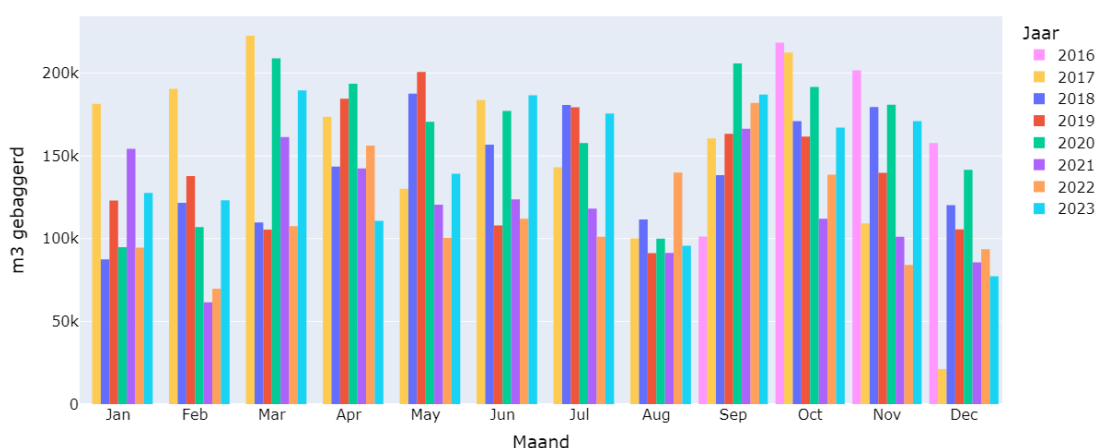
Verspreidingslocatie	2019	2020	2021	2022	2023
Kikkertgat	11.400	9.615	19.107	11.092	15.602
Molengat	20.290	39.629	30.776	9.274	26.262
Molengat / Ballumerbocht	24.210	24.325	23.079	1.641	11.244
Scheepsgat	44.293	62.687	84.930	340.179	602.233
Zuiderspruit	387.596	359.385	387.996	384.784	779.785
Ebgeul	541.962	698.880	481.680	-	1.195
Overdiepte VA18a	-	-	-	66.044	-
Overdiepte VA24	-	-	-	67.660	-
Totaal Rijkswaterstaat	1.029.751	1.194.521	1.027.568	880.674	1.436.321
Lokale beheerders					
Veerdam Nes, Jachthaven			20.231	12.000	13.900
Totaal Lokale beheerders	-	-	20.231	12.000	13.900
Totaal Borndiep	1.029.751	1.194.521	1.047.799	892.674	1.450.221

Variatie baggerinspanning Borndiep over het jaar

Er wordt in de vaarweg Holwerd Ameland jaarrond gebaggerd. De variatie in baggerinspanning over de verschillende maanden voor de jaren 2016-2023 wordt getoond in Figuur 3-21. Er is wel wat variatie van maand tot maand, maar er is geen duidelijke trend zichtbaar en de variatie van jaar tot jaar is groter dan de variatie over de maanden. Er is ook geen duidelijke seizoensvariatie zichtbaar.

De terugkeertijd van het baggeren in de eerste kilometers van de vaarweg Holwerd Ameland die het meest intensief gebaggerd worden was in 2016 gemiddeld 9 dagen. Elke 9 dagen wordt er een laag slib van ca. 0.5m gebaggerd. Dit baggeren gebeurt in de eerste kilometers van de vaarweg met name langs de randen van de vaargeul en de middelste 20 m van de vaarweg blijft in de praktijk op diepte door waarschijnlijk de voortdurende vaarbewegingen van de veerdienst en andere schepen (Deltares 2016b).

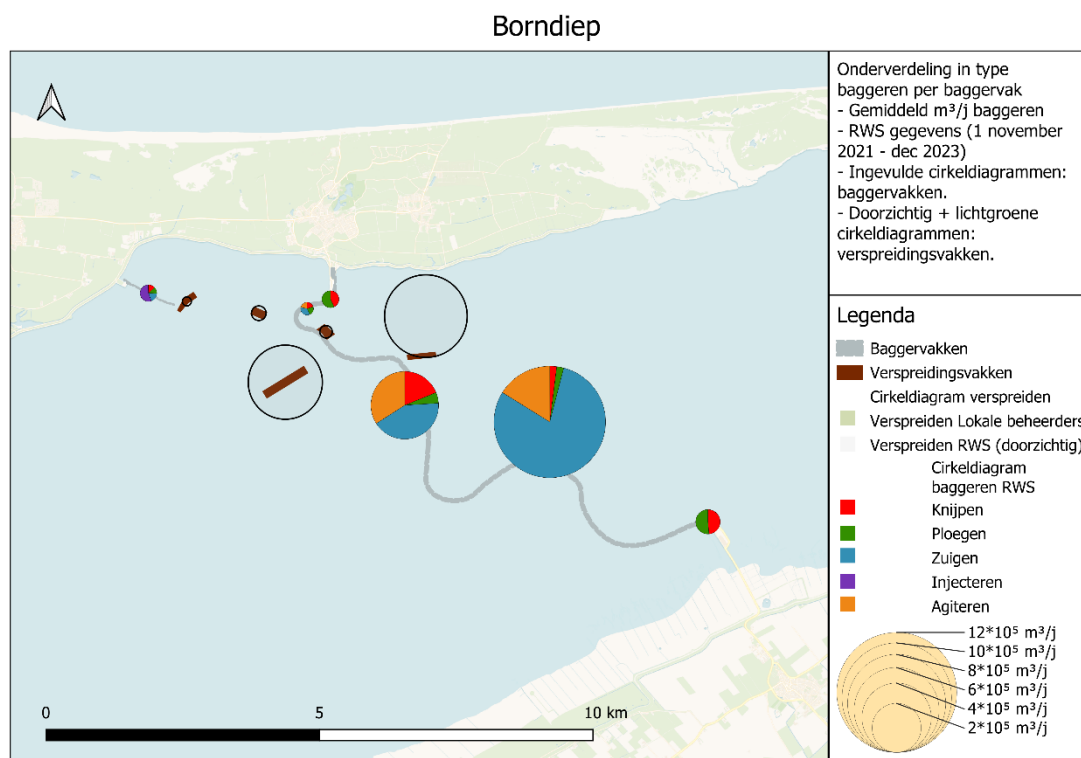
Maandelijks baggeren in deelgebied: Borndiep



Figuur 3-21 Maandelijks variatie baggervolume van Rijkswaterstaat in bekken Borndiep, excl. lokale beheerders, voor de jaren 2016-2023.

Ruimtelijke verdeling baggerinspanning Borndiep

De ruimtelijke verdeling van het baggeren (opgesplitst naar baggermethode) en verspreiden over de verschillende baggervakken en verspreidingsvakken in het Borndiep is weergegeven in Figuur 3-22. Het merendeel van het baggerwerk in het Borndiep vindt plaats in de eerste kilometers van de vaarweg. Het met de sleephopperzuiger opgezogen sediment wordt vooral via de twee meest zuidelijke verspreidingsvakken Zuiderspruit en Scheepsgat verspreid en veel lagere volumes via de noordelijke verspreidingsvakken Molengat en Kikkergat.



Figuur 3-22 Ruimtelijke verdeling bagger en verspreidingsvolumes Borndiep.

Verstoord oppervlak baggeren Borndiep

In onderstaande tabel wordt een globale, grofstoffelijke orde-grootte inschatting van het aantal ha bodemverstoring door frequent baggeren gemaakt (voor uitleg van de aanpak zie paragraaf 3.4.2 waarbij voor het Borndiep ook informatie uit VBA 2030 en Deltares (2016b) is gebruikt).

Locatie	Oppervlak	Oppervlak binnen N2000	Oppervlak laagdynamisch
Ballumerbocht	Globaal 1 km × 40 m = 4 ha	4 ha	4 ha
Veerdam Nes	Globaal 500 m × 60 m = 3 ha	2 ha	2 ha
Holwerd – VA33	Globaal 4 km × 40 m = 16 ha (60 m vaarwegbreedte minus middelste 20 m waar in de praktijk niet gebaggerd hoeft te worden)	16 ha	16 ha
Enkele baggerspots tussen VA33-VA1	Globaal 2 km × 60 m = 12 ha	12 ha	6 ha (aanname: 50% in laagdynamisch gebied)
Verspreidingsvakken	33 ha	33 ha	24 ha
Totaal	68 ha	67 ha	52 ha

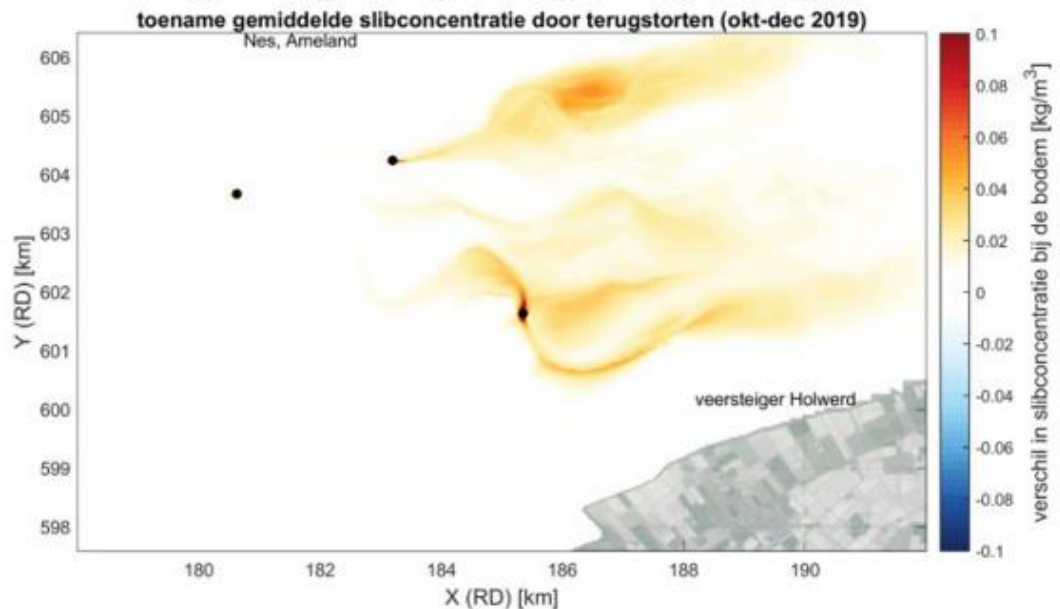
Het totale oppervlak waar frequent gebaggerd en verspreid wordt in het Borndiep komt met deze grofstoffelijke analyse globaal op ongeveer 68 ha. Dit is slechts 0.2% van het totale oppervlak van het bekken Borndiep (~280 km² bron: Deltares (2023b)) en ongeveer 3% van

het totale geuloppervlakte $z < -5\text{m}$ van het bekken (24 km^2 , zie hoofdstuk 2). N.B. deze analyse beschouwt alleen directe verstoring van het baggeren en storten binnen de bagger- en verspreidingsvakken. Verstoring door bijvoorbeeld sedimentatie of vertroebeling of geluid of een andere invloed op de omgeving is in deze oppervlakte bepaling niet meegenomen.

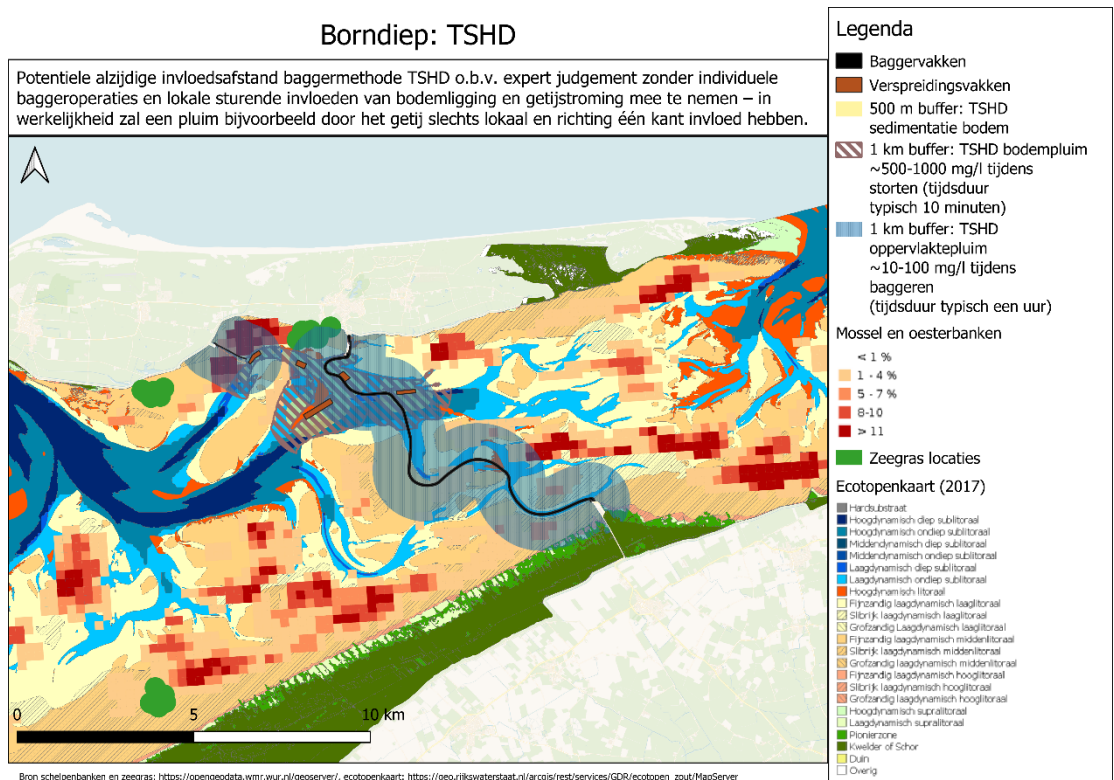
3.5.3 Potentiële abiotische impact van de verschillende bagger- en verspreidingstechnieken
Voor de vaarweg Holwerd Ameland zijn er in enkele studies vertroebelingspluimen gesimuleerd van de bagger- en verspreidingsactiviteiten. Figuur 3-23 toont de gesimuleerde tijdsgemiddelde extra slibconcentratie nabij de bodem veroorzaakt door verspreiden van baggerspecie. Het laat geen individuele pluim zien, maar de tijdsgemiddelde pluim van continue achter elkaar uitgevoerde verspreidingsoperaties om de vaarweg op diepte te houden. Nabij het wateroppervlak zullen de slibconcentraties iets lager zijn, maar voor baggerpluimen is niet generiek aan te geven hoeveel lager omdat dit afhangt van de lokale condities. De oppervlakte slibconcentraties zijn relevant voor de lichtdoordringing. De tijdsgemiddelde slibconcentratie nabij de bodem neemt ongeveer 50 mg/l toe over een zone van ongeveer 5 km vooral oostwaarts vanaf de stortlocaties Zuiderspruit en VA33. Op grotere afstanden oostelijk van Zuiderspruit en VA33 neemt de concentratie af tot 20 mg/l (tijdsgemiddeld nabij de bodem) op ongeveer 8 km afstand.

Het baggeren en verspreiden van grote volumes zorgt over langere tijdschalen voor een herverdeling van slib in de waterkolom t.o.v. een situatie waarin er niet gebaggerd en verspreid zou worden. In een oudere studie (Deltares 2015) is zowel het baggeren als het verspreiden gesimuleerd en vergeleken met een situatie zonder baggeren en verspreiden. Deze studie laat een tijdsgemiddelde toename van de slibconcentratie van ongeveer 10% zien nabij het wateroppervlak in een zone van een kilometer rondom de verspreidingslocatie (5% verhoging in een zone van ongeveer 10 km) en een tijdsgemiddelde afname van 25% nabij het wateroppervlak over een zone van ongeveer 3 km rondom de vaarweg Holwerd-VA33 waar het slib wordt ingevangen en gebaggerd. In de vaarweg Holwerd-Ameland wordt semi-permanent gebaggerd terwijl dit in de andere bekkens minder het geval is.

De modelstudies laten zien dat de tijdsgemiddelde effecten van het baggeren en verspreiden op de vertroebeling in het bekken Borndiep optreden in een zone van enkele kilometers rondom de bagger- en verspreidingsactiviteiten en dat deze invloed op de vertroebeling gestuurd worden door de getijstrooming. Een meer grofstoffelijke beschouwing o.b.v. expert judgement zonder modellering, zie paragraaf 3.1.3, van de potentiële alzijdige korte termijn impact afstand van de pluimvorming tijdens baggeren en verspreiden in het Rijkswaterstaat areaal wordt getoond in Figuur 3-24 voor de meest gebruikte baggermethode TSHD. De ligging van mossel-, oesterbanken, zeegraslocaties en de ecotopenkaart is aangegeven om een eerste indicatie te verkrijgen van de potentiële overlap van de impact afstand van de betreffende baggermethode en ecologische gevoelige gebieden. In bijlage B staan de potentiële alzijdige impact afstanden voor de overige baggermethodes die minder toegepast worden in kombergingsgebied Borndiep.



Figuur 3-23 Gemodelleerde tijdsgemiddelde toename van de slibconcentratie okt-dec 2019 nabij de bodem veroorzaakt door terugstorten sediment in het Scheepsgat (meest westelijk), in de Zuiderspruit (meest noordelijk) en bij VA33 (meest zuidelijk). (overgenomen uit Deltares 2021).



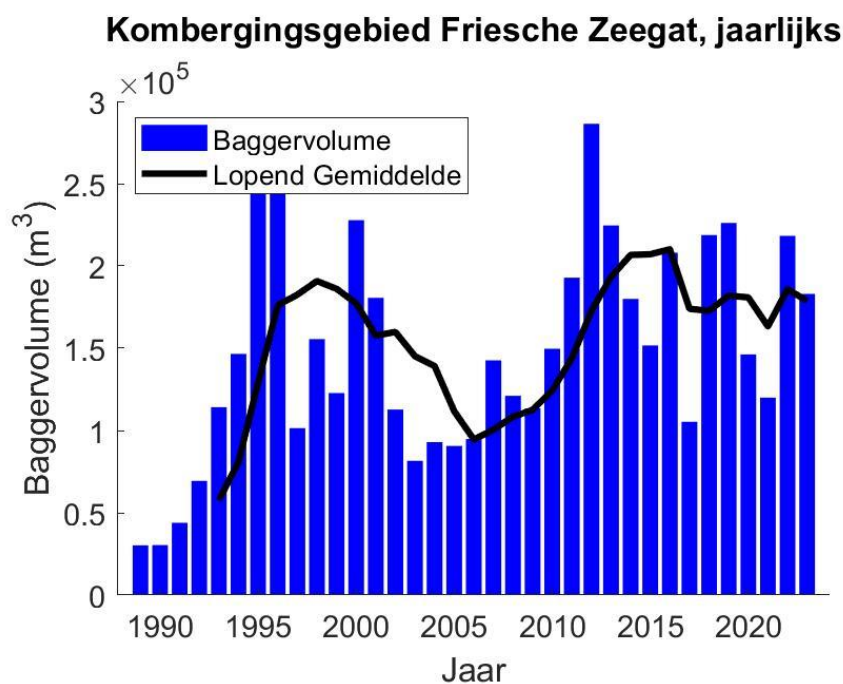
Figuur 3-24 Potentiële alzijdige invloedssafstand van pluimvorming door baggeren en verspreiden door baggermethode TSHD in het Borndiep in relatie tot de ecotopenkaart en locaties van mossel-, oesterbanken en zeegras.

3.6 Friesche Zeegat

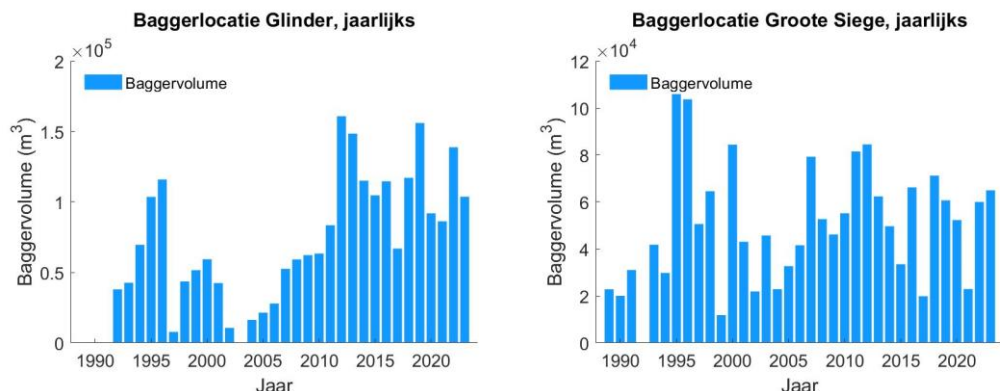
3.6.1 Actuele baggercijfers en verwachte trends

Het jaarlijkse baggervolume uitgevoerd door Rijkswaterstaat (excl. lokale beheerders) in kombergingsgebied Friesche Zeegat tussen 1989-2023 is weergegeven in Figuur 3-25. Het baggervolume van Rijkswaterstaat is gestegen van minder dan 50.000 m³/j begin jaren 90 naar 80.000-300.000 m³/j. vanaf 1995 tot nu. De grootste baggervolumes worden gebaggerd in de Glinder en Groote Siege, zie Figuur 3-27. Tabel 3.9 toont voor 2019-2023 een overzicht inclusief het baggervolume door lokale beheerders. Voor kombergingsgebied Friesche Zeegat is in de meeste jaren het baggervolume van de lokale beheerders van vergelijkbare omvang als het baggervolume van Rijkswaterstaat, met 2023 als uitzondering waar het baggervolume van de lokale beheerders veel lager lag. Er wordt in het Friesche Zeegat sinds het nieuwe baggercontract vanaf 1-11-2021 in het Rijkswaterstaat areaal relatief veel gebruikgemaakt van methode ploegen. In 2022 werd ruim drie kwart van het totale Rijkswaterstaat baggervolume geplogd en in 2023 is dit bijna de helft.

De baggervolumes in kombergingsgebied Friesche Zeegat liggen exclusief ploegvolume onder de N2000-beheerplan verwachting van 424.000 m³/j (Rijkswaterstaat en lokale beheerders samen). Inclusief ploegen lag het totale baggervolume van Rijkswaterstaat en lokale beheerders samen in 2022 met 434.773 m³/j net boven de N2000-beheerplan verwachting, maar in 2023 ligt het baggervolume inclusief ploegen weer eronder. Zoals in paragraaf 3.2.4 aangegeven wordt het baggervolume van ploegen bepaald op basis van gewerkte uren vermenigvuldigd met een productie die gebaseerd is op een beperkt aantal productierapportages en is deze volumebepaling minder nauwkeurig dan voor baggermethode zuigen (TSHD).



Figuur 3-25 Jaarlijks baggervolume 1989-2023 van Rijkswaterstaat in bekken Friesche Zeegat, excl. lokale beheerders, incl. ploegen (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023).



Figuur 3-26 Jaarlijks baggervolume 1989-2023 van Rijkswaterstaat van enkele relevante individuele baggerlocaties in bekken Friesche Zeegat, excl. lokale beheerders, incl. ploegen (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023).

Tabel 3.9 Jaarlijks baggervolumes 2019-2023 in bekken Friesche Zeegat per baggerlocatie, incl. lokale beheerders, in m³ (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023). Tussen haakjes staat het baggervolume door methode ploegen.

Locatie	2019	2020	2021	2022	2023	Verwachting N2000-beheerplan
Rijkswaterstaat						
Veerhaven Lauwersoog	4.836	2.085	2.363 (425)	- (7.571)	- (6.942)	9.000
Haven Schiermonnikoog	4.612	-	7.237 (850)	4.102 (7.792)	- (7.437)	15.000
Glinder	155.975	91.876	74.681 (11.563)	28.516 (110.287)	54.470 (49.234)	125.000
Groote Siege	60.660	52.288	22.869 (0)	16.340 (43.637)	45.355 (19.583)	65.000
<i>Totaal Rijkswaterstaat</i>	226.083	146.249	107.150 (12.838)	48.958 (169.287)	99.825 (83.196)	214.000
Lokale beheerders						
Jachthaven Schiermonnikoog						10.000
Haven Lauwersoog		163.909	144.460	216.528	41.550	200.000
<i>Totaal Lokale beheerders</i>	-	163.909	144.460	216.528	41.550	210.000
<i>Totaal Friesche Zeegat (exclusief ploegen)</i>	226.083	310.158	251.610	265.486	141.375	424.000

De jaarlijkse baggervolumes in het Friesche Zeegat voor het Rijkswaterstaat areaal variëren vanaf 2006 tot 2023 tussen 100.000-300.000 m³/j. zonder duidelijke trend, zie Figuur 3-25. Het baggervolume voor Veerhaven Lauwersoog fluctueert al sinds 1989 stabiel tussen 2000-12.000 m³/j (met één uitschieter in 2013 naar 23.000 m³/j) zonder duidelijke trend. Haven Schiermonnikoog laat na 2001 een gestage afname zien van het baggervolume tot het huidige niveau van ongeveer 7000 m³/j. De baggervolumes van de Glinder zijn sinds 2005 toegenomen tot globaal 100.000-160.000 m³/j vanaf 2011 tot 2023. De baggervolumes van Groote Siege fluctueren al sinds 1989 steady tussen 10.000-110.000 m³/j zonder duidelijke trend. In de morfologische analyse in paragraaf 2.5 kwam naar voren dat het Friesche Zeegat een sediment importerend systeem is en o.b.v. morfologische trends de verwachting is dat de baggervolumes van de Groote Siege voorlopig stabiel blijven, die van de Glinder nu nog stijgen maar zouden kunnen gaan dalen door morfologische ontwikkeling van een doorbraak vanuit het Binnenplaatgat naar het zuidelijk deel van de Zoutkamperlaag. Een in Arcadis (2023) voorgestelde geulverlegging, uit te voeren in 2024, van de Glinder zal naar verwachting leiden tot lagere baggervolumes. Hierdoor zijn de toekomstige baggervolumes van de Glinder onzeker. Waar er in de Zoutkamperlaag nu dus nog geen baggeronderhoud plaatsvindt, zou onderhoudsbaggerwerk door drempelvorming en vorming van een tweegeulensysteem in de toekomst wel noodzakelijk kunnen worden.

Door morfologische ontwikkelingen zou enerzijds dus het baggervolume van de Glinder kunnen gaan afnemen in de toekomst, maar tegelijkertijd baggeren in de Zoutkamperlaag noodzakelijk kunnen gaan worden. Die twee ontwikkelingen kunnen elkaar deels opheffen. De invloed van zeespiegelstijging op de baggervolumes zal tot 2050 klein zijn. Vanwege de doorgaande sedimentatie in het systeem en de processen van drempelvorming en vorming van een tweegeulensysteem in de Zoutkamperlaag wordt uitgegaan in de prognose richting 2035 en 2050 van een toename van het jaarlijkse baggervolume in het Friesche Zeegat van orde 33%. Dat geeft een verwacht baggervolume van Rijkswaterstaat areaal in het Friesche Zeegat in 2035 en 2050 van ongeveer 150.000-400.000 m³/j met een grote bandbreedte om de onzekerheid in de prognose aan te geven evenals de te verwachten forse jaarlijkse fluctuaties. Een belangrijke aanname in deze prognose is dat de diepte en breedte van de vaargeulen niet aangepast wordt. De invloed van zeespiegelstijging op de baggervolumes zal tot 2050 klein zijn. De prognose ligt in de hoge jaren hoger dan de huidige N2000-beheerplan verwachting van 214.000 m³/j en in de lage jaren daar nog onder. Omdat het merendeel van het baggerwerk in het Friesche Zeegat zand betreft, is een forse verlaging van het baggervolume door optimalisatie van de bagger en verspreidingsstrategie niet te verwachten. In 2022-2023 is veel baggerwerk met een ploeg uitgevoerd, zie Figuur 3-27, hiervoor wordt aangeraden om de effectiviteit van ploegen in dit gebied te onderzoeken en of ploegen ook optimaal is vanuit het oogpunt van ecologische impact. Optimalisatie van de baggermethode door WID toe te passen is niet mogelijk omdat dit een zandig gebied is.

De baggervolumes van de havens van de lokale beheerders in kombergingsgebied Friesche Zeegat zijn momenteel vergelijkbaar met de baggervolumes van het Rijkswaterstaat areaal. De sedimentatie in havens, en daarmee het baggervolume, hangt samen met de concentratie zwevend stof in het water. Er is geen langjarige trend in de concentratie zwevend stof in de Waddenzee en daarmee is de verwachting dat de baggervolumes voor de havens in het Friesche Zeegat rondom het huidige niveau zullen blijven richting 2035 en 2050, namelijk 150.000-250.000 m³/j. Dit ligt gemiddeld net onder de huidige N2000-beheerplan verwachting van 210.000 m³/j, maar in een jaar met hoge volumes niet. De invloed van zeespiegelstijging op de baggervolumes in de havens zal tot 2050 klein zijn.

3.6.2 Uitwerking baggerinspanning naar ruimte, tijd, bagger- en verspreidingstechniek en sedimentsamenstelling

Sedimentsamenstelling Friesche Zeegat

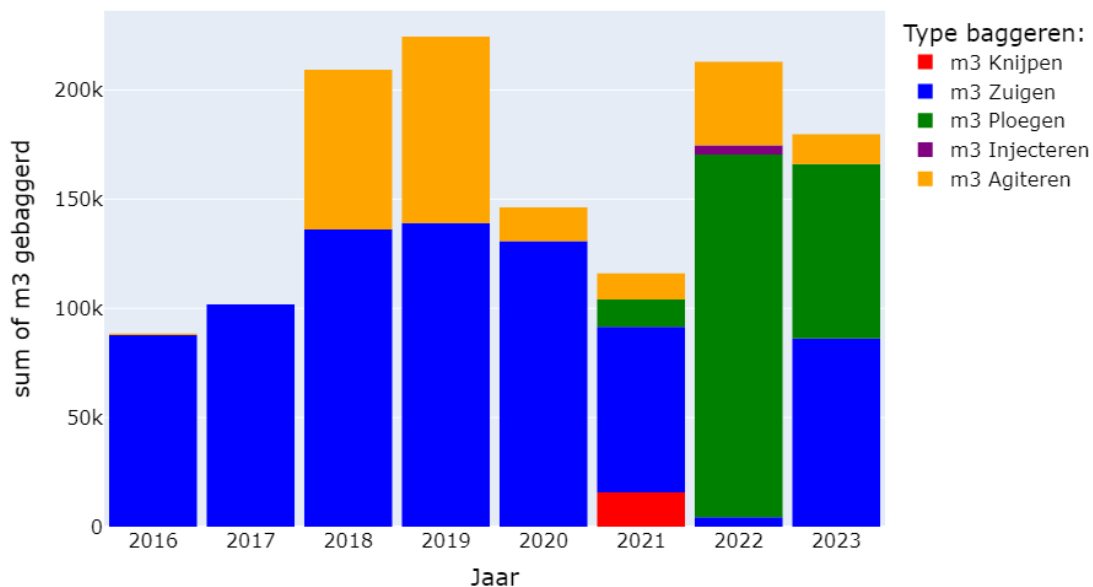
Het Rijkswaterstaat baggerwerk in het Friesche Zeegat bestaat voornamelijk uit zand (Deltares 2024). Voor het baggerwerk van de haven van Lauwersoog is niet bekend wat de sedimentsamenstelling is.

Bagger- en verspreidingstechniek Friesche Zeegat

In het huidige baggercontract na november 2021 wordt in het Friesche Zeegat voor het Rijkswaterstaat areaal veel gebruik gemaakt van de baggermethode ploegen, zie Figuur 3-27. In 2022 werd het merendeel geploegd en in 2023 is dit teruggebracht naar een krappe helft van het totaal Rijkswaterstaat baggervolume, waarbij de rest voornamelijk met een sleehopperzuiger werd opgezogen en losgelaten op een verspreidingsvak en een klein deel werd gebaggerd via agiteren. De jaarlijkse verspreidingsvolumes in het Friesche Zeegat staan in

Tabel 3.10.

Type baggeren in deelgebied: Friesche Zeegat



Figuur 3-27 Uitsplitsing Rijkswaterstaat baggerinspanning Friesche Zeegat 2016-2023 naar baggermethode.

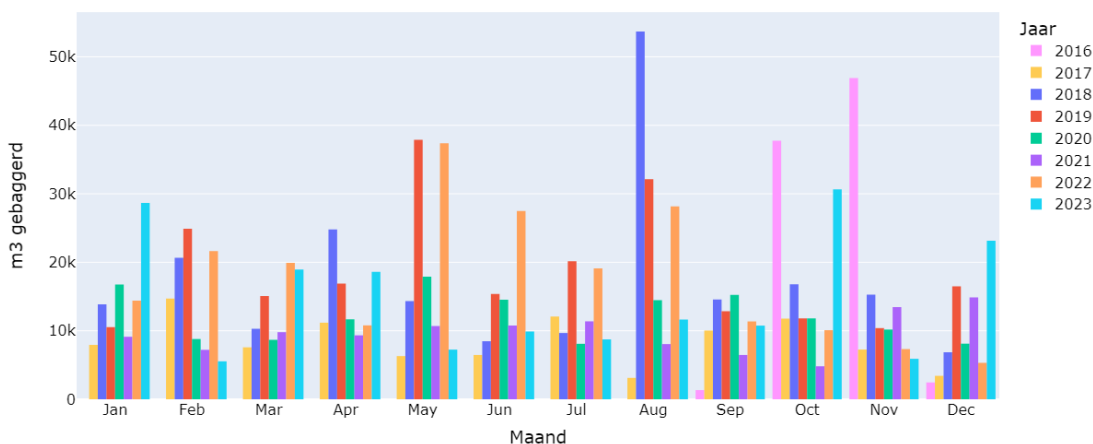
Tabel 3.10 Jaarlijks verspreidingsvolumes 2019-2023 in bekken Friesche Zeegat per verspreidingslocatie, incl. lokale beheerders, in m³ (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023).

Verspreidingslocatie	2019	2020	2021	2022	2023
Gat v Schiermonnikoog 1	47.791	40.017	33.292	1.941	34.219
Gat v Schiermonnikoog 2	39.794	46.277	32.774	1.016	35.111
Oort / Lutjewad	4.836	2.085	2.363	-	-
Zoutkamperlaag 1	2.837	-	1.870	541	2.337
Zoutkamperlaag 2	4.146	1.415	2.453	855	14.280
Totaal Rijkswaterstaat	99.403	89.794	72.752	4.353	85.947
Lokale beheerders					
Haven Lauwersoog	-	163.909	144.460	216.528	41.550
Totaal Lokale beheerders	-	163.909	144.460	216.528	41.550
Totaal Friesche Zeegat	99.403	253.703	217.212	220.881	127.497

Variatie baggerinspanning Friesche Zeegat over het jaar

Er wordt door Rijkswaterstaat in het Friesche Zeegat jaarrond gebaggerd, zie Figuur 3-28. Er is wel wat variatie van maand tot maand, maar zonder duidelijke trend of seizoensvariatie. Ploegen vond in 2023 in het Friesche Zeegat vrijwel dagelijks plaats (werkweek). Toepassing van de sleehopperzuiger vond in 2023 plaats gedurende enkele geconcentreerde campagnes van meerdere dagen met enkele maanden ertussen. Dit zal mede afhangen van de planning en beschikbaarheid van de verschillende baggerschepen en keuzes tussen de verschillende baggermethodes van de aannemer. Deze terugkeerfrequentie van de ploeg en sleehopperzuiger is dus niet generiek geldend voor andere jaren, maar geeft een indicatie. Voor de baggersinspanningen voor de havens in het Friesche Zeegat is niet bekend hoe deze over het jaar verdeeld zijn.

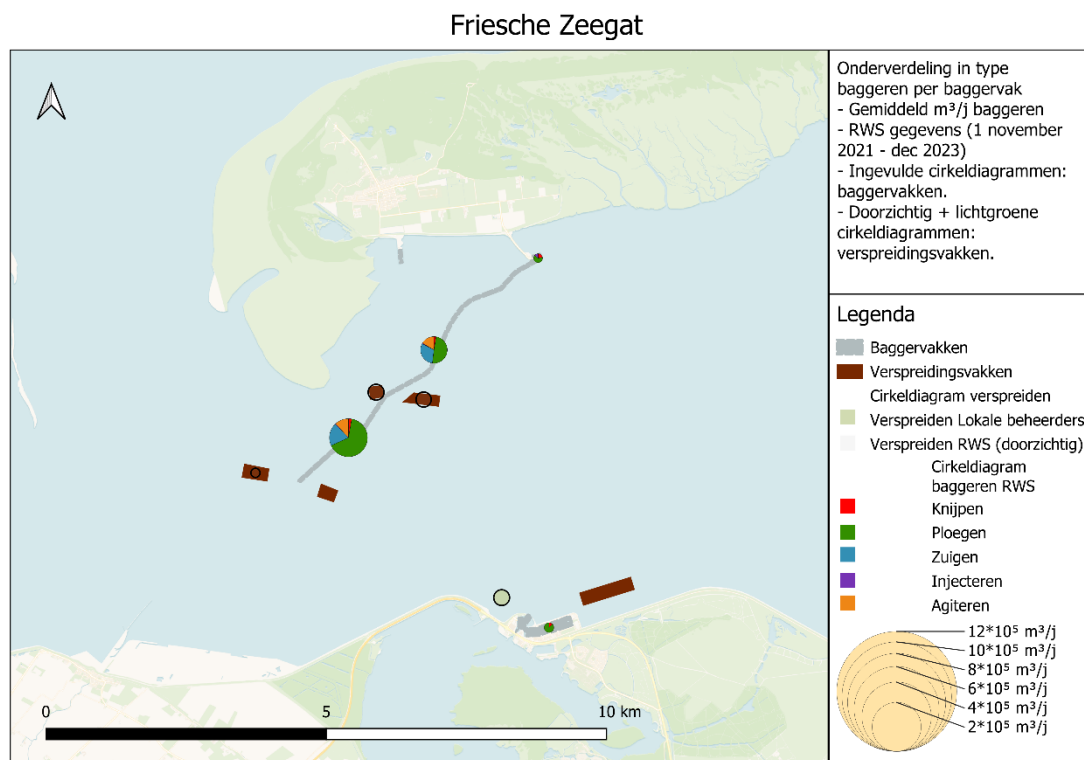
Maandelijks baggeren in deelgebied: Friesche Zeegat



Figuur 3-28 Maandelijkse variatie baggervolume van Rijkswaterstaat in bekken Friesche Zeegat, excl. lokale beheerders, voor de jaren 2016-2023.

Ruimtelijke verdeling baggerinspanning Friesche Zeegat

De ruimtelijke verdeling van het baggeren (opgesplitst naar baggermethode) en verspreiden over de verschillende baggervakken en verspreidingsvakken in het Friesche Zeegat is weergegeven in Figuur 3-29. Het merendeel van het Rijkswaterstaat baggerwerk in het Friesche Zeegat vindt plaats in de Glinder en Grote Siege. Omdat in het huidige contract vooral geploegd wordt is het verspreidingsvolume van Rijkswaterstaat baggerspecie via de verschillende verspreidingsvakken in het Friesche Zeegat laag.



Figuur 3-29 Ruimtelijke verdeling bagger- en verspreidingsvolumes Friesche Zeegat.

Verstoord oppervlak baggeren Friesche Zeegat

In onderstaande tabel wordt een globale, grofstoffelijke orde-grootte inschatting van het aantal ha bodemverstoring door frequent baggeren gemaakt (voor uitleg van de aanpak zie paragraaf 3.4.2).

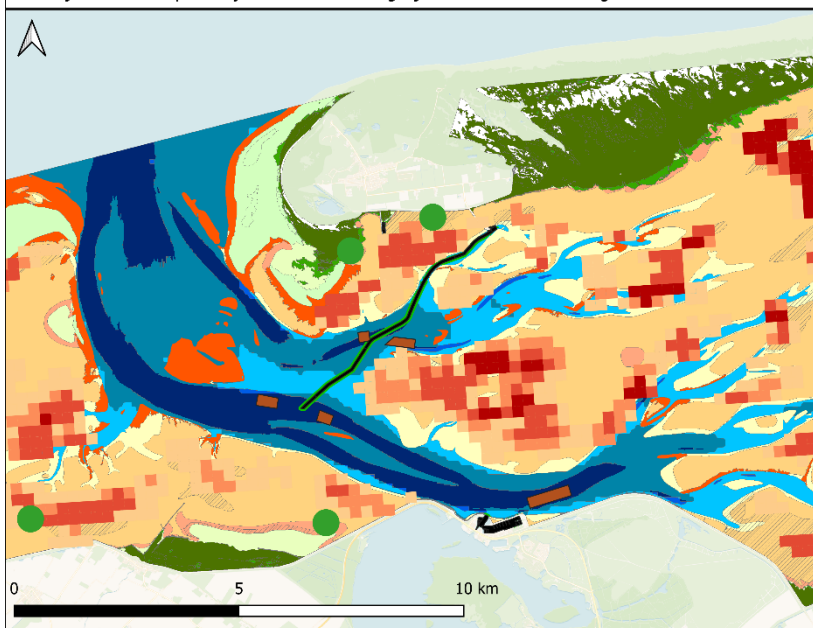
Locatie	Oppervlak	Oppervlak N2000	binnen	Oppervlak dynamisch	laag-
Glinder	Globaal 1 km × 60 m = 6 ha	6 ha		6 ha	
Groote Siege	Globaal 800 m × 50 m = 4 ha	4 ha		4 ha	
Haven Schiermonnikoog	Globaal 100 m × 50 m = 0.5 ha	0.5 ha		0.5 ha	
Veerhaven Lauwersoog	Globaal 100 m × 60 m = 0.6 ha	0 ha		0 ha	
Verspreidingsvakken	64 ha	64 ha		0 ha	
Totaal	75 ha	75 ha		11 ha	

Het totale oppervlak waar frequent gebaggerd en verspreid wordt in het Friesche Zeegat komt met deze grofstoffelijke analyse globaal op ongeveer 75 ha. Dit is slechts 0.5% van het totale oppervlak van het bekken (~160 km² bron: Deltares (2023b)) en ongeveer 4% van het totale geuloppervlakte z<-5m van het bekken (18 km², zie hoofdstuk 2). N.B. deze analyse beschouwt alleen directe verstoring van het baggeren en storten binnen de bagger- en verspreidingsvakken. Verstoring door bijvoorbeeld sedimentatie of vertroebeling of geluid of een andere invloed op de omgeving is in deze oppervlakte bepaling niet meegenomen.

- 3.6.3 Potentiële abiotische impact van de verschillende bagger- en verspreidingstechnieken**
- Voor het bekken Friesche Zeegat zijn er geen recente modelstudies van vertroebelingspluimen door bagger- en verspreidingsactiviteiten beschikbaar. Een meer grofstoffelijke beschouwing o.b.v. expert judgement zonder modellering, zie paragraaf 3.1.3, van de potentiële alzijdige korte termijn impact afstand van de pluimvorming tijdens baggeren en verspreiden in het Rijkswaterstaat areaal wordt getoond in Figuur 3-30 voor de twee meest gebruikte baggermethodes ploegen en TSHD. De ligging van mossel-, oesterbanken, zeegraslocaties en de ecotopenkaart is aangegeven om een eerste indicatie te verkrijgen van de potentiële overlap van de impact afstand van de betreffende baggermethode en ecologische gevoelige gebieden. In bijlage B staan de potentiële alzijdige impact afstanden voor de overige baggermethodes die minder toegepast worden in kombergingsgebied Friesche Zeegat.

Friesche Zeegat: Ploegen

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode ploegen o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstroming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben.



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengodata.wm.r.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 50m buffer: Ploegen bodempluim ~10-100 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch enkele uren)

Mossel en oesterbanken

- < 1 %
- 1 - 4 %
- 5 - 7 %
- 8-10
- > 11

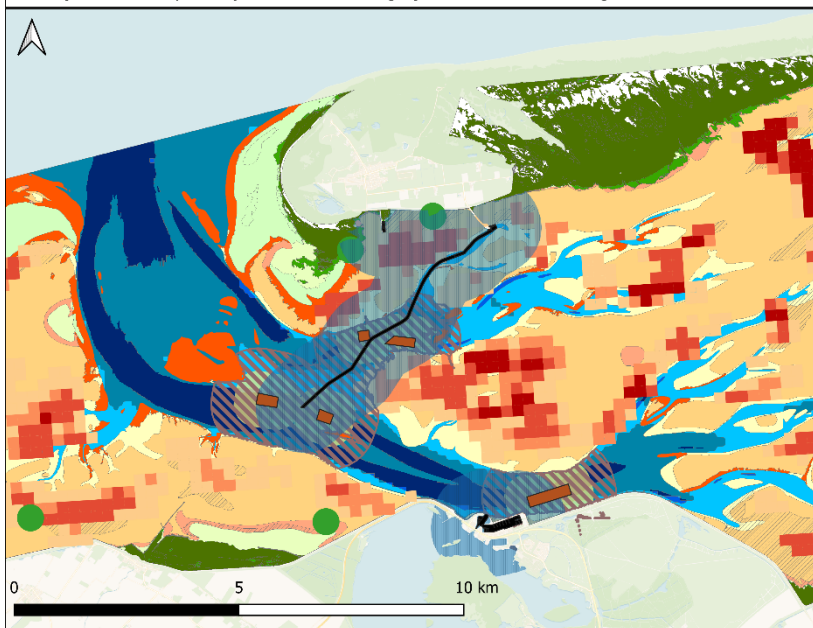
Zeegras locaties

Ecotopenkaart (2017)

- Harde bodem
- Hoogdynamisch diep sublitoraal
- Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
- Middeldynamisch diep sublitoraal
- Middeldynamisch ondiep sublitoraal
- Laagdynamisch diep sublitoraal
- Laagdynamisch ondiep sublitoraal
- Hoogdynamisch litoraal
- Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
- Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Hoogdynamisch supralitoraal
- Laagdynamisch supralitoraal
- Pionierzone
- Kwelder of Schor
- Duin
- Oever

Friesche Zeegat: TSHD

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode TSHD o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstroming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben.



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengodata.wm.r.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 500 m buffer: TSHD sedimentatie bodem
- 1 km buffer: TSHD bodempluim ~500-1000 mg/l tijdens storten (tijdsduur typisch 10 minuten)
- 1 km buffer: TSHD oppervlaktepluim ~10-100 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch een uur)

Mossel en oesterbanken

- < 1 %
- 1 - 4 %
- 5 - 7 %
- 8-10
- > 11

Zeegras locaties

Ecotopenkaart (2017)

- Harde bodem
- Hoogdynamisch diep sublitoraal
- Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
- Middeldynamisch diep sublitoraal
- Middeldynamisch ondiep sublitoraal
- Laagdynamisch diep sublitoraal
- Laagdynamisch ondiep sublitoraal
- Hoogdynamisch litoraal
- Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
- Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Hoogdynamisch supralitoraal
- Laagdynamisch supralitoraal
- Pionierzone
- Kwelder of Schor
- Duin
- Oever

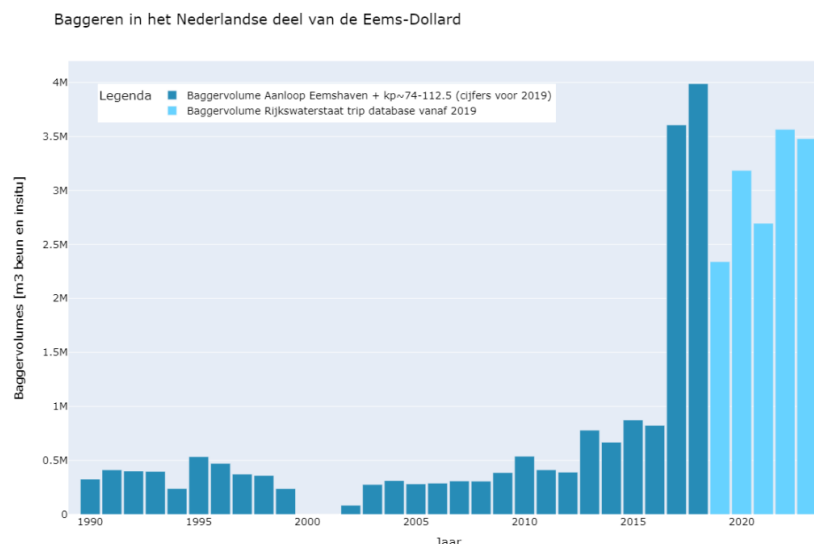
Figuur 3-30 Potentiële alzijdige invloedsafstand van pluimvorming door baggeren en verspreiden door baggermethode ploegen (boven) en TSHD (onder) in het Borddiep in relatie tot de ecotopenkaart en locaties van mossel-, oesterbanken en zeegras.

3.7 Eems-Dollard

3.7.1 Actuele baggercijfers en verwachte trends

Het jaarlijkse baggervolume in het Nederlandse deel van de Eems-Dollard (excl. lokale beheerders) tussen 1990-2023 is weergegeven in Figuur 3-35. Dit betreft alleen de vaargeul Eemshaven-Noordzee die sinds de vaargeulverdieping in 2017/2018 door Rijkswaterstaat wordt onderhouden, voor de verdieping deed Duitsland dit. Het onderhoudsbaggervolume is gestegen van minder dan 1 miljoen m³/j voor de verdieping naar globaal 2.5-4 miljoen m³/j na de verdieping. Tabel 3.11 toont een completer overzicht inclusief het baggervolume door lokale beheerders. De baggervolumes voor de Eemshaven zijn langzaam vanaf eind jaren 70 gegroeid tot het niveau van ongeveer 1.6 miljoen m³/j nu (Deltares RHDHV 2022). De baggervolumes van Delfzijl variëren voor de periode 1975-2020 (sinds de aanpassing van de havenmondning halverwege jaren 1970) tussen 1.5-2.5 miljoen m³/j zonder duidelijke trend maar met jaarlijkse variaties (Deltares RHDHV 2022). Het baggervolume in de haven van Delfzijl in 2023 van 0.9 miljoen m³/j in Tabel 3.11 is behoorlijk lager dan de historische volumes tussen 1975-2020. De reden voor deze afwijking is niet bekend. Sinds medio 2000 wordt het merendeel van het baggervolume van Delfzijl met de Airset gebaggerd. De baggervolumes na 2000 zijn daardoor minder nauwkeurig omdat dit een schatting betreft op basis van de tijdsduur dat de Airset gewerkt heeft en een aanname voor de productie per uur.

Het baggervolume van de Eemshaven ligt sinds 2021 net boven de N2000-beheerplan verwachting van 1.5 miljoen m³/j. Het baggervolume van Noordpolderzijl ligt in 2021-2022 op of net onder de N2000-beheerplan verwachting van 7000 m³/j. Voor de overige havens (Delfzijl, & Paapsand Sud, Termunterzijl, Nieuw Statenzijl) zijn er geen N2000-beheerplan verwachtingen als voorwaarde voor vergunningsvrij baggeren en verspreiden. Door de vaarwegverruiming van de vaargeul Eemshaven-Noordzee zijn de voorspellingen voor deze geul in het beheerplan niet meer relevant omdat de effecten opnieuw zijn beoordeeld in een tracé-besluit, wat nu het leidend document is. In het tracé-besluit is uitgegaan van een verwachting voor het onderhoud van de Eemsgeul van 1.5 miljoen m³/j. De baggervolumes liggen echter sinds de verdieping op 2.5-3.5 miljoen m³/j. Dit is ruim boven de verwachting in het tracé-besluit. Daarbij is op te merken dat er in het tracé-besluit, anders dan in het beheerplan, geen maximale hoeveelheid is aangegeven, maar de diepte van de vaargeul maatgevend is. Er zal binnenkort een evaluatie van het tracé-besluit plaatsvinden.



Figuur 3-31 Jaarlijks baggervolume 1990-2023 Nederlandse deel Eems-Dollard (vaarweg Eemshaven-Noordzee), excl. lokale beheerders, excl. verdieping vaargeul Eemshaven-Noordzee. Sinds de verdieping in 2017/2018 onderhoudt Nederland deze vaarweg en eerder deed Duitsland dit. (bron: Rijkswaterstaat tripdatabase en Deltares RHDHV (2022) voor data van voor 2019).

Tabel 3.11 Jaarlijks baggervolumes 2019-2023 Nederlandse deel Eems-Dollard per baggerlocatie, incl. lokale beheerders, in m³ (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023). Tussen haakjes het bij benadering bepaalde in-situ volume dat gerapporteerd wordt aan de Eemsc commissie.

Locatie	2019	2020	2021	2022	2023	Verwachting N2000-beheerplan
Rijkswaterstaat						
Westereems (A1-C2)	476.846 (476.379)	460.871 (434.915)	313.880 (289.629)	590.003 (472.051)	613.732 (490.986)	
Randzelgat (C3-D2)	82.708 (82.627)	410.459 (387.342)	452.144 (417.211)	709.367 (567.552)	868.744 (694.995)	
Doekegat (E1-F)	1.097.138 (1.096.062)	1.824.611 (1.721.849)	1.529.650 (1.411.466)	1.918.898 (1.535.276)	1.685.213 (1.348.170)	
Toegangseul Eemshaven (H)	681.835 (681.167)	487.370 (459.921)	398.217 (367.450)	345.482 (276.414)	310.455 (248.364)	
<i>Totaal Rijkswaterstaat</i>	<i>2.338.527</i> <i>(2.336.235)</i>	<i>3.183.311</i> <i>(3.004.027)</i>	<i>2.693.891</i> <i>(2.485.756)</i>	<i>3.563.750</i> <i>(2.851.293)</i>	<i>3.478.144</i> <i>(2.782.515)</i>	-
Lokale beheerders						
Eemshavens			1.635.218	1.611.597	1.561.002	1.500.000
Noordpolderzijl			7.000	5.000		7.000
Termunterzijl	6.708	6.637	4.808	6.217	7.354	n.v.t.
Nieuwe Stanzijl						n.v.t.
Haven Delfzijl & Paapsand Süd					875.200	n.v.t.
<i>Totaal Lokale beheerders</i>	<i>6.708</i>	<i>6.637</i>	<i>1.647.026</i>	<i>1.622.814</i>	<i>2.443.556</i>	<i>1.507.000</i>
<i>Totaal Eems-Dollard</i>	<i>2.345.235</i>	<i>3.189.948</i>	<i>4.340.917</i>	<i>5.186.564</i>	<i>5.921.700</i>	-

De jaarlijkse baggervolumes van het Rijkswaterstaat areaal in de Eems-Dollard liggen sinds de vaargeulverdieping op 2.5-3.5 miljoen m³/j. De netto sedimentimport in de Eems-Dollard, de bodemdaling en zeespiegelstijging, zoals beschreven in Paragraaf 2.6.1, zijn processen die al jaren gaande zijn en waarvan het effect al verdisconteerd zit in de huidige baggervolumes. Naar verwachting zullen deze processen tot 2050 slechts beperkt veranderen zodat voor een prognose richting 2035 en 2050 rekening gehouden dient te worden met dit hoge niveau van 2.5-4 miljoen m³/j. De grote bandbreedte geeft de onzekerheid in de prognose en de grote jaarlijkse variatie in baggervolume weer. Een belangrijke aanname in deze prognose is dat de diepte en breedte van de vaargeul niet verder verruimd of verdiept zal worden. Verlaging van de baggervolumes door optimalisatie in bagger- en verspreidingsmethode en -locatie zou onderzocht kunnen worden, maar het is niet realistisch te verwachten dat daarmee weer onder de verwachting uit het tracé-besluit van 1.5 miljoen m³/j uitgekomen kan worden.

De sedimentatie in havens, en daarmee het baggervolume, hangt samen met de concentratie zwevend stof in het water. Er is tussen 1990-2020 geen langjarige trend in de concentratie zwevend stof in de het zeegat en middendeel van het Eemsestuarium (Huibertgat en Bocht van Watum) vastgesteld (Deltares 2021g). De invloed van zeespiegelstijging op de baggervolumes in de havens zal tot 2050 klein zijn. De geleidelijke groei in baggervolumes van de Eemshaven vanaf eind jaren 1970 tot nu zijn waarschijnlijk gekoppeld aan de geleidelijke groei in gebruikt oppervlak in het havenbassin over de jaren (Deltares RHDHV 2022). Sinds 2015 zijn de baggervolumes voor de Eemshaven nog wat extra gegroeid door de ingebruikname van de RWE centrale. Het koelwater van deze centrale zorgt ervoor dat er extra slibrijk water naar binnen getransporteerd wordt en de aanslibbing in de haven toeneemt waardoor het baggerbezwaar toeneemt. Onder de aanname dat de Eemshaven niet verder wordt uitgebreid of verdiept en dat er niet nog meer koelwater geloosd gaat worden is de verwachting dat de baggervolumes voor de Eemshaven rondom het huidige niveau zullen blijven richting 2035 en 2050, namelijk op globaal 1.3-1.9 miljoen m³/j (incl. bandbreedte van ongeveer +/-20% voor onzekerheden). Deze prognose ligt in jaren met een lage baggerinspanning net onder de huidige N2000-beheerplan verwachting van 1.5 miljoen m³/j, maar in de overige jaren ligt het hierboven.

De baggervolumes van Delfzijl liggen tussen 1978-2020 globaal op een niveau van 1.5-2.5 miljoen m³/j zonder duidelijke trend maar met jaarlijkse variaties. Het is niet duidelijk waardoor het lagere volume van 0.9 m³/j in 2023 is veroorzaakt. Voor de prognose van het baggervolume in Delfzijl richting 2035-2050 wordt uitgegaan van het niveau wat al decennia gebaggerd wordt van 1.5-2.5 miljoen m³/j, onder aanname van gelijkblijvend haven geometrie, diepte en koelwaterlozing.

3.7.2 Uitwerking baggerinspanning naar ruimte, tijd, bagger- en verspreidingstechniek en sedimentsamenstelling

Sedimentsamenstelling Eems-Dollard

Van het gebaggerde sediment in het Rijkswaterstaat areaal wordt niet bijgehouden of dit bestaat uit slib of zand. Naar verwachting bestaat dit grotendeels uit zand (Deltares en RHDHV 2022). Het baggervolume uit de Eemshaven en haven van Delfzijl bestaat voornamelijk uit slib, waarbij het sediment uit de Eemshaven iets meer zand bevat (Waddenacademie 2023).

Bagger- en verspreidingstechniek Eems-Dollard

Het Rijkswaterstaat areaal wordt gebaggerd met een sleephopperzuiger waarna het sediment in een verspreidingsvak wordt verspreid. De Eemshaven wordt ook met een sleephopperzuiger onderhouden met verspreiding in een nabijgelegen verspreidingsvak (Waddenacademie 2023). Het merendeel van het sediment van de haven van Delfzijl wordt tijdens afgaand tij met de Airset opgewoeld vanuit de slibvang in de monding waarna het sediment met de ebstroom meegevoerd wordt (Waddenacademie 2023, Deltares en RHDHV 2022). Sediment dat dieper in de haven van Delfzijl bezinkt wordt met een sleephopperzuiger gebaggerd en tegenwoordig voornamelijk in de monding gestort waarna de Airset het opwoelt en met de ebstroom laat meevoeren, waarbij de verspreidingsvakken nauwelijks nog worden gebruikt (Waddenacademie 2023). De jaarlijkse verspreidingsvolumes in het Nederlandse deel van de Eems-Dollard staan in Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Jaarlijks verspreidingsvolumes 2019-2023 in het Nederlandse deel van de Eems-Dollard per verspreidingslocatie, incl. lokale beheerders, in m³ (bron: jaarrapportage Rijkswaterstaat 2023).

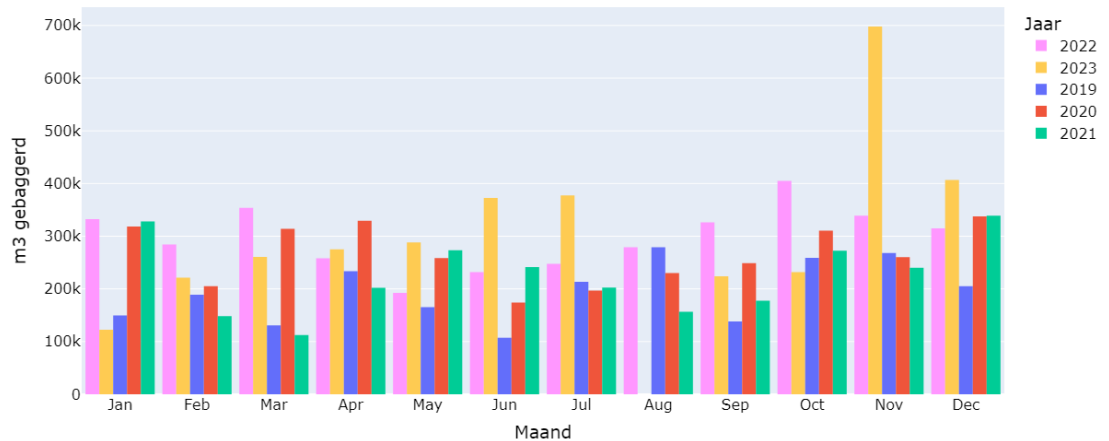
Verspreidingslocatie	2019	2020	2021	2022	2023
Verspreidingslocatie P0	-	847.629	705.710	804.251	689.502
Verspreidingslocatie P1	1.555.964	2.160.070	1.788.218	2.198.019	2.295.681
Verspreidingslocatie P3	285.905	175.612	199.963	398.403	463.637
Verspreidingslocatie P5	496.658	-	-	-	-
Gemini kabel	-	-	-	163.077	29.324
Totaal Rijkswaterstaat	2.338.527	3.183.311	2.693.891	3.563.750	3.478.144
Lokale beheerders					
Eemshavens			1.635.218	1.611.597	1.561.002
Noordpolderzijl			7.000	5.000	
Termunterzijl	6.708	6.637	4.808	6.217	7.354
Nieuwe Statenzijl					
Haven Delfzijl & Paapsand Süd					875.200
Totaal Lokale beheerders	6.708	6.637	1.647.026	1.622.814	2.443.556
Totaal Eems-Dollard (NL deel)	2.345.235	3.189.948	4.340.917	5.186.564	5.921.700

Variatie baggerinspanning Eems-Dollard over het jaar

Er wordt door Rijkswaterstaat in de Eems-Dollard jaarrond gebaggerd, zie Figuur 3-32. Er is wel wat variatie van maand tot maand, maar zonder duidelijke trend of seizoensvariatie. In de Eemshaven werd tussen 2017-2020 alleen in de maanden oktober, november en februari gebaggerd (Deltares en RHDHV 2022), dit is in lijn met meer recente informatie uit 2023 waar genoemd wordt dat de Eemshaven 2 keer per jaar in najaar en winter gebaggerd wordt en er in de zomer geen slib verspreid mag worden (Waddenacademie 2023). Het baggerwerk van de haven van Delfzijl wordt sinds 2000 jaarrond tijdens eb opgewoeld door de Airset vanuit een slibvang in de monding waarna het slib door de ebstroom wordt meegenomen (Deltares

en RHDHV 2022). Tot 2023 is de Airset 6 dagen per week actief geweest, echter in 2023 is geëxperimenteerd om de Airset tijdelijk enkele weken in mei uit te schakelen en zo de verspreiding in deze periode te beperken, waarna de verwachting is dat hierna het geconsolideerde slib alsnog met de Airset opgewoeld kan worden (Waddenacademie 2023). Hiernaast wordt slib dat dieper in de haven bezinkt gebaggerd door een TSHD. Dit sediment wordt tegenwoordig voornamelijk in de monding gestort waarna de Airset het opwoelt en met de ebstroom laat meevoeren, waarbij de verspreidingsvakken nauwelijks nog worden gebruikt (Waddenacademie 2023). Een bijkomend voordeel hiervan naast dat het goedkoper is, is dat verspreiden via de verspreidingsvakken seizoensgebonden was en verspreiding via de Airset niet (Waddenacademie 2023).

Maandelijks baggeren in deelgebied: Eems-Dollard

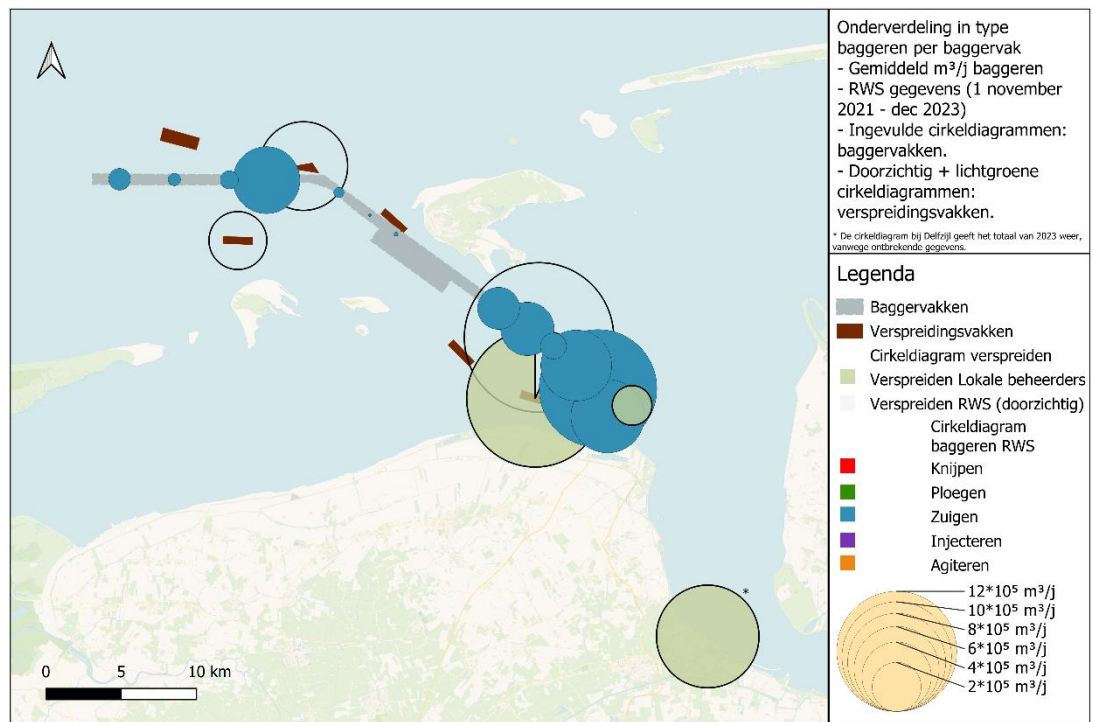


Figuur 3-32 Maandelijkse variatie baggervolume van Rijkswaterstaat in bekken Eems-Dollard, excl. lokale beheerders, voor de jaren 2016-2023.

Ruimtelijke verdeling baggerinspanning Eems-Dollard

De ruimtelijke verdeling van het baggeren en verspreiden over de verschillende baggervakken en verspreidingsvakken is weergegeven in Figuur 3-33. Het merendeel van het Rijkswaterstaat baggerwerk in de vaarweg Eemshaven-Noordzee vindt plaats in de baggervakken de eerste 10km vanaf de Eemshaven en dit wordt in nabijgelegen verspreidingsvakken verspreid. De verspreidingsvolumes van het onderhoudsbaggerwerk in de Eems-Dollard die onder verantwoordelijkheid van Duitsland valt zijn niet opgenomen in dit figuur, deze worden voornamelijk verspreid via Klapstelle 5 (gemiddeld 1.6 miljoen m³/j 2019-2020) en Klapstelle 7 (gemiddeld 3.5 miljoen m³/j 2019-2020) die enkele kilometers verder landinwaarts liggen t.o.v. de Eemshaven, zie Figuur 3-34.

Eems-Dollard



Figuur 3-33 Ruimtelijke verdeling Nederlandse bagger en verspreidingsvolumes Eems-Dollard.



Figuur 3-34 Ruimtelijke verdeling Nederlandse en Duitse verspreidingsvolumes en locaties Eems-Dollard gemiddelde 2019-2020 (overgenomen uit Deltares RHDHV 2022).

Verstoord oppervlak baggeren Eems-Dollard

In onderstaande tabel wordt een globale, grofstoffelijke orde-grootte inschatting van het aantal ha bodemverstoring door frequent baggeren in het Nederlandse deel van de Eems-Dollard gemaakt (voor uitleg van de aanpak zie paragraaf 3.4.2 waarbij in de Eems-Dollard het oppervlak frequent baggeren bepaald is door de oppervlaktes van de baggervakken waar frequent gebaggerd wordt en de verspreidingsvakken die frequent gebruikt worden op te tellen).

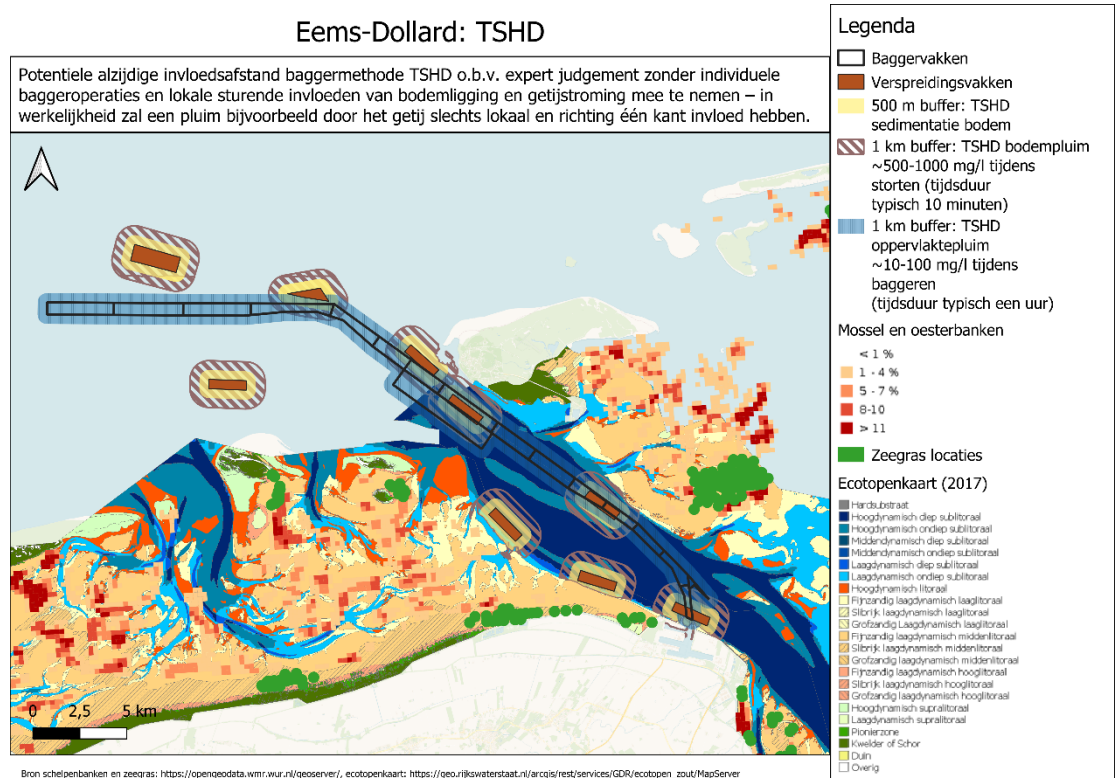
Locatie	Oppervlak	Oppervlak binnen N2000	Oppervlak laag-dynamisch
Baggervakken Eemshaven-Noordzee	1701 ha (excl. C1-C4 waar weinig gebaggerd wordt, zie Figuur 3-33)	628 ha	0 ha
Verspreidingsvakken P0, P1, P3 (tussen 2020-2023 door Rijkswaterstaat gebruikte verspreidingsvakken, zie jaarrapportage Rijkswaterstaat (2023))	270 ha	101 ha	0 ha
Verspreidingsvakken P5, P5a, P6 (verspreidingsvakken Eemshaven)	312 ha (alleen in gebruik begin najaar en einde winter)	312 ha	56 ha
Totaal	2283 ha	1041 ha	56 ha
Totaal excl. P5, P5a, P6 die niet elk kwartaal of vaker gebruikt worden	1971 ha	729 ha	0 ha

Het totale oppervlak waar frequent, elk kwartaal of vaker, gebaggerd en verspreid wordt in het Nederlandse deel van de Eems-Dollard komt met deze grofstoffelijke analyse globaal op ongeveer 1971 ha. Dit is 4% van het totale oppervlak van het bekken (482 km² tot één zeemijl, bron: <https://www.ems-eems.de> bezocht 21-5-2024) en het totale oppervlak van 729ha binnen N2000 grenzen is ongeveer 7% van het totale geuloppervlakte z < -5m van het bekken binnen N2000 grenzen (111 km², zie hoofdstuk 2). N.B. het oppervlak van het Duitse onderhoudsbaggerwerk en verspreidingslocaties zijn niet meegenomen in deze analyse en deze analyse beschouwt alleen directe verstoring van het baggeren en storten binnen de bagger- en verspreidingsvakken. De verspreidingsvakken van de haven van Delfzijl zijn ook niet meegeteld, echter worden deze nauwelijks nog gebruikt (Waddenacademie 2023). Verstoring door bijvoorbeeld sedimentatie of vertroebeling of geluid of een andere invloed op de omgeving is in deze oppervlakte bepaling niet meegenomen.

3.7.3 Potentiële abiotische impact van de verschillende bagger- en verspreidingstechnieken

In de Eems-Dollard zijn de aanpassingen aan de vaargeul zo groot dat deze invloed hebben op de getijdoordringing in het getijdebekken en via deze invloed op de hydrodynamica de vertroebeling in de waterkolom achterin het bekken significant verhoogd heeft. Dit mechanisme wordt bijvoorbeeld beschreven in Deltares en RHDHV (2022) In deze sectie wordt de directe invloed van baggeren en verspreiden op de vertroebeling beschouwd door het opbaggeren en weer in de waterkolom brengen van baggerspecie. Uit modelstudies van de invloed van de grote volumes baggeren en verspreiden van slib uit de havens in de Eems-Dollard blijkt dat dit over langere tijdschalen een herverdeling van sediment geven. De modelstudies laten een toename van jaargemiddeld 0-100 mg/l SSC zien in een zone van ongeveer 10 km rondom de verspreidingslocaties en een afname van jaargemiddeld 0-100 mg/l verder weg van de verspreidingslocaties (Van Maren et al. 2015). Een dergelijke modeloefening voor de invloed van de grote volumes die gebaggerd en verspreid worden uit de vaarwegen van de Eems-Dollard is niet uitgevoerd, maar ook dit zal over langere tijdschalen bezien een herverdeling van sediment geven met een toename van SSC in de waterkolom nabij de verspreidingslocaties en een afname nabij de vaarwegen waar het sediment wordt ingevangen en gebaggerd.

Een meer grofstoffelijke beschouwing o.b.v. expert judgement zonder modellering, zie paragraaf 3.1.3, van de potentiële alzijdige korte termijn impact afstand van de pluimvorming tijdens baggeren en verspreiden in het Rijkswaterstaat areaal van de Eems-Dollard wordt getoond in Figuur 3-35 voor de baggermethode TSHD. De ligging van mossel-, oesterbanken, zeegraslocaties en de ecotopen is aangegeven om een eerste indicatie te verkrijgen van de potentiële overlap van de impact afstand van de betreffende baggermethode en ecologische gevoelige gebieden. In bijlage B staan de potentiële alzijdige impact afstanden voor de overige baggermethodes die minder toegepast worden in kombergingsgebied Eems-Dollard.



Figuur 3-35 Potentiële alzijdige invloedsafstand van pluimvorming door baggeren en verspreiden door baggermethode TSHD in het Eems-Dollard in relatie tot de ecotopenkaart en locaties van mossel-, oesterbanken en zeegras.

4 Synthese

4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk combineert de kennis van de morfologische ontwikkelingen (Hoofdstuk 2) en de effecten van baggeren en verspreiden (Hoofdstuk 3). Uit de combinatie hiervan kan worden afgeleid hoe groot de (potentiële) abiotische effecten zijn van baggeren en verspreiden t.o.v. de natuurlijke abiotische dynamiek op verschillende tijd- en ruimteschalen (zie Figuur 4-1 voor een overzicht).

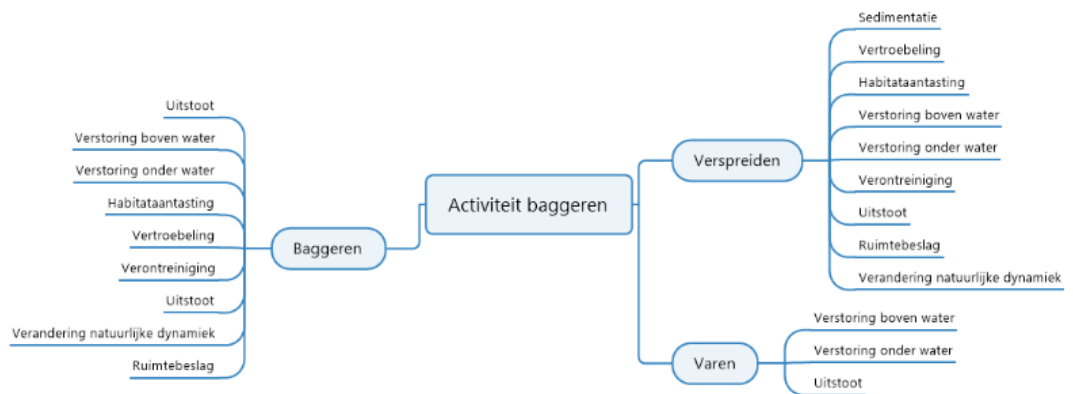
Het laatste deel van dit hoofdstuk, sectie 4.8, geeft op het niveau van de gehele Waddenzee aanbevelingen voor het beheerplan met betrekking tot baggerwerkzaamheden. Dit komt tegemoet aan het tweede doel van dit rapport.

De synthese per kombergingsgebied (secties 4.3 tot en met 4.7) vraagt op twee schalen beoordeling van abiotische effecten:

1. **Lokaal en op korte termijn:** Wat is het effect op bodemberoering, vertroebeling en sedimentatie op lokaal niveau en op korte tijdschaal (rondom de bagger- en verspreidingslocaties tijdens en kort na de baggeractiviteiten)? Dit gaat om de effecten van een kortdurende (uren tot dagen) en lokale (binnen enkele km) relatief sterke verstoring van de natuurlijke vertroebeling en sedimentatie.
2. **Op kombergingsniveau en op lange termijn:** Wat is het effect op kombergingsniveau en lange tijdschaal (cumulatieve effecten van alle herhaaldelijke baggeractiviteiten)? Hierbij gaat het om de effecten van een langdurige (weken tot permanent) en grootschalige, relatief zwakke verstoring van de natuurlijke vertroebeling, sedimentatie en bodemberoering. Voor deze stap worden de cumulatieve effecten per kombergingsgebied afgezet tegen de natuurlijke ontwikkeling van de hypsometrie, geulmigratie, troebelheid en sedimentbalans. Is er sprake van een significante beïnvloeding van het natuurlijke systeem op kombergingsniveau door baggeren en verspreiden?

Deze beoordeling op meerdere schaalniveaus vormt de basis voor de ecologische effectbeoordeling. Dit rapport gebruikt, op basis van de ervaring met eerdere ecologische beoordelingen, de volgende abiotische parameters als maatstaf voor habitataantasting:

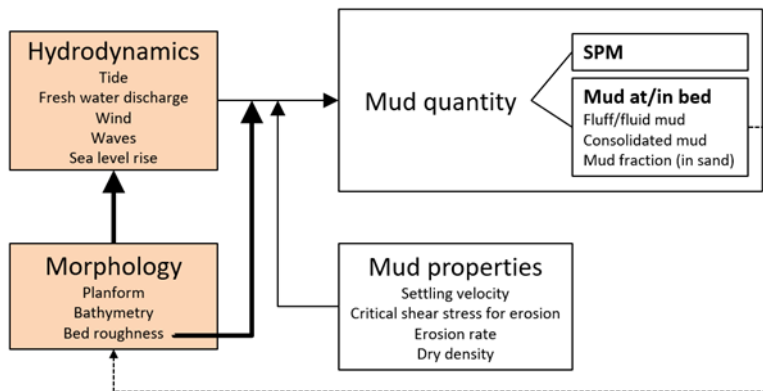
- **Effecten op de vertroebeling in de waterkolom in de tijd en ruimte:** Belangrijk in verband met het lichtklimaat, de primaire productie en het doorzicht.
- **Effecten op de sedimentatiesnelheid in de tijd en ruimte:** Relevant in verband met bedekking van de bodem.
- **Invloed op de morfologische ontwikkeling van de (vaar)geulen.**
- **Lokale verstoring in bagger- en verspreidingsvakken:** Dit betreft de aanwezigheid van het baggerschip, habitataantasting en de lokale bodemberoering.



Figuur 4-1 Schematische weergave van de effecten van baggeren op de omgeving die kunnen doorwerken op ecologie.

De beoordeling van de invloed van menselijke ingrepen, zoals baggeronderhoud, op de natuurlijke dynamiek is gebaseerd op het systeembegrip. Hiervoor zijn, onder anderen voor de Waddenzee en Westerschelde, conceptuele modellen ontwikkeld (Deltares 2021 en 2023). Figuur 4-2 geeft een geschematiseerde weergave van de interactie tussen hydrodynamica, morfologie en slibtransport. De invloed van baggeren kan zich op verschillende manieren en tijdschalen manifesteren.

Op korte en middellange termijn (uren tot maanden) kan de invloed zich uiten in een verandering van de hoeveelheid slib die in het gebied aanwezig is en de toestand waarin het zich bevindt, zoals de mate van consolidatie. Op lange termijn (jaren) kan baggeren leiden tot aanpassingen in de morfologie en hydrodynamica. Deze context speelt een belangrijke rol in deze synthese.



Figuur 4-2 Interactie tussen morfologie, hydrodynamica en slibtransport.

De volgende paragraaf beschrijft de synthesesmethodiek concreter. Deze methodiek is uniform voor alle kombergingsgebieden. De resultaten worden in de daaropvolgende paragrafen besproken, achtereenvolgens voor de kombergingsgebieden van het Marsdiep, Vlie, Borndiep, Friesche Zeegat en de Eems-Dollard. Daarna volgen een overkoepelende synthese voor de hele Waddenzee en aanbevelingen voor optimalisatie en kaderstellende voorwaarden.

4.2 Methodiek

Als eerste stap worden de analyses uit hoofdstukken 2 en 3 gecombineerd en conclusies getrokken over de omvang en effecten van de baggerwerkzaamheden ten opzichte van de natuurlijke dynamiek. Deze conclusies worden mede gebaseerd op de volgende indicatoren:

- Het baggervolume zand en slib per kombergingsgebied ten opzichte van de sedimentbalans.
- Het baggerareaal ten opzichte van het geulareaal, resulterend in een percentage verstoord oppervlak (habitataantasting).
- Het aantal onderhoudstrips, een maat voor de frequentie van verstoring en daarmee ecologische hersteltijd.
- De mate van vertroebeling (concentratie, volume en duur) door baggeren en verspreiden ten opzichte van de natuurlijke vertroebeling (relevant voor onder andere primaire productie en zeegras). Dit wordt gedaan voor de belangrijkste locaties op korte termijn en cumulatief per kombergingsgebied op lange termijn.
- De afstanden tussen bagger- en verspreidingsvakken en de transportpaden daartussen ten opzichte van gevoelige habitats in verband met verstoring (boven en onder water) en uitstoot.
- De sedimentatiesnelheid in en rondom de verspreidingsvakken en de mate van retourstroming naar de baggervakken.
- De resterende ruimte in de verspreidingsvakken.
- Invloed van het handhaven van de vaargeuldiepte ten opzichte van de natuurlijke morfologische ontwikkeling.

Per kombergingsgebieden wordt een deel van deze indicatoren besproken, afhankelijk van lokale relevantie en beschikbaarheid.

Naast de kortetermijneffecten van verstoring, vertroebeling en afdekking door individuele bagger- en verspreidingscycli is de vraag wat de cumulatieve effecten zijn van deze bagger- en verspreidingsactiviteiten in het kombergingsgebied. Deze cumulatieve effecten worden beschouwd in de context van de natuurlijke ontwikkeling van troebelheid, sedimenttransport en morfologie. Hierbij is belangrijk of, en in welke mate, baggeren en verspreiden een versterkend of verzwakkend effect heeft op de natuurlijke ontwikkeling.

Autonome trends kunnen op de korte en lange termijn verschillend zijn. Zo is op korte termijn (tot 2050) de invloed van verlanding en verondieping van geulen dominant, wat resulteert in meer baggeronderhoud. Op de lange termijn (>2050 – 2100) zal het effect van zeespiegelstijging en mogelijk verdrinking en verdieping kunnen gaan overheersen, wat resulteert in minder baggeronderhoud. De toekomstige morfologische ontwikkeling in samenhang met scenario's voor zeespiegelstijging is complex en onzeker (zie o.a. Huijsmans et al., 2022) en daardoor is de ontwikkeling van het vaargeulonderhoud op de lange termijn ook onzeker.

4.3 Marsdiep

4.3.1 Lokale effecten op korte tijdschaal

In het Marsdiep wordt in de geulen ca. 450.000 m³ per jaar gebaggerd en in de havens ca. 750.000 m³. De baggerspecie in de geulen bestaat uit zowel zand als slib waarbij het aandeel slib toeneemt (Deltares 2020b, 2021d). In de havens bestaat de baggerspecie voornamelijk uit slib. Voor meer details zie hoofdstuk 3. Bij een beunvolume van 730 m³ (dit is het gemiddelde trip volume van een sleeophopperzuiger in de Waddenzee uitgezonderd de Eems-Dollard in de periode 2021-2023) gaat dit om ca. 1600 trips per jaar voor havens en geulen bij elkaar opgeteld. Het beunvolume is afhankelijk van het ingezette materieel. Grotere baggerschepen zijn moeilijk inzetbaar vanwege de vereiste diepgang. Mogelijk wordt in de haven van Den Helder groter materieel ingezet en is het aantal trips dan lager. Het merendeel van het onderhoudsvolume wordt gezogen, maar de laatste jaren neemt het aandeel agiteren, injecteren en knippen toe waardoor minder sediment naar de verspreidingslocaties hoeft te worden gevaren en het aantal trips afneemt.

In de periode 1990 – 2005 is het onderhoudsvolume van de geulen trendmatig toegenomen van ca. 200.000 tot 600.000 m³ per jaar. Daarna is het gestabiliseerd op ca. 450.000 m³ (met jaarlijkse variaties van ± 200.000 m³). Een toename in de Boontjes wordt grotendeels gecompenseerd door een afname in het Visjagersgatje. Het baggervolume van de havens is hoog maar al jaren vrij stabiel.

Het verstoorde oppervlak door baggeren en verspreiden bedraagt ongeveer 153 ha (inclusief havens). Dit is 0,2% van het totale oppervlak van het bekken Marsdiep en 1% van het totale geuloppervlak. Het areaal van de baggervakken in de geulen is 51 ha. Uit de geulen wordt jaarlijks gemiddeld een laag van $450.000 \text{ m}^3 / 510.000 \text{ m}^2 = 0,9 \text{ m}$ verwijderd. Als per baggertrack ca. 30 cm specie wordt verwijderd, betekent dit dat onderhoud ca. 3× per jaar moet plaatsvinden.

Daarnaast zorgt verspreiden ook voor een belangrijke lokale bodemverstoring. Verspreiden is geconcentreerd in enkele locaties, namelijk de aangewezen verspreidingslocaties. Dit areaal bedraagt 76 ha. Sommige verspreidingslocaties worden niet of slechts gedeeltelijk gebruikt, waardoor het direct verstoorte areaal in de praktijk kleiner is dan 76 ha. Verspreiden heeft ook een effect op de troebelheid en sedimentatiesnelheid buiten de grenzen van verspreidingslocatie, zie hieronder.

4.3.2 Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden

De concentratieverhoging als gevolg van verspreiden bij Den Helder is niet bekend, maar naar verwachting gering, vanwege de sterke getijstrooming, het grote getijvolume en de grote waterdiepte in het Marsdiep. Achterin het bekken, in geulen met kleine getijvolumes, leidt specieverspreiding tot meer concentratieverhoging. Wel is hier de achtergrondconcentratie ook hoger, zodat de relatieve toename minder sterk is. Voor de Boontjes is deze concentratieverhoging gekwantificeerd met modelberekeningen, en bedraagt lokaal ongeveer 50 mg/l en in een wat groter gebied circa 10 mg/l (zie Figuur 3-7). Dit staat tegenover een achtergrondconcentratie die varieert binnen een bandbreedte van circa 50 tot 200 mg/l (Deltares 2020d). De verhoging treedt op tijdens en tot ca. 1 week na de baggeractiviteiten. Tegenover een concentratieverhoging door baggeren en verspreiden (waarbij voor slibrijke specie veruit de meeste vertroebeling optreedt bij verspreiden) staat een concentratieverlaging door sedimentatie in de geul en omringende wadplaten, die vooral langs Friese kust en bij Den Oever sterk groeien, waardoor veel slib aan de waterkolom wordt onttrokken. De optelsom van beide effecten is een jaargemiddelde concentratieverlaging in de vaargeul en concentratieverhoging rondom de verspreidingslocaties. Gemiddeld over het hele gebied resulteert dit in een kleine concentratieverhoging, tenzij er een sterke retourstroming optreedt

tussen het verspreidings- en baggervak. In dat geval kan de concentratie lokaal sterk toenemen. De modelberekeningen houden nog geen rekening met het vertroebelende effect van scheepvaart en baggerwerkzaamheden in de vaargeul, die de concentratieverlaging in de vaargeul door sedimentatie beperkt. Validatie van deze modelresultaten met metingen is gewenst.

Voor afstanden tussen bagger- en verspreidingslocatie in het Marsdiep en gevoelige habitats zie Figuur 3-8.

Effecten handhaving geuldiepte en -ligging

De natuurlijke morfologische ontwikkeling heeft een grote invloed op het baggervolume, vooral door de geleidelijke verlanding achterin het kombergingsgebied. De vraag is of dit wederzijds is, oftewel: in welke mate wordt de natuurlijke morfologische ontwikkeling beïnvloed door baggerwerkzaamheden?

Voorin het bekken is die beïnvloeding niet aannemelijk omdat de geulen hier diep zijn en geen onderhoud vereisen. Achterin het bekken is dit anders. Daar kan lokaal de migratie van een (onderhouden) hoofdgeul en de ontwikkeling van een nevengeul worden beïnvloed (bijvoorbeeld door specieverspreiding of doordat de hoofdgeul meer stroming trekt ten koste van de nevengeul). Dit is onderzocht rondom de Boontjes en de recente Knelpuntenanalyse Harlingen-Noordzee, zie Deltares (2021d) en Deltares (2024c). Het Kimstergat, een belangrijke verspreidingslocatie nabij Harlingen, vult de laatste jaren steeds meer op. Dit geeft zorgen over de toekomstige geschiktheid van het Kimstergat als verspreidingslocatie.

Invloed op sedimentbalans en morfologische ontwikkeling

De baggervolumes zijn van dezelfde orde van grootte als de natuurlijke netto sedimentfluxen. De netto natuurlijke sedimentimport naar het Marsdiepbekken bedraagt gemiddeld 1,2 miljoen m³/j over de periode 1991 – 2015 (Deltares 2019), waarvan ongeveer 75% zand en 25% slib is. Onttrekking van baggerspecie zou de grootschalige sedimentbalans sterk beïnvloeden, maar de baggerspecie wordt teruggestort.

De potentiële invloed van het baggeren en verspreiden neemt toe met de tijd, omdat bij het naderen van een nieuw evenwicht de natuurlijke sedimentimport trendmatig afneemt terwijl het baggervolume juist trendmatig toeneemt. De verlandende trends met daarmee samenhangende afname van debieten in vooral de kleinere geulen achterin de bekkens kunnen dus leiden tot een relatief toenemende invloed van het baggerwerk alhier. Dit benadrukt de groeiende noodzaak voor een effectieve sedimentbeheerstrategie, inclusief een zorgvuldige beoordeling van de locatiekeuze voor verspreidingsvakken.

4.3.3 Knelpunten

Er is één knelpunt nabij de grens met het Vlie, in het gebied rond de Boontjes en de haven van Harlingen, veroorzaakt door een combinatie van de volgende factoren:

- Netto sedimentatie in geulen, havenbekkens en op platen;
- Groot maar stabiel baggervolume haven (dat lokaal wordt verspreid);
- Toenemend baggervolume geulen;
- Afnemende komberging;
- Afnemende getijstroming.

Deze factoren leiden tot intensief baggeronderhoud, wat invloed heeft op vertroebeling, bedekking en verstoring. Er lijkt een wisselwerking te zijn tussen de sedimentatie in de haven en de vaargeul, veroorzaakt door retourstroming vanaf de verspreidingslocaties. Op basis van transportberekeningen voor de Boontjes lijkt de retourstroming klein te zijn (<5%), maar dit vraagt om verdere analyse en validatie (Deltares, 2022c). Het beheerplan moet aandacht besteden aan de ecologische effecten van deze interacties.

4.4 Vlie

4.4.1 Lokale effecten op korte tijdschaal

In het Vlie wordt in de geulen ca. 800.000 m³ per jaar gebaggerd en in de havens (met name de haven van Harlingen) ca. 1.000.000 m³ per jaar. De samenstelling van deze specie is niet precies bekend, maar in de geulen is dit voornamelijk zand en in de havens voornamelijk slib. Voor meer details zie Hoofdstuk 3 en Figuur 3-9. Het overgrote deel van het onderhoudsvolume wordt gezogen, maar sinds 2018 wordt jaarlijks ook ca. 100.000 m³ verwijderd door agitatiebaggeren. Deze specie wordt niet naar de verspreidingslocaties gevaren. Dit betekent dat bij een gemiddeld beunvolume van 730 m³ de resterende 1.700.000 m³/jr. leidt tot ca. 2360 trips per jaar.

Tussen 1990 en 2010 is het onderhoudsvolume van de geulen door verschillende vaarwegverdiepingen sprongsgewijs toegenomen van ongeveer 0 tot 800.000 m³ per jaar. Sindsdien is het volume stabiel rond de 800.000 m³, met jaarlijkse variaties van ±200.000 m³. Het baggervolume in de havens is al jaren vrij stabiel.

Het verstoorde oppervlak door baggeren en verspreiden bedraagt ongeveer 193 ha, wat 0.3% is van het totale oppervlak van het bekken en 2% van het geuloppervlak. Uitgaand van de geulen waarin frequent wordt gebaggerd (91 ha), wordt jaarlijks gemiddeld een laag van $800.000 \text{ m}^3 / 910.000 \text{ m}^2 = 0.9 \text{ m}$ verwijderd uit de vaargeulen. Als per baggertrack ca. 30 cm specie wordt verwijderd, betekent dit dat onderhoud ca. 3× per jaar moet plaatsvinden.

Daarnaast veroorzaakt het verspreiden van baggerspecie ook een aanzienlijke lokale verstoring. Verspreiden vindt plaats op de aangewezen verspreidingslocaties, met een totaal areaal van 102 ha (ca. 0.15% van het kombergingsgebied).

4.4.2 Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden

Voor Harlingen zijn de effecten van het verplaatsen van de verspreidingslocatie van onderhoudsspecie uit de haven gekwantificeerd met modelberekeningen in het kader van het project 'Slibmotor' (Deltares 2019c). De verspreiding van slib vanuit het Kimstergat bij Koehoal i.p.v. Harlingen zorgt tijdelijk voor een versnelde aangroei van de kwelder langs de dijk bij Koehoal. Uiteindelijk verspreidt het slib zich echter over een veel groter gebied, inclusief het havenbekken (d.w.z. draagt bij aan de retourstroming). De effecten van het onderhoud van de vaargeul bij de Boontjes zijn reeds besproken in het gedeelte over het Marsdiep, 4.3.2. Het wantij tussen Marsdiep en Vlie ligt dicht in de buurt, waardoor deze effecten ook naar het Vlie-bekken kunnen uitstralen. Voor informatie over de afstanden tussen bagger- en verspreidingslocatie in het Vlie en gevoelige habitats zie Figuur 3-14.

Effecten handhaving geuldiepte en -ligging

Het oppervlak van de geulen (de gebieden met een bodemligging dieper dan -5 m NAP) in het Vlie is in de afgelopen eeuw constant gebleven en beslaat ongeveer 14% van het kombergingsgebied. Het plaatareaal is sterk toegenomen tussen 1926 en 2022, van 32% tot 51% van het kombergingsgebied. Dit ging ten koste van het subgetijdegebied, dat sterk is afgenomen, van 54% tot 36% (zie Figuur 2-10). Er wordt een doorgaande lichte toename van de baggerinspanning in de geulen verwacht, na een sterke stijging van het baggervolume in

de Blauwe Slenk tussen 2006 en 2012. Het baggervolume in de haven van Harlingen is stabiel en zal naar verwachting ook stabiel blijven. In het verleden zijn de baggervolumes in het Vlie een aantal keer sprongsgewijs toegenomen als gevolg van verdieping van de vaarweg.

Invloed op sedimentbalans en morfologische ontwikkeling

De baggervolumes zijn van gelijke orde als de natuurlijke netto sedimentfluxen. De netto natuurlijke sedimentimport naar het Vlie bedraagt gemiddeld 1,4 miljoen m³/j over de periode 1991 – 2015 (Deltares 2019), waarvan ongeveer 75% zand en 25% slib is. Bij onttrekking van baggerspecie zou dit de sedimentbalans aanzienlijk beïnvloeden, maar de baggerspecie wordt teruggestort. De potentie voor beïnvloeding van de sedimentbalans is toegenomen omdat de natuurlijke sedimentimport trendmatig is afgenomen, terwijl het baggervolume trendmatig is toegenomen.

De baggerlocaties Slenk, Blauwe Slenk en Pannengat worden gekenmerkt door een relatief hoge autonome morfologische dynamiek. Het is niet aannemelijk dat de baggerwerkzaamheden hier de natuurlijke morfologische ontwikkeling beïnvloeden.

Het Vlie kent een sterke trend van verlanding, met een toenemend plaatareaal en een afnemend areaal subgetijdegebied, met name achterin het bekken. Hierdoor nemen de getijvolumes van de geulen dichtbij de Friese kust af. De verwachting is dat hier op termijn de baggervolumes zullen toenemen (Deltares 2024c).

De verspreidingslocatie Kimstergat dichtbij Harlingen vult op en wordt ondieper. Dit is grotendeels het gevolg van de trend van verlanding en afname van komberging die in dit gebied op grotere schaal speelt. Echter zijn de volumes die in het Kimstergat worden verspreid significant vergeleken met de jaarlijkse opvulling van deze relatief kleine geul. Het is dus mogelijk dat het verspreiden in het Kimstergat bijdraagt aan de versnelde opvulling ervan.

4.4.3 Knelpunten

Harlingen, de belangrijkste haven met het grootste baggervolume in het Vliebekken, bevindt zich aan het uiteinde van het bekken. Dit verschilt met de haven van Den Helder, die zich aan het begin van het Marsdiepbekken bevindt. Per m³ havenonderhoud zijn de potentiële ecologische effecten rondom de huidige verspreidingslocaties van de havens daarom groter in het Vliebekken, omdat de specie daar minder snel door de getijstrooming wordt afgevoerd en grotere kans heeft om in het einde van dit (sedimenterende) systeem te blijven hangen en te bezinken. Hoewel het onderhoudsvolume in Harlingen stabiel is gebleven over de jaren, staat de effectieve afvoer van deze specie onder druk door de onderhoudsproblematiek van de Boontjes en de geleidelijk ophoging van de platen wat mogelijk tot toenemend baggerbezwaar zal leiden langs de route Harlingen - Noordzee. Dit kan ook leiden tot een geleidelijke toename van de lokale vertroebeling en bedekking.

Na een eerdere sterke stijging is het onderhoudsvolume in de vaargeul van de Blauwe Slenk vanaf 2012 stabiel, maar wel op een hoog niveau (ongeveer 500.000 m³ per jaar, inclusief de vaargeul langs de Pollendam). Verwacht wordt dat dit volume de komende jaren licht zal toenemen door uitbochting van de ebschaar waardoor de vaargeul loopt (zie 2.3.2.2). Het baggeren van deze meer zandige specie heeft slechts een beperkte invloed op vertroebeling, maar draagt wel bij aan verstoring.

4.5 Borndiep

4.5.1 Lokale effecten op korte tijdschaal

In het Borndiep wordt jaarlijks ongeveer 1.5 tot 2 miljoen m³ gebaggerd, waarvan ongeveer 40% slibrijke specie in de geuleinden en ongeveer 60% zand van de drempels. Dit volume wordt vrijwel uitsluitend uit de vaargeul gebaggerd en niet uit havens. De enige haven in dit bekken is de kleinschalige jachthaven van Nes. De veerboot naar Ameland meert aan bij de veerdammen van Holwerd en Nes, die aan de vaargeul liggen. Het onderhoud bij deze veerdammen telt mee als geulonderhoud en niet als havenonderhoud. Het jaarlijkse baggervolume is sterk toegenomen in de periode 1990 – 2015 van ca. 100.000 m³ tot bijna 2 miljoen m³, waarna het min of meer is gestabiliseerd. Voor meer details zie hoofdstuk 3. Bij een gemiddeld beunvolume van 730 m³ betekent dit ca. 2300 trips per jaar. In de jaren 2012 – 2015 is veel van de specie ‘op stroom gezet’ in de vaargeul en niet verspreid vanaf de verspreidingslocaties. Inmiddels is die praktijk sterk verminderd vanwege zorgen over extra retourstroming, wat vermoedelijk sterk heeft bijgedragen aan de plotselinge toename van het baggervolume in de jaren 2012-2015. In het zuidelijke deel van de vaargeul bij Holwerd wordt nog steeds 100.000 tot 200.000 m³ specie op stroom gezet. Dit vergroot de lokale vertroebeling, wat de sedimentatie in de vaargeul en op omringende platen doet toenemen.

Het frequent verstoorde oppervlak door baggeren en verspreiden is ongeveer 68 ha, wat 0.2% van het totale oppervlak van het Borndiep bekken is en 3% van de geulen. Uitgaande van de geulen waarin frequent wordt gebaggerd (35 ha) wordt jaarlijks gemiddeld een laagdikte van $1.750.000 \text{ m}^3 / 350.000 \text{ m}^2 = 5 \text{ m}$ verwijderd uit de geulen. Als per baggertrack ca. 30 cm specie wordt verwijderd, betekent dit dat onderhoud wel 17× of zelf vaker per jaar moet plaatsvinden. Daarnaast verstoort het verspreiden van baggerspecie extra oppervlakte. De aangewezen verspreidingslocaties hebben een areaal van 33 ha.

4.5.2 Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden

De berekende gemiddelde concentratieverhoging door verspreiden bedraagt ongeveer 40 mg/l in dit gebied (zie Figuur 3-23). Tegenover de concentratieverhoging door verspreiden staat een concentratieverlaging door sedimentatie in de geul, waardoor veel slib uit de waterkolom wordt onttrokken. Het gecombineerde effect van beide processen is een gemiddelde concentratieverlaging in de vaargeul en concentratieverhoging rondom de verspreidingslocaties. De modelberekeningen houden echter geen rekening met andere vertroebelende effecten, zoals van agitatiebaggeren, scheepvaart en visserij waardoor de berekende concentratieverhoging van 40 mg/l vermoedelijk een onderschatting is. Een lange termijn meetcampagne bij Holwerd en Ferwerd is gaande om het effect van scheepvaart en baggeren (zoals bij Holwerd) op de troebelheid te kwantificeren t.o.v. een ongestoorde geul (zoals bij Ferwerd).

De netto sedimentatie van 272 kton/jaar in de geulen zou zonder geulonderhoud veel minder groot zijn. Deze hoeveelheid is ongeveer gelijk aan de jaarlijkse natuurlijke sedimentatie van slib in het hele bekken (Deltares, 2020d). De omvang van de netto sedimentatie (zowel in de geulen als in het hele bekken) wordt niet beperkt door de aanvoer van slib, omdat de bruto slibuitwisseling via de hoofdgeul en wantijen veel groter is.

De verblijftijd van water en slib bij Holwerd is aanzienlijk, met meerdere weken voor water en maanden voor slib, in vergelijking met de lokale bagger- en stortcycli. Dit vormt in combinatie met de vloeddominantie in het transport een risico voor lokale concentratieverhoging en het 'rondpompen' van slib. Een analyse door Herman (2018), gebaseerd op een bakjesmodel, bevestigt dit risico. Een analyse met het numerieke 3D KRW-slibmodel geeft een sterkere dispersie en een minder grote invloed van 'rondpompen'. Desondanks is de daarmee berekende jaargemiddelde verhoging van 40 mg/l significant ten opzichte van de lokale natuurlijke achtergrond van ca. 100 – 200 mg/l. Dit wijst op cumulatieve effecten van de vele bagger- en stortcycli.

Voor afstanden tussen bagger- en verspreidingslocatie in het Borndiep en gevoelige habitats, zie Figuur 3-24

Effecten handhaving geuldiepte en -ligging

Voor het beheer van de vaargeul Holwerd-Ameland zijn verschillende morfologische studies en meetcampagnes uitgevoerd, waaronder die door Deltares (2016c), die diverse scenario's analyseren op basis van actuele en historische geulligging en -diepte. De resultaten tonen aan dat de trendmatige ophoging van de platen aan de zijde van het vasteland leidt tot een afname van de geuldebieten, wat resulteert in meer sedimentatie en een toename van baggeronderhoud. Het geulonderhoud heeft invloed op de lokale morfologische ontwikkeling (denk aan de snelheid van uitbochting, de ontwikkeling van drempels en kortsluitgeulen, de snelheid van opslibbing van naburige platen), maar er is geen sprake van sterke beïnvloeding van de autonome morfologische ontwikkeling op de schaal van het bekken.

Invloed op sedimentbalans

In de periode 1991 - 2015 is netto 1.63 Mm³/j sediment geïmporteerd, waarvan ongeveer 15% slib (Deltares 2019; Deltares 2020b). De baggervolumes zijn van gelijke orde als de natuurlijke netto sedimentfluxen.

De hoeveelheid gebaggerd zand is ongeveer een factor 1.5 lager dan de netto sedimentatie in het bekken, die ongeveer 1.6 miljoen m³ per jaar bedraagt. Bij onttrekking van sediment zou de sedimentbalans aanzienlijk worden beïnvloed, maar de baggerspecie wordt teruggestort, waardoor de invloed klein is. Doordat het baggeren en verspreiden hier continu op relatief grote schaal plaatsvindt wordt de lokale morfologie van de geulstaart nabij Holwerd beïnvloed door de baggerwerkzaamheden.

Lokale optimalisatie van het verspreiden is belangrijk om een (te sterke) retourstroming van stort- naar baggervak, de geleidelijke verondieping van het stortvak en verstoring van nabijgelegen habitats te voorkomen. Er zijn duidelijke aanwijzingen dat de piek in het baggeronderhoud rond 2015 mede werd veroorzaakt door het grootschalig op stroom zetten van de specie in de vaargeul zelf. Dit wordt verder besproken in 4.8.

4.5.3 Knelpunten

In het Borndiep vormt de vaargeul Holwerd – Ameland een knelpunt voor het beheer door het aanzienlijke baggeronderhoud, van slibrijke specie in de geuleinden, vooral bij Holwerd, en van zandige specie rond de drempels in het tussengebied. Baggervolumes zijn na een sterke toename in de periode 2010 – 2015 gestabiliseerd op een hoog niveau, maar vanwege de voorlopig nog voortschrijdende verlanding is de verwachting dat de baggervolumes nog verder zullen toenemen tot meer dan 2 miljoen m³/jaar in 2035, met mogelijke consequenties voor vergunningsplicht.

4.6 Friesche Zeegat

4.6.1 Lokale effecten op korte tijdschaal

In het Friesche Zeegat wordt jaarlijks ongeveer 80.000 tot 300.000 m³ gebaggerd in de geulen en circa 150.000 – 250.000 m³ in de havens. De samenstelling van deze specie is niet precies bekend, maar de specie in de geulen bestaat voornamelijk uit zand. Voor meer details zie Hoofdstuk 3. Bij een gemiddeld beunvolume van 730 m³ komt het geheel neer op ongeveer 500 trips per jaar. Het daadwerkelijk gebruikte beunvolume is afhankelijk van het ingezette materieel.

Van 1990 tot 1995 is het onderhoudsvolume van de geulen trendmatig gestegen van minder dan 50.000 tot tussen 80.000 en 300.000 m³ per jaar. Sindsdien is het volume gestabiliseerd, met jaarlijkse variaties. Het baggervolume van de havens is al jaren relatief stabiel.

Het verstoorde oppervlak door baggeren bedraagt ongeveer 75 ha, wat 0.5% van het totale oppervlak van het bekken is en 4% van de geulen. In de geulen waar frequent wordt gebaggerd (10 ha), wordt jaarlijks gemiddeld een laag van $180.000 \text{ m}^3 / 100.000 \text{ m}^2 = 1,8 \text{ m}$ verwijderd. Dit betekent dat er in het Friesche Zeegat lokaal intensiever wordt gebaggerd dan in de andere bekkens. Het totale baggervolume is echter veel kleiner dan in de overige kombergingsgebieden.

Naast de directe beïnvloeding op de locaties waar gebaggerd en verspreid wordt, kan het verspreiden van baggerspecie een aanzienlijke extra verstoring veroorzaken door vertroebeling, die door dispersie snel afneemt met de afstand tot de verspreidingslocatie. Het verspreiden vindt plaats op de aangewezen verspreidingslocaties, met een areaal van 64 ha.

4.6.2 Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden

De concentratieverhoging door verspreiden in het Friesche zeegat is niet gekwantificeerd met modelstudies of meetcampagnes. Het oordeel op basis van systeemkennis is dat de verhoging minder groot is dan in het Borndiep, omdat er minder baggerspecie wordt verspreid en de specie voornamelijk uit zand bestaat. De in 4.5.2 gerapporteerde concentraties kunnen daarom als een bovengrens worden beschouwd voor het Friesche zeegat. De achtergrondconcentratie in het Friesche Zeegat is lager dan in het Borndiep. Bij de MWTL-locatie Dantziggat is de gemiddelde concentratie in de periode 1984-2009 86 mg/l en bij de MWTL-locatie Zoutkamperlaag 66 mg/l. Voor informatie over de afstanden tussen bagger- en verspreidingslocatie in het Friesche zeegat en gevoelige habitats, zie Figuur 3-30.

Effecten handhaving geuldiepte en -ligging

Voor het Friesche zeegat is de verwachting dat baggeren hier een minimale invloed heeft op de morfologie. Uit modelberekeningen aan een verlegging van de Glinder blijkt dat deze praktisch geen effect heeft op de stromingspatronen.

Invloed op sedimentbalans

De baggervolumes zijn van gelijke orde als de natuurlijke netto sedimentfluxen. Dat betekent dat de sedimentbalans binnen het gevoelig is voor menselijke invloed. Omdat er wordt teruggestort binnen het bekken beïnvloedt het huidige beheer de grootschalige sedimentbalans niet of nauwelijks. De netto natuurlijke sedimentimport naar het Friesche zeegat is 0,35 miljoen m³/j in de periode 1991 – 2015 (Deltares 2019), waarvan ca. 85% zand is en 15% slib.

4.6.3 Knelpunten

In vergelijking met andere bekkens is het baggervolume in zowel vaargeulen als havens relatief beperkt. Er zijn momenteel geen directe knelpunten voor het beheer. Sinds 1995 zijn de baggervolumes vrij stabiel, met jaarlijkse fluctuaties maar zonder duidelijke langjarige trend. Er is geen langjarige trend in de concentratie zwevend stof in dit deel van de Waddenzee en daarmee is de verwachting dat de baggervolumes voor de havens in het Friesche Zeegat rondom het huidige niveau zullen blijven richting 2035 – 2050.

Actueel vindt er geen baggeronderhoud plaats in de geul Zoutkamperlaag, maar verdere verzanding en drempelvorming zou hier in de toekomst een knelpunt voor de bevaarbaarheid kunnen vormen. Hierdoor zou er in de zuidelijke Zoutkamperlaag een onderhoudsvraag kunnen ontstaan, waardoor de baggervolumes in het Friesche Zeegat behoorlijk toe kunnen nemen. De prognose tot 2050 is dat het baggervolume in de vaargeul hierdoor met ca. 30% zal toenemen, maar dit betekent nog niet dat er in dit bekken sprake is van een knelpunt.

4.7 Eems-Dollard

4.7.1 Lokale effecten op korte tijdschaal

Sinds de verdieping van de vaargeul Eemshaven Noordzee in 2016 wordt er in de geulen van de Eems-Dollard ongeveer 2.5 tot 4 miljoen m³ per jaar gebaggerd. Dat is veel meer dan de 1.5 miljoen m³ die vooraf werd verwacht na de verdieping. In de havens Eemshaven en Delfzijl bedraagt het gebaggerde volume ongeveer 2.8 tot 4.4 miljoen m³ per jaar. Het gebaggerde sediment bestaat in de geulen voornamelijk uit zand en in de havens grotendeels uit slib. Ook in het oostelijke deel van de vaargeul richting Emden wordt slib gebaggerd. Voor meer details zie Hoofdstuk 3. Bij een beunvolume van 1780 m³ (dit is het gemiddelde trip volume van een sleehopperzuiger in de Eems-Dollard in de periode 2021-2023) betreft dit ongeveer 3800 trips per jaar. Het beunvolume is afhankelijk van het ingezette materieel. In de Eemshaven en Delfzijl wordt groter materieel ingezet dan elders in de Waddenzee, waardoor het aantal trips niet veel hoger is dan op andere locaties, terwijl het baggervolume wel veel groter is.

Het frequent verstoorde oppervlak door baggeren en verspreiden is 1971 ha, wat 4% van het totale oppervlak van de Eems-Dollard is en 18% van de geulen. Met een areaal van de baggervakken van 1701 ha wordt jaarlijks gemiddeld een laag van 3.250.000 m³/17.010.000 m² = 0.2 m verwijderd.

Naast baggeren veroorzaakt ook het verspreiden van sediment een belangrijke lokale verstoring. In tegenstelling tot baggeren, dat in de Eems over een groot gebied in de vaargeul plaatsvindt, is het verspreiden geconcentreerd in een beperkter areaal. Het totale areaal van de Nederlandse verspreidingslocaties bedraagt 582 ha.

4.7.2 Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden

Modelstudies van de impact van het baggeren en verspreiden van slib uit de havens in de Eems-Dollard tonen aan dat dit over langere tijdschaal leidt tot gemiddelde toename van de SPM-concentratie van 0-100 mg/l in een zone van ongeveer 10 km rondom de verspreidingslocaties en een gemiddelde afname van 0-100 mg/l verder van de verspreidingslocaties (Van Maren et al. 2015). De achtergrondconcentratie in de Eems-Dollard neemt sterk toe van buiten naar binnen. Ter hoogte van de monding (Huibertgat) is deze ca. 16 mg/l en ter hoogte van de Dollard (Grote Gat) ca. 147 mg/l (zie Tabel 2:1).

Voor afstanden tussen bagger- en verspreidingslocatie in de Eems-Dollard en gevoelige habitats, zie Figuur 3-35.

Effecten handhaving geuldiepte en -ligging

De aanpassingen aan de vaargeul in de Eems-Dollard zijn van zodanige omvang dat ze invloed hebben op de getijdoordringing in het estuarium. Deze invloed heeft op zijn beurt de hydrodynamica, sedimentimport en vertroebeling in de waterkolom achterin het bekken significant verhoogd (Deltares, 2021e; Deltares, 2021g). Hierdoor heeft dit estuarium een uitzonderingspositie ten opzichte van overige bekkens, waarin de invloed van geulverdieping op getijstroming en vertroebeling meer lokaal is.

Invloed op sedimentbalans

De baggervolumes zijn van gelijke orde als de natuurlijke netto sedimentimport van 7.3 miljoen m³/j. De toename van de het sedimentvolume in Eems-Dollard is 3.5 miljoen m³/j waarvan 42% slib (Deltares 2021e) en 58% zand. Het verschil tussen 3.5 en 7.3 miljoen m³/j wordt verklaard door het effect van bodemdaling, sedimentonttrekkingen en kweldersedimentatie. Onttrekking van baggerspecie beïnvloedt de sedimentbalans sterk, ook al wordt nog steeds de meeste baggerspecie teruggestort, met name aan de Nederlandse zijde van het estuarium. Het belang van een goede sedimentbeheerstrategie voor de Eems-Dollard is dus groot. Hierover lopen diverse pilotprojecten zoals de kleirijperij, brede groene dijk en VLOED.

4.7.3 Knelpunten

Door vaargeulverdieping en het grote volume baggeronderhoud van de vaargeulen en havens in de Eems-Dollard is er sprake van veel verstoring van het natuurlijke systeem met betrekking tot de sedimentbalans, de morfologische ontwikkeling en de troebelheid. Deze verstoring neemt toe van buiten naar binnen. Baggerspecie uit de Eemshaven kan zich makkelijker verspreiden dan die uit Delfzijl of Emden. In het buiten- en middengebied is de vertroebeling niet trendmatig toegenomen, in tegenstelling tot het binnengebied. Het havenonderhoud in Delfzijl en Eemshaven is vrij stabiel, met uitzondering van een toename in de Eemshaven sinds de inname van koelwater. Door vaargeulverdieping is het baggeronderhoud van de geulen sterk toegenomen. De voornaamste knelpunten zijn de grote onderhoudsvolumes in combinatie met hoge troebelheid in het binnengebied.

4.8 Gehele Waddenzee

4.8.1 Synthese relatief effect baggeren en verspreiden

De cijfers uit voorgaande secties per gebied worden in Tabel 4.13 samengevat. Dit geeft het beeld van een intensief onderhouden systeem, met meer dan 10 miljoen m³ per jaar baggervolume voor de gehele Waddenzee, waarvan ca. de helft, namelijk 5 miljoen m³ in de Eems-Dollard (exclusief Duitse baggerwerkzaamheden). Het betreft ca. 10.000 onderhoudstrips per jaar verspreid over alle bekkens. Hoewel dit baggervolume klein is ten opzichte van het bruto getijgedreven sedimenttransport door de zeegaten, is het van dezelfde orde als de natuurlijke netto sedimentimport. Daarom kan wat er met deze baggerspecie gebeurt, potentieel een grote invloed hebben op het netto sedimenttransport.

Tabel 4.13 Kengetallen baggeren, verspreiden en sedimenttransport per kombergingsgebied en integraal voor Waddenzee. Volumes $\times 1000 \text{ m}^3$, arealen in ha. KT/LT = korte/lange termijn.

Parameter	Marsdiep	Vlie	Borndiep	Friesche Zeegat	Eems-Dollard	Wadden totaal
Baggercijfers en arealen						
Baggervolume vaargeul	450	800	1.700	190	3.250	6.400
Baggervolume havens	750	1.000	0	200	3.600	5.600
Baggerareaal geulen (ha)	51	91	35	10	1701	1.900
Gemiddelde laagdikte (m)	0.9	0.9	5.0	1.8	0.2	3

Stortareaal (ha)	76	102	33	64	582	850
Vaargeulareaal (ha)	289	715	97	114	n.b.	n.b.
Geulareaal (ha)	16.000	8.700	2.400	1.800	11.100	40.000
% beïnvloed	1%	2%	3%	4%	18%	6%
Vestoord laagdyn. (ha)	111	68	52	11	56	298
Aantal trips	1.600	2.360	2.300	500	3.800	10.560
Vertroebeling						
Vertroebeling KT	50 mg/l	50 mg/l	100 mg/l	50 mg/l	100 mg/l	70 mg/l
Vertroebeling LT	20 mg/l	10 mg/l	40 mg/l	10 mg/l	0 mg/l	15 mg/l
Achtergrond vertroebeling	30 mg/l	50 mg/l	80 mg/l	65 mg/l	100 mg/l	65 mg/l
Sedimentimport						
Netto sedimentimport	1.200	1.430	1.630	350	3.500	8.100
Waarvan zand	900	1.070	1.380	300	2.030	5.680
Waarvan slib	300	360	250	50	1.470	2.430

Met uitzondering van de Eems-Dollard is het geulonderhoud lokaal (bij drempels en bij geuluiteinden) en heeft het grootste deel van de getijgeulen een natuurlijke diepte. De vergroting van de indringing van het getij en van het getijprisma is daardoor beperkt en valt weg tegen de verkleining van het getijprisma t.g.v. het omhoog komen van de platen door natuurlijke sedimentatie. Dit komt mede doordat in de Waddenzee het plaatareaal veel groter is dan het geulareaal.

Wel heeft baggeronderhoud lokaal invloed op de morfologische ontwikkeling van de geulen en op de troebelheid. In de Eems-Dollard zijn de effecten op morfologie en troebelheid grootschaliger door de omvang van de verdieping, het grote baggervolume en de langgerekte vorm van het Eems-estuarium in vergelijking met de rest van de Waddenzee.

4.8.2 Mogelijkheden tot verminderen van effecten

Er is gevraagd om via dit rapport een overzicht te krijgen van de mogelijkheden om de grote sedimentlast in de Waddenzee te stabiliseren en/of de effecten te verminderen. De eerste aantekening daarbij is dat de trend van vermindering van het kombergingsvolume door het omhoog komen van de platen gaat voorlopig nog doorgaat, terwijl ook de roep om bredere en diepere vaargeulen en voldoende havencapaciteit sterk blijft. Deze trends conflicteren sterk met de wens het baggeronderhoud te beperken zoals ook in de Agenda voor het Waddengebied 2050 is beschreven.

Verminderen baggerbezwaar

Een aanpak bij de bron is zonder twijfel de meest zekere en effectieve methode, bijvoorbeeld door het gebruik van schepen met minder diepgang. Hierdoor vermindert de drijvende kracht voor baggeren, namelijk overdiepte. Sedimentatie in havens kan verder worden vermindert door maatregelen zoals het omleiden van zoetwaterspui of koelwaterlozing (indien van toepassing) en een betere vormgeving van de havenmonding. Dit zijn echter kostbare maatregelen die sedimentatie nooit helemaal zullen voorkomen, maar slechts enigszins zullen reduceren. Optimalisatie van het ontwerp van de vaargeulen is in een natuurlijke en dynamische omgeving als de Waddenzee moeilijk en biedt een slechts tijdelijke oplossing, omdat het vastleggen en afschermen van geulen met kunstwerken hier ongewenst is. Wel kan 'meebewegen' met de natuurlijke morfologische ontwikkeling van de geulen helpen om lokale knelpunten te verminderen die kunnen ontstaan door het uitbochten van vaargeulen, drempelvorming en de ontwikkeling van nevengeulen.

Optimaliseren verspreiding

Hiernaast is optimalisatie van de verspreiding van baggerspecie een logische stuurknop, waarbij het afwegingskader voor zand- en slibrijke specie sterk kan verschillen en de keuze van de verspreidingslocatie (b.v. hoog- of laagdynamisch) afhangt van wat het doel is, namelijk lokaal sedimentbehoud om de groei van platen en kwelders te stimuleren (op dit moment is dit nog geen aandachtspunt voor de Waddenzee, maar in de toekomst onder invloed van versnelde zeespiegelstijging wel) of sterke dispersie om retourstroming te beperken. Dit is een flexibele methode waarmee in de Westerschelde al veel ervaring is (Deltares, 2014). Ook hiervoor geldt dat het geen wondermiddel is dat het baggervolume sterk kan terugdringen, maar wel enigszins kan beperken en tegelijkertijd ook de negatieve effecten van specieverspreiding kan verminderen.

De methodiek van een dergelijke optimalisatie kan per kombergingsgebied gelijk zijn, maar de uitkomst kan heel anders zijn vanwege de verschillende karakteristieken. De verdeling tussen baggeren in vaargeulen en havens is voor ieder bekken anders. De verdeling tussen zand en slib ook, hoewel hierop in de meeste bekkens onvoldoende zicht is. Dit vraagt om een betere vastlegging van de baggergegevens. Tenslotte maak het voor de effecten veel uit of baggerspecie wordt verspreid in een diepe geul met sterke getijstroming of een ondiepe geul met zwakke stroming.

Hoe verhoudt dit zich tot beheerplan

In het huidige beheerplan is dynamisch meebewegen met natuurlijk gedrag als speerpunt opgenomen. Hoewel meebewegen en flexibel verspreiden geen magische oplossing is om voortschrijdende trends te keren, kan het tijdelijk en lokaal wel de scherpe randjes van het baggeronderhoud wegnemen, de algemene efficiëntie vermoedelijk iets verhogen en de morfologische en ecologische effecten iets beperken. Het principe van dynamisch meebewegen is goed en moet blijven, maar procesmatig is dit geen sinecure vanwege de tegenstelling om in een beheerplan zaken vast te leggen (denk aan ligging en diepte van de vaargeul, locatie van verspreidingsvakken, maximaal verspreidbaar volume) voor een fysieke omgeving die van nature dynamisch is. Dit vraagt om doorlopende monitoring en regelmatige afstemming tussen beheerders, morfologen en ecologen om te voorkomen achter de feiten aan te lopen.

Qua inzet van baggertechnieken maakt het nogal uit of wordt ingezet op beperking van het baggervolume of het aantal tonnen droge stof (TDS), op een maximalisatie dan wel beperking van de dispersiesnelheid na verspreiding (in verband met vertroebeling en retourstroming), reductie van kosten en energieverbruik, minimalisering van verstoring of maximalisering van operationele flexibiliteit. Deze zaken lopen vaak door elkaar heen en worden op verschillende plaatsen en momenten in de operationele keten tussen systeemkennis – beheerplan – baggeronderhoud bepaald.

Locatiekeuze voor de verspreidingsvakken is een belangrijke stuurknop (zie kader), waarbij te dichtbij verspreiden in een weinig dispersieve omgeving kan resulteren in een sterke lokale vertroebeling en retourstroming naar de baggervakken, en (te) ver weg verspreiden de natuurlijke sedimentbalans verstoort en zorgt voor veel extra vaarkosten en energieverbruik. De huidige locaties voor de verspreidingsvakken zijn historisch zo gegroeid, maar het is onbekend of deze optimaal zijn voor de huidige morfologische toestand en baggervolumes. Dit is een aandachtspunt voor het beheerplan. Locatiekeuze voor verspreiding gaat niet alleen om de afstand tot de baggerlocaties, maar ook om de mate van dispersie. Een hoogdynamische locatie in geulen leidt tot een snelle verspreiding en vertroebeling over een groot gebied, terwijl een laagdynamische locatie bij plaatranden leidt tot meer lokale retentie van slib. Hieraan zitten voor- en nadelen, zoals een minder snelle retourstroming en een voedende werking voor platen, maar ook een ophoging en verslibbing van de verspreidingslocatie die hierdoor een beperkte gebruiksduur heeft.

Als gedachtenexperiment kunnen twee uitersten worden benoemd voor slibsedimentatie, namelijk enerzijds het door permanente agitatie in suspensie houden van slib en anderzijds het baggeren van geconsolideerd slib uit een haven of vaargeul met voldoende overdiepte. In het eerste geval is het baggervolume nul maar het effect op vertroebeling groot, in het tweede geval is het baggervolume aanzienlijk (in TDS, in volume valt het relatief mee vanwege de hoge dichtheid) maar het effect op de vertroebeling klein indien de geconsolideerde specie zo erosieresistent is dat deze achterblijft op de bodem van de verspreidingslocatie. In het eerste geval is er geen netto import van slib, in het tweede geval wel en vindt accumulatie van slib plaats op de verspreidingslocatie. De eerste methode kan eindeloos worden volgehouden (maar met permanente agitatie en verhoogde vertroebeling), de tweede methode alleen als slib wordt onttrokken aan het systeem met een snelheid die gelijk is aan de netto import, hetgeen op den duur kan leiden tot afname van de import en een verlaagde vertroebeling indien het lokale baggervolume significant is op systeemsschaal.

Beide methoden zijn *in extremis* onhaalbaar, maar de praktijk beweegt zich wel ergens tussen deze twee uitersten in, waarbij de technieken agiteren en injecteren (WIB) veel kenmerken hebben van de eerste methode en de technieken knijpen en zuigen veel kenmerken van de tweede methode. Hoe dichtbij agiteren en injecteren bij de eerste methode zitten hangt af van de frequentie en intensiteit van inzet, hoe dichtbij knijpen en zuigen bij de tweede methode zitten hangt af van de dichtheid van de baggerspecie en de verspreidings-locatie (dichtbij → methode 1 of ver weg → methode 2). In dit palet van technieken en keuzen voor bij welke dichtheid wordt gebaggerd en waar de specie wordt verspreid, is optimalisatie van invloed op vertroebeling en sedimentbalans, verstoring, energieverbruik, kosten etc. In het beheerplan moet worden gespecificeerd hoe hierop wordt gestuurd. Zonder een dergelijke specificatie wordt in de praktijk voornamelijk gestuurd op kosten.

Gebruik modellen om verspreiding te optimaliseren

Optimalisatie van de ligging van verspreidingslocaties kan plaatsvinden met behulp van morfologische en/of slibtransportmodellen, met de volgende kanttekeningen:

- Mogelijk worden niet alle relevante processen in voldoende mate door deze modellen gereproduceerd;
- Er zijn grootschalige modellen beschikbaar voor het hele Waddengebied, maar de resolutie hiervan kan soms tekortschieten voor lokale detailstudies.

Bij modelinzet is dus vaak maatwerk nodig. Ook is de koppeling met monitoring essentieel voor validatie van de resultaten. Monitoring kan zich richten op de natuurlijke dynamiek en op de invloed van baggeren en specieverspreiding hierop. Het gaat hierbij om abiotische effecten (o.a. troebelheid, bedekking, morfologie) en om de doorwerking op de ecologie. Op basis van monitoring is het vaak moeilijk om een statistisch significant onderscheid te maken tussen natuurlijke vertroebeling en sedimentatie en de bijdrage van baggeren en specieverspreiding hieraan. Voor de kwantificering van far-field effecten zijn hiervoor typische langjarige en hoogfrequente meetreeksen benodigd in combinatie met gedetailleerde operationele baggergegevens. Daarom is een combinatie van meten en modelleren het meest effectief, waarbij beide methodes elkaar versterken.

Kaders voor de beperking van ecologische effecten

De vraag is welke kaders voor baggeronderhoud en verspreiden de beste garantie geven dat ecologische grenzen niet worden overschreden. Een eenvoudig kader is een volumelimiet, maar effecten zijn niet alleen volume- maar ook plaats- en tijdsafhankelijk. Bovendien zijn ook dichtheid en samenstelling van de baggerspecie in belangrijke mate sturend voor de effecten. En technieken zoals agitatie leiden weliswaar tot een lager baggervolume maar een hogere troebelheid. Het stellen van ecologische grenzen verdient daarom de voorkeur boven een limiet voor het baggervolume. Wat ecologisch acceptabel is kan per seizoen sterk verschillen. Het stellen van seizoensgrenzen i.p.v. jaargrenzen ligt voor de hand. Het baggervolume is hierbij wel nuttig als indicator, maar dan wel uitgesplitst naar zand en slib en omgerekend naar TDS. Het is hiervoor noodzakelijk om de baggerinspanning beter te registreren om zo ook beter mogelijke effecten te kunnen bepalen. Zie bijlage A.1 voor enkele concrete aanbevelingen om de registratie van baggervolumes sterk te verbeteren.

Beheer en verschil in trends op korte en lange termijn

Er is een belangrijk verschil tussen trends op de korte en lange termijn. Op de korte termijn is de trend van verlanding dominant die in combinatie met de wens van het behoud (en soms ook de verruiming) van de vaargeulen het baggeronderhoud verder onder druk zet. Dit is de huidige problematiek die voorlopig nog wel aanhoudt. Op de lange termijn is er de trend van versnelde zeespiegelstijging die potentieel tot verdrinking kan leiden. Deze tijdschalen lopen ver uiteen en op dit moment is voor het beheer de verlandingtrend leidend is. De risico's op de lange termijn vragen echter dat hiermee bij inrichting en het beheer van de Waddenzee rekening wordt gehouden. Voor de mate waarin dit moet gebeuren is het belangrijk inzicht te hebben in hoe en wanneer de ene trend dominant wordt over de andere. Daarover bestaat nog grote onzekerheid, in het bijzonder vanwege de spreiding in de scenario's voor zeespiegelstijging.

Ten slotte

De kern voor het nieuwe beheerplan is het kennen van morfologische en ecologische effecten van baggeren en verspreiden, en het beperken van deze effecten door een goed doordacht beheer. Dit rapport over abiotische effecten is daarvoor een inspiratiebron, samen met de nog uit te voeren studie naar ecologische effecten. Morfologische en ecologische gebiedskennis, modellen om effecten te berekenen en beheer te optimaliseren, in-situ monitoring van deze effecten in de Waddenzee en een compleet overzicht van alle bagger- en verspreidingsactiviteiten zijn de belangrijkste bouwstenen van zo'n plan, in samenhang met de juridische kaders.

Referenties

Arcadis (2010), Cleveringa, J. & Grasmeijer, B., Meegroeivermogen en gebruikruimte in de getijbekkens Vlie en Marsdiep; Grootschalige morfologische ontwikkelingen westelijke Waddenzee. Report A2062R3r5, Arcadis (Zwolle).

Arcadis (2018), S. van Til. Getijdemeanders in kombergingsgebied Borndiep.

Arcadis (2018b), Van Til, S. & J. Cleveringa, Morfologische dynamiek Schuitengat; Analyse t.b.v. de scheepvaartfunctie. Arcadis rapport met kenmerk 079739076

Arcadis & Deltares (2022), van der Vegt, H., J. Cleveringa, Dynamisch vaargeulbeheer Waddenzee, 11208040-009-ZKS-0003, definitief, 16-12-2022

Arcadis (2023), Lenstra, K., Verkenning vaargeuloptimalisatie Glinder, Amersfoort: Arcadis Nederland B.V.

Baptist et al. (2019) Beneficial use of dredged sediment to enhance salt marsh development by applying a 'Mud Motor': evaluation based on monitoring <https://doi.org/10.18174/500109>

Becker, J., van Eekelen, E., van Wiechen, J., de Langen, W., Damsma, T., Smolders, T., van Koningsveld, M., 2015. Estimating source terms for far field dredge plume modelling. J. Environ. Manag., 149 (2015), pp. 282-293.

Brils, F., (2021). An analysis of Dredging Volumes in the Dutch Wadden Sea, Intern report, Rijkswaterstaat-WVL

CEDA (2018). Dredging for sustainable infrastructure. ISBN 978-90-9031318-4.

CEDA (2022). Energy Efficiency Considerations for Dredging Projects and Equipment. An Information Paper.

CEDA/IADC, Laboyrie, H. P., Van Koningsveld, M., Aarninkhof, S. G. J., Van Parys, M., Lee, M., Jensen, A., Csiti, A. and Kolman, R. (2018). Dredging for Sustainable Infrastructure. CEDA / IADC, The Hague, the Netherlands

Decrop, B. (2015). "Numerical and experimental modelling of near-field overflow dredging 536 plumes." Ph.D. thesis, Ghent University, Ghent University.

Deltares (2014). M.C.J.L. Jeuken, J. Vroom, Z.B. Wang, D. Depreiter, G. van Holland, G. Dam, S. Poortman, J. Cleveringa. Advies flexibel storten : verbeteren van het Criterium Nevengeulen - voorstel voor het afleiden van koerslijnen en ondergrenzen voor het watervolume van (neven)geulen. Deltares rapport 1209395.

Deltares (2015), T. van Kessel, Opzet en toepassing slibmodel Waddenzee, eindrapportage, Kenmerk: 1220102-000-ZKS-0010, 30 november 2015, definitief

Deltares (2016), Oost, A., J. Cleveringa, Morfologie Kombergingsgebied Borndiep - KPP 2017 BO03 Waddenzee Kennisontwikkeling morfologie en baggerhoeveelheden. Kenmerk: 11200521-000.

Deltares (2016b), L. van Rijn, J. Cleveringa, T. van Kessel, Analyse Vaargeul Holwerd-Ameland, Analyse historische baggergegevens en lodingen, Kenmerk: 1230378-000-ZKS-0011, definitief, 9 augustus 2016

Deltares (2016c), Herman, P.M.J., N. Villars, H. Winterwerp, T. van Kessel, Z.B. Wang, C. Briere, L. van Rijn, J. Cleveringa, Analyse vaargeul Holwerd-Ameland - Eindrapport. Deltares rapport. Kenmerk: 1230378-005-ZKS-0001

Deltares (2016d), Villars, N., T. van Kessel, H. Winterwerp, Z. Wang, C. Briere, M. de Lucas Pardo, J. Cleveringa, L. van Rijn, P.M.J. Herman, Analyse vaargeul Holwerd-Ameland: Verkennende studie naar maatregelen om vertragingen en baggerbezwaar op te lossen. Kenmerk: 1230378-000-ZKS-0017.

Deltares (2017), Oost, A., J. Cleveringa, Morfologie Kombergingsgebied Borndiep - KPP 2017 BO03 Waddenzee Kennisontwikkeling morfologie en baggerhoeveelheden. Kenmerk: 11200521-000.

Deltares (2017a), Nederhoff, K., B. Smits, Z.B. Wang, KPP Waddenzee kennisontwikkeling morfologie en baggerhoeveelheden. Data analyse hypsometrie en getij. Kenmerk: 11200521-000-ZKS-0005

Deltares (2018), Grasmeyer, B. & B. Rübke, Hydromorfologische vervolgstudie vaarweg Holwerd – Ameland. Kenmerk: 11201692-000-ZKS-0001, 14-5-2018

Deltares (2018b), Herman, P., van Kessel, T., Vroom, J., Dankers, P., Cleveringa, J., de Vries, B. & Villars, N., Mud dynamics in the Wadden Sea. Towards a conceptual model. Deltares rapport 11202177-000-ZKS-0011

Deltares (2019), Elias, E. Een actuele sedimentbalans van de Waddenzee. Kenmerk: 11203683-001-ZKS-0002.

Deltares (2019a), Oost, A., Cleveringa, J., Taal, M., Morfologie Kombergingsgebieden Marsdiep en Vlie: Beheerbibliotheek Waddenzee, versie 2019

Deltares (2019b), Van Maren, D., Schrijvershof, R., Vroom, J. Hydromorfologische verbetering ED2050. Optimalisatie morfologisch model. Deltares rapport 11202245-000-ZKS-0003.

Deltares (2019c), R. van Weerdenburg, J. Vroom, B. van Maren. Transport of Mud Motor sediment: modelling hydrodynamics and sediment transport. Deltares rapport 1209751.

Deltares (2020), Grasmeyer, B., R. van Weerdenburg, Evaluatie bochtafsnijding vaarweg Ameland. Kenmerk: 11205229 - 006 - ZKS – 0002, 4-12-2020

Deltares (2020b), Colina Alonso, A., Evolutie van het bodemslib in de Waddenzee. Data analyse. Kenmerk: 11205229-001-ZKS-0003, 20-10-2020

Deltares (2020c), Herman, P., Vroom, J., Smits, B., Van Weerdenburg, R. & Van Kessel, T., Slibdynamiek in de Waddenzee. Update conceptueel model 2020. Deltares rapport 11205229-002-ZKS-0001

Deltares (2020d), Vroom, J., van Weerdenburg, R., Smits, B. & Herman, P., Modelleringslibdynamiek voor de Waddenzee. Kalibratie voor KRW slib. Deltares rapport 11205229-001-ZKS-0001

Deltares (2020e), Oost, A., Cleveringa, J. & Taal, M., 2020. Kombergingsrapport Friesche Zee: Pinkegat en Zoutkamperlaag. 11205229-001-ZKS-0002

Deltares, Arcadis & Royal HaskoningDHV (2020), Smits, B., J. Vroom, R. van Weerdenburg, J. Cleveringa, P. Dankers, Analyse fysische processen Waddenzee: inzet numeriek model voor analyse systeemwerking en gevoeligheidsscenario's, 11205229-002-ZKS-0003, 21-12-2020

Deltares (2021), Grasmeijer, B., L. van Rijn, T. van Kessel, R. van Weerdenburg, Slib- en sedimentatieadvies Holwerd aan Zee, 11206844-002-ZKS-0002, definitief, 10 december 2021

Deltares (2021b), Grasmeijer, B., T. van Kessel, R. van Weerdenburg, Invloed baggerstrategie op slibconcentraties en baggervolumes vaarweg Holwerd-Ameland, 11206799-006-ZKS-0001, definitief, 22 april 2021

Deltares (2021c), Vroom, J., Slibdynamiek in de Waddenzee. Deltares memo, 11206799-004-ZKS-0002, 8 december 2021

Deltares (2021d), Colina Alonso, A., Smits, B., Vroom, J., Stijging baggerhoeveelheden vaargeul Boontjes: data analyse op basis van morfologische ontwikkeling en baggerwerkzaamheden

Deltares (2021e), Elias, E., Colina-Alonso, A., van Maren, D.S., Morfologische veranderingen Eems-Dollard en Groninger Wad. Deltares rapport 11203742-000, 146 p.

Deltares (2021f), Wang, Z.B., van der Spek, A.J.F., Meegroeivermogen en kritische zeespiegelstijgingsnelheid voor verdrinking in de Nederlandse Waddenzee. 11206346-002-BGS-0002.

Deltares (2021g), Smits, B. & Van Maren, D.S. Sediment Concentrations in the Ems Estuary: Trend Analysis 1990-2020. Deltares rapport 11206835-000-ZKS-0001, 66 p.

Deltares & Royal HaskoningDHV (2022), Vroom, J., de Vries, B., Dankers, P., van Maren, B., Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op habitatype H1130 in het Eems estuarium

Deltares (2022), De Wit, L. & D. Mastbergen, Registratie baggerwerkzaamheden in de Waddenzee. Deltares notitie 11208040- 012-ZKS-0001.

Deltares (2022b), Meszaros, L. & Van der Heijden, L. ET-ESH Suspended Matter in the Wadden Sea.

Deltares (2022c), Smits, B., Vroom, J., van Weerdenburg, R., Colina Alonso, A., Morfologie en onderhoud vaargeul Boontjes: systeembegrip en scenario's

Deltares & Arcadis (2022), Van der Vegt, H. & J. Cleveringa, Dynamische Vaargeulbeheer Waddenzee. Kenmerk: 11208040-009-ZKS-0003, 16-12-2022

Deltares (2023), Van Weerdenburg, R., J. Vroom, C. Jeuken, B. Grasmeijer, Knelpuntanalyse Hoogwaterroute Holwerd – Ameland. Kenmerk: 11209267-004-ZKS-0004, 6-9-2023

Deltares (2023b), Stolte, W., Vroom, J., Santinelli, G., Veenstra, J., Van Oeveren, C., Van Zelst, V., Dijkstra, J., Digitale Systeemrapportage van de Waddenzee, versie 1.0. <https://systeemrapportage.nl/wadden/>.

Deltares (2023c), Vroom, J., Cleveringa, J., Oost, A., Taal, M., Kombergingsrapportage Marsdiep: Overzicht van informatie en kennis van het fysisch systeem. Versie 2023. Kenmerk: 1209267-001-ZKS-0005, 15-12-2023

Deltares (2023d), Bi, Q., van Kessel, T., Data analysys Holwerd-Ferwerd periode juli 2023 – juni 2023. 20-12-2023

Deltares (2024a), Meijers, C., R. van Weerdenburg, B. Grasmeyer, K. Lenstra, J. Cleveringa. Knelpuntanalyse Glinder en Groote Siege: conceptueel model en handelingsperspectief voor knelpunten in de vaargeul Lauwersoog – Schiermonnikoog, 11209267-004-ZKS-0001, 16-2-2024

Deltares (2024b), de Beer, A., Vermeer, N., Elias, E., Löhr, J. Morfologie van de eilandkoppen van het Zeegat van het Vlie, 11210366-004-ZKS-0001

Deltares (2024c), Quataert, E., Meijers, C., de Beer, A., Elias, E., Knelpuntanalyse Harlingen – Noordzee: conceptueel model en handelingsperspectief voor knelpunten in de vaargeul Harlingen – Noordzee. 11210370-005-ZKS-0002

Deltares (2024d), Smits, B., Jaksic, L., Dijkstra, J., Vroom, J., Franken, O., Reilmeyer, K. Modelleren van abiotiek voor en na afsluiting Zuiderzee: relevantie voor herstelkansen ondergedoken Groot zee gras. 11209267-006-ZKS-0001, 6-2-2024

Deltares (2024e), Vroom, J., van Maren, B., De slibdynamiek in het Eems-estuarium: een heldere beschrijving van veranderingen door de eeuwen heen. 11208080-000-ZKS-0001, 21-06-2024

Deltares en KNMI (2023), W. Stolte, F. Baart, S. Muis, M.P. Hijma, M. Taal, D. Le Bars, S. Drijfhout, Zeespiegelmonitor 2022.

HKV (2012), Ouwerkerk, S. & Vuik, V., Drempelverwijdering Boontjes. Effecten op hydrodynamica en morfologie. HKV rapport PR2051.10, maart 2012

Huismans, Y., A.J.F. van der Spek, Q. Lodder, R. Zijlstra, E. Elias & Z.Bing Wang, 2022. Development of intertidal flats in the Dutch Wadden Sea in response to a rising sea level: Spatial differentiation and sensitivity to the rate of sea level rise, Ocean & Coastal Management V. 2016.

IHC (2024), <https://www.royalihc.com/dredging/dredging-vessels/trailing-suction-hopper-dredgers/how-does-trailing-suction-hopper-dredger-work>, bezocht 6-2-2024

Oost, A. P. (1995). Dynamics and sedimentary development of the Dutch Wadden Sea with emphasis on the Frisian Inlet: a study of the barrier islands, ebb-tidal deltas, inlets and drainage basins. Universiteit Utrecht, Faculteit Aardwetenschappen.

Lodder, Q., Y. Huismans, E. Elias, H. de Looff & Z. B. Wang, 2022. Future sediment exchange between the Dutch Wadden Sea and North Sea Coast – Insights based on ASMITA modelling, Ocean & Coastal Management, v. 219.

Oost, A. P. (1995). Dynamics and sedimentary development of the Dutch Wadden Sea with emphasis on the Frisian Inlet: a study of the barrier islands, ebb-tidal deltas, inlets and drainage basins. Universiteit Utrecht, Faculteit Aardwetenschappen.

- Phillipart, C.J.M., S. Salama, J.C. Kromkamp, H.J. van der Woerd, A.F. Zuur, G.C. Cadée, 2013. Four decades of variability in turbidity in the western Wadden Sea as derived from corrected Secchi disk readings. *Journal of Sea Research* 82, 67-79.
- Rijkswaterstaat (1998), Essink, K., Esselink, P., Het Eems-Dollard estuarium: interacties tussen menselijke beïnvloeding en natuurlijke dynamiek. Rapport RIKZ-98.020, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ, Haren, oktober 1998.
- Royal HaskoningDHV (2019), Dankjers, P., Kennispaper Hydromorfologie ED2050, Rapport BF2443-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0003
- Van de Kreeke, J. 1996. Transport of fine sediment in the Ems estuary between Dollard and Eemshaven. A summary of results of studies carried out by Hydrest Inc. Prepared for Rijkswaterstaat. Hydrest Inc., Miami, USA. 12 pp.
- Van Maren, D.S., Oost, A.P., Wang, Z.B. & Vos, P.C. (2016). The effect of land reclamations and sediment extraction on the suspended sediment concentration in the Ems Estuary, *Marine Geology*, 376, pp. 147-157.
- Van Maren, D.S., van Kessel, T., Cronin, K. & Sittoni, L. (2015). The impact of channel deepening and dredging on estuarine sediment concentration. *Continental Shelf Research* 95, p. 1-14, <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2014.12.010>.
- Waddenacademie (2023), Hoekstra, P, C.J.M. Phillipart, R. Verbree. Kennisvragen baggeren en verspreiden van sediment in de Waddenzee, Verkenning in het kader van uitvoeringsprogramma UP23 “Ecosysteemgericht baggeren in de Waddenzee”. Fase 1. Rapport 2023-03, Waddenacademie, Leeuwarden
- Waddenacademie (2024), J. Cleveringa. Kennisvragen baggeren en verspreiden van sediment in de Waddenzee, Verkenning in het kader van uitvoeringsprogramma UP23 “Ecosysteemgericht baggeren in de Waddenzee”. Fase 1. Rapport 2023-03, Waddenacademie, Leeuwarden
- Wang, Z.B., E.P.L. Elias, A.J.F. van der Spek, Q.J. Lodder, 2018. Sediment budget and morphological development of the Dutch Wadden Sea: impact of accelerated sea-level rise and subsidence until 2100. *Netherlands Journal of Geosciences Volume 97*, pag. 183-214.
- Waterproof (2019), L.M. Perk, L.C. Van Rijn, J.A. Brinkkemper, K. Koudstaal, Metingen Holwerd Ameland – T0 Meetrapport, WP2018_1155_R3r1, 15-07-2019
- Winterwerp, J. C. (2011). Fine sediment transport by tidal asymmetry in the high-concentrated Ems River: Indications for a regime shift in response to channel deepening. *Ocean Dynamics*, 61(2–3), 203–215. <https://doi.org/10.1007/s10236-010-0332-0>
- Witteveen+Bos (2022a). Vervolgonderzoek Bereikbaarheid Ameland 2030 - Ontwerpnota baggerbezwaar en mogelijke veerroutes. Kenmerk: 126248/22-009.376, 24-6-2022
- Witteveen+Bos (2022b). Vervolgonderzoek Bereikbaarheid Ameland 2030 – Systeemanalyse morfologie inclusief verwachte ontwikkelingen tot 2100. Kenmerk: 126248/22-007.365, 18-5-2022
- Rijkswaterstaat (1986), Postma, J. T. & Reenders, R., Morfologische en hydraulische gevolgen van de afsluiting van de Lauwerszee voor het stroomgebied van het Friesche Zeegat en de

vaarweg naar Lauwersoog in het bijzonder, Delfzijl: Rijkswaterstaat Meet- en Adviesdienst. Nota 83-29.

Rijkswaterstaat (2021), Paree, E., A.S. Kers, R. Jentink, J-R. Hendriks, M.J. Baptist, Toelichting op de zoute ecotopenkaart Waddenzee 2017: Biologische monitoring zoute rijkswateren, versie v1.1, 30-9-2021

Rijkswaterstaat (2023). Jaarrapportage Baggerwerkzaamheden Waddenzee 2022, versie v1.0, 29-3-2023

Rijkswaterstaat (2024). Mulder, P. en Posthuma, A.. Jaarrapportage Baggerwerkzaamheden Waddenzee 2023, versie 2.0, 5-4-2024

Kernteam basismonitoring wadden (2017), Wadden in beeld 2016

Spearman, J., De Heer, A., Aarninkhof, S., and Van Koningsveld, M. (2011). "Validation of the TASS system for predicting the environmental effects of trailing suction hopper dredgers." Terra et Aqua, (125).

de Wit, L., A.M. Talmon and C. van Rhee (2014), 3D CFD simulations of trailing suction hopper dredger plume mixing: comparison with field measurements, Marine Pollution Bulletin <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.08.042>

Bijlagen

A Aanbeveling verbetering registratie baggercijfers

Aanbevolen wordt om alle baggerhoeveelheden in de basis uit te drukken in in-situ volumes in m^3 en zowel de in-situ volumes in m^3 als de TDS te registreren in het overzicht van de baggerhoeveelheden. In-situ volumes zijn belangrijk voor de morfologische effecten en TDS is belangrijk voor ecologische effecten zoals vertroebeling en beter geschikt voor vergelijking met slibtransport modellen. Zoals al gedaan wordt, dient de gehanteerde baggermethode ook te worden geregistreerd, omdat dit relevante informatie is voor de eco-morfologische effecten. De in-situ volumes kunnen voor de sleehopperzuigers worden bepaald uit de met MARS gemeten TDS in combinatie met kennis van de in-situ dichtheid en samenstelling van het sediment in de baggervakken, te bepalen o.b.v. bodemonsters.

Op deze wijze wordt voorkomen dat in-situ volumes en beunvolumes door elkaar gebruikt worden en wordt een zo robuust mogelijke registratie van de baggerhoeveelheden nagestreefd met consistente gegevens bij de overgang van de ene aannemer naar de andere aannemer en ook zo goed mogelijk vergelijkbaar tussen verschillende baggermethodieken. Naar verwachting zal deze nieuwe manier van registreren goed uitvoerbaar zijn voor de aannemer en zelfs minder werk vragen, omdat het MARS systeem gebruikt gaat worden, dat in beheer is bij Rijkswaterstaat. Daarin kunnen de bodemgegevens per baggervak, evenals de zeewaterdichtheid al worden opgenomen.

Gespecificeerd voor de verschillende baggermethoden wordt het volgende aanbevolen:

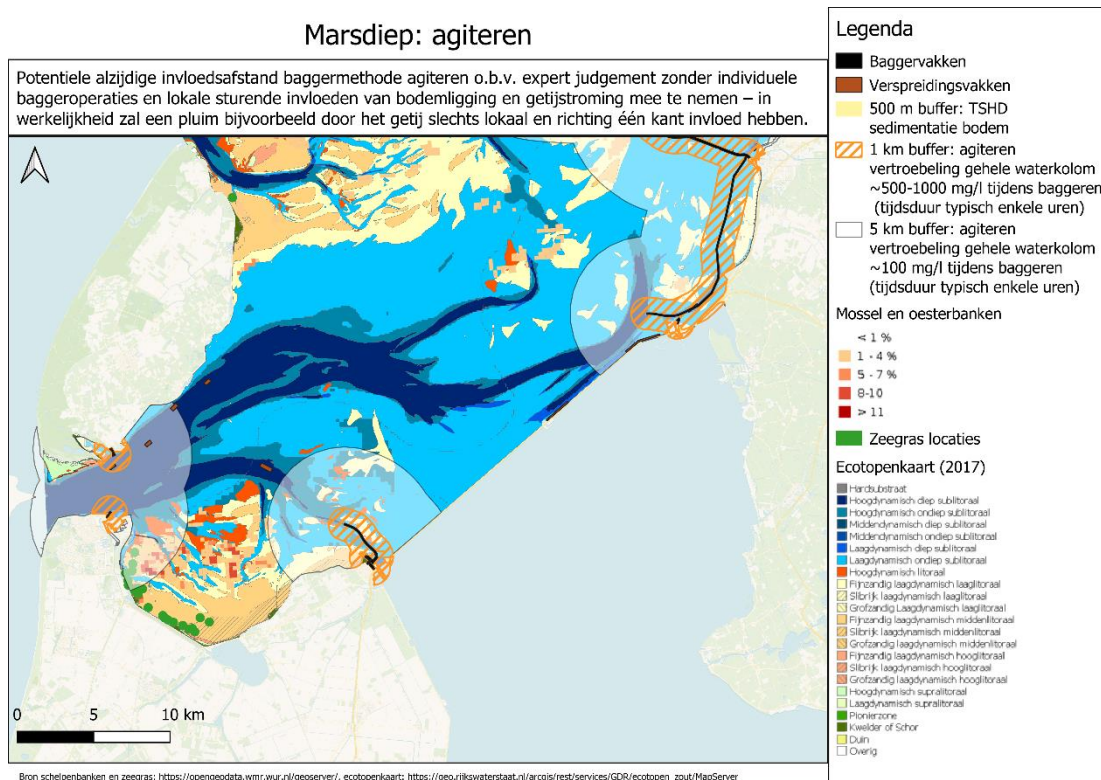
- **Sleehopperzuiger**
TDS wordt direct geregistreerd in MARS. De gegevens komen automatisch binnen bij Rijkswaterstaat en worden gedeeld met de aannemer. Inmiddels hebben alle sleehopperzuigers die gebruikt worden op de Waddenzee ook het MARS systeem aan boord. Er wordt voorkomen dat beunvolumes van een sleehopperzuiger gebruikt worden naast de in-situ volumes van andere baggermethodieken.
- **Agitatiebaggeren**
De productie van agitatiebaggeren via de zuigbuis met sleehopperzuigers is uit te drukken in TDS door het gemeten zuigbuisdebiet te vermenigvuldigen met de zuigbuisdichtheid (droge stof). Deze waarden kunnen ook gemeten worden in MARS. Op basis van het bodemonderzoek kan de gemeten TDS per baggervak worden vertaald naar in-situ volumes. Dit kan worden gevalideerd met in- en uitpeilingen zoals nu gehanteerd in de aantoonrapportages. Dit levert eveneens in-situ volumes.
- **Grijper**
Bij toepassing van grijper en beunbakken wordt het baggervolume vastgesteld door het registreren van aantal en vulling van de bakken. Vanwege de mechanische verwerking van het sediment is de dichtheid van het sediment hierbij niet heel verschillend van de in-situ dichtheid. Aanbevolen wordt het volume in de beunbakken te bepalen met de m^3 halve bol methode, die in dit geval representatief zijn voor de in-situ m^3 , of direct in TDS met mini MARS. TDS dient via de in-situ dichtheid per baggervak omgerekend te worden naar in-situ m^3 .
- **Ploegen, WID**
Voor de agitatiebaggermethodieken met aparte vaartuigen zoals ploegen en WID wordt het geregistreerde baggervolume bepaald met behulp van in- en uitpeilingen in een aantoonrapportage net als bij agitatiebaggeren. Dit levert eveneens in-situ volumes.

Om de genoemde verbetering om de baggercijfers te gaan uitdrukken in TDS en in-situ volumes zijn de volgende metingen met betrekking tot de sedimentsamenstelling en dichtheid nodig:

- In-situ bodemonderzoek
 - Aanbevolen wordt om van alle baggervakken minimaal 1x per 2 jaar bodemonderzoek uit te voeren via boringen tot 1 m en bodemmonsters van de toplaag. Dit kan meegenomen worden in de reguliere veldmetingen voor de bodemkwaliteit, of dient apart uitgevoerd te worden indien de frequentie van minimaal 1x per 2 jaar voor een specifiek vak niet gehaald wordt.
 - Voor gebieden waarvan de samenstelling varieert over de seizoenen of waar de baggervolumes sterk veranderen dient er frequenter bodemonderzoek uitgevoerd te worden: minimaal 4x per jaar en bij verwachte ruimtelijke gradiënten ook meerdere samples langs een geul. Dit geldt bijvoorbeeld o.m. voor de vaargeul Holwerd-Ameland en de Boontjes.
 - In het labonderzoek dienen de volgende eigenschappen bepaald te worden:
 - In-situ dichtheid, watergehalte, droge dichtheid, porositeit
 - Korrelverdeling, % klei, % slib en eventueel organisch stof gehalte
 - Minerale dichtheid sediment en dichtheid water.
- Beunsamples
 - Aanbevolen wordt om van de beunsamples die de baggeraar al met regelmaat neemt, ook de korrelverdeling en het slibgehalte te laten bepalen en deze te laten rapporteren naar Rijkswaterstaat. De beunsamples moeten representatief zijn voor de lading, dus van het vaste bed in het beun bij een zandlading en van de onderlaag met hogere dichtheid bij een meer slibrijke lading. De aanbevolen minimale frequentie is 1x per 2 jaar een beunsample per baggervak waarin met een sleephopperzuiger gebaggerd wordt en bij voorkeur vindt de monstername plaats tegelijk met de in-situ bodemmonsters.
 - Indien na enkele jaren voldoende bodem- en beunsamples beschikbaar zijn, kan beter inzicht verkregen worden in het eco-morfologisch functioneren van de deelgebieden en de impact van het baggeren. Van de verschillende baggervakken kan worden vastgesteld of ze slibrijk of zandig zijn en eventuele verschuivingen in de tijd hierin kunnen worden opgemerkt.

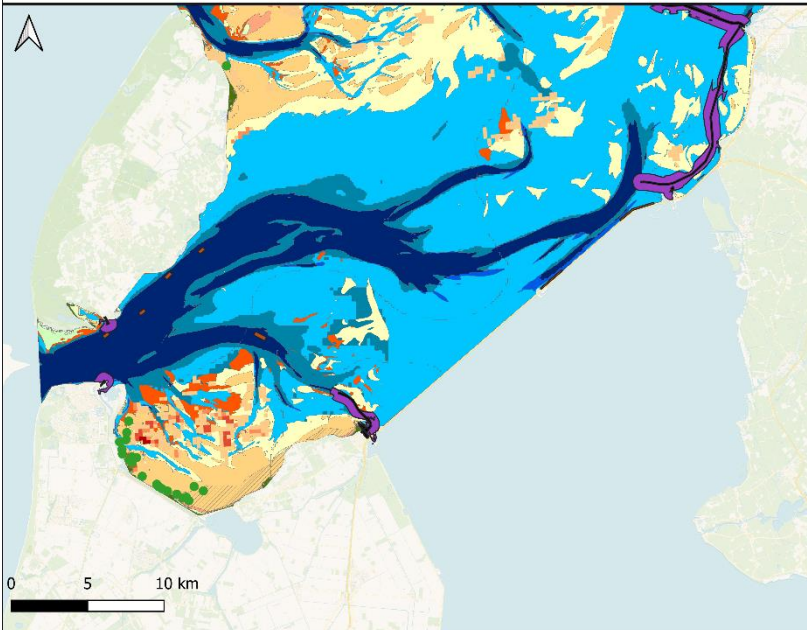
B Potentiële alzijdige invloedsafstand van pluimvorming door baggeren en verspreiden in relatie tot de ecotopenkaart en locaties van mossel-, oesterbanken en zeegras

B.1 Marsdiep



Marsdiep: Injecteren

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode injecteren (WIB) o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstrooming mee te nemen..



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengedata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 500m buffer: Injecteren (WIB) bodempluim ~500-1000 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch enkele uren)

Mossel en oesterbanken

- < 1 %
- 1 - 4 %
- 5 - 7 %
- 8-10
- > 11

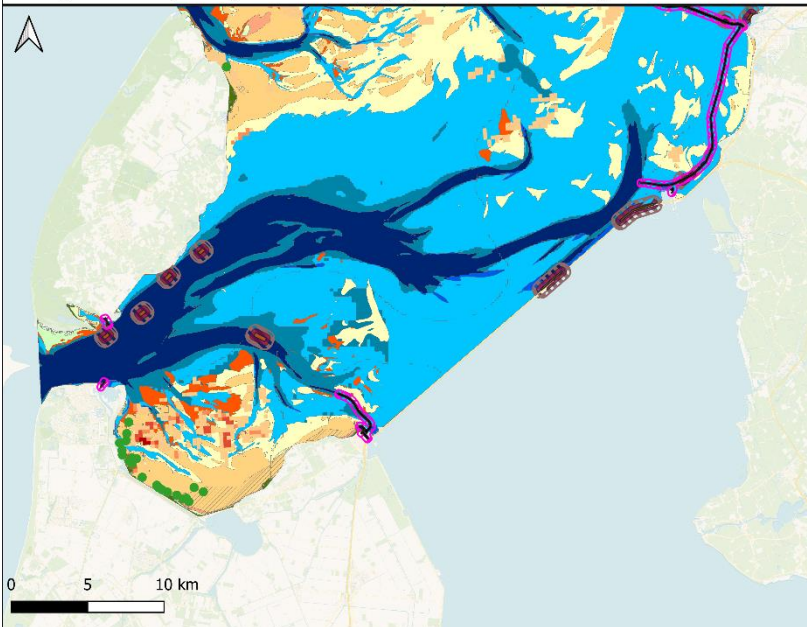
Zeegras locaties

Ecotopenkaart (2017)

- Handsubstraat
- Hoogdynamisch diep sublitoraal
- Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
- Middeldynamisch diep sublitoraal
- Middeldynamisch ondiep sublitoraal
- Laagdynamisch diep sublitoraal
- Laagdynamisch ondiep sublitoraal
- Hoogdynamisch litoraal
- Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
- Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Hoogdynamisch supralitoraal
- Laagdynamisch supralitoraal
- Pionierzone
- Kwelder of Schor
- Duin
- Overig

Marsdiep: Knijpen

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode knijpen o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstrooming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengedata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- Mossel en oesterbanken

- < 1 %
- 1 - 4 %
- 5 - 7 %
- 8-10
- > 11

Zeegras locaties

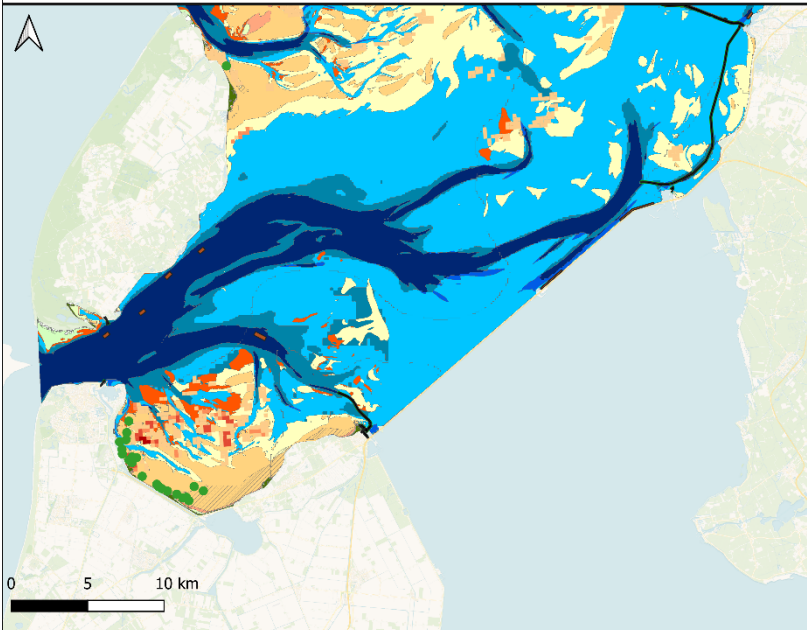
Ecotopenkaart (2017)

- Handsubstraat
- Hoogdynamisch diep sublitoraal
- Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
- Middeldynamisch diep sublitoraal
- Middeldynamisch ondiep sublitoraal
- Laagdynamisch diep sublitoraal
- Laagdynamisch ondiep sublitoraal
- Hoogdynamisch litoraal
- Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
- Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Hoogdynamisch supralitoraal
- Laagdynamisch supralitoraal
- Pionierzone
- Kwelder of Schor
- Duin
- Overig

- 500m: Storten na knijpen bodempluim ~500-1000 mg/l tijdens storten (tijdsduur typisch 10 minuten)
- 250m buffer: Storten na knijpen: sedimentatie bodem
- 200m buffer: Knijpen vertroebeling gehele waterkolom ~10-100 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch enkele uren)

Marsdiep: Ploegen

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode ploegen o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstrooming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben.



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengedata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 50m buffer: Ploegen bodempluim ~10-100 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch enkele uren)

Mossel en oesterbanken

- < 1 %
- 1 - 4 %
- 5 - 7 %
- 8-10
- > 11

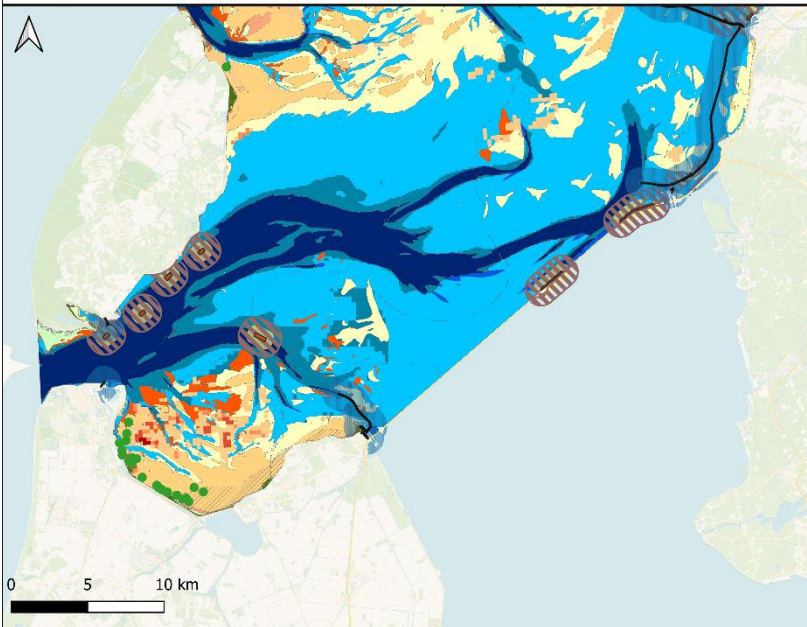
Zeegras locaties

Ecotopenkaart (2017)

- Handsubtraat
- Hoogdynamisch diep sublitoraal
- Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
- Middeldynamisch diep sublitoraal
- Middeldynamisch ondiep sublitoraal
- Laagdynamisch diep sublitoraal
- Laagdynamisch ondiep sublitoraal
- Hoogdynamisch litoraal
- Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
- Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Hoogdynamisch supralitoraal
- Pionierzone
- Kwelder of Schor
- Duin
- Overig

Marsdiep: TSHD

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode TSHD o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstrooming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben.



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengedata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 500 m buffer: TSHD sedimentatie bodem

- 1 km buffer: TSHD bodempluim ~500-1000 mg/l tijdens storten (tijdsduur typisch 10 minuten)
- 1 km buffer: TSHD oppervlaktepluim ~10-100 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch een uur)

- < 1 %
- 1 - 4 %
- 5 - 7 %
- 8-10
- > 11

Mossel en oesterbanken

- < 1 %
- 1 - 4 %
- 5 - 7 %
- 8-10
- > 11

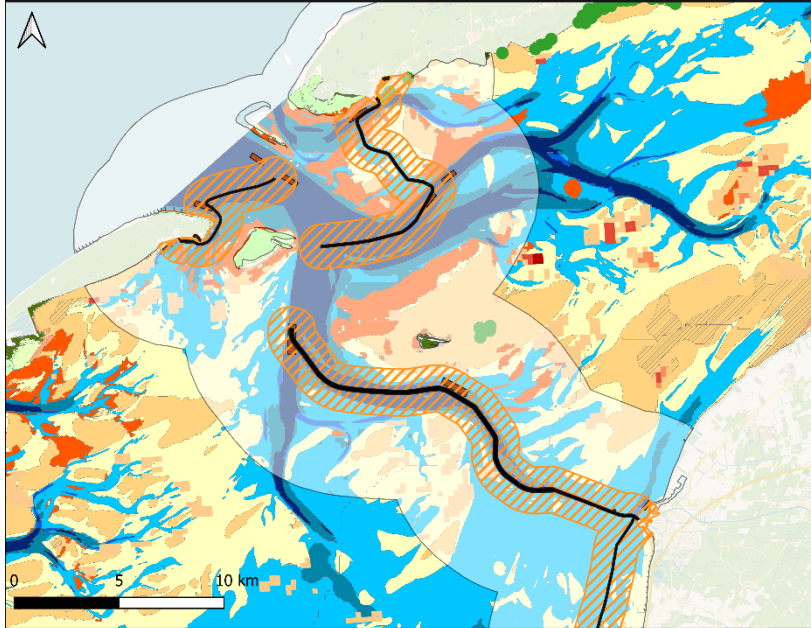
Zeegras locaties

Ecotopenkaart (2017)

- Handsubtraat
- Hoogdynamisch diep sublitoraal
- Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
- Middeldynamisch diep sublitoraal
- Middeldynamisch ondiep sublitoraal
- Laagdynamisch diep sublitoraal
- Laagdynamisch ondiep sublitoraal
- Hoogdynamisch litoraal
- Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
- Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Hoogdynamisch supralitoraal
- Pionierzone
- Kwelder of Schor
- Duin
- Overig

Vlie: agiteren

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode agiteren o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstrooming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben.



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengoodata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 500 m buffer: TSHD sedimentatie bodem
- 1 km buffer: agiteren vertroebeling gehele waterkolom ~500-1000 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch enkele uren)
- 5 km buffer: agiteren vertroebeling gehele waterkolom ~100 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch enkele uren)

Mossel en oesterbanken

- < 1 %
- 1 - 4 %
- 5 - 7 %
- 8-10
- > 11

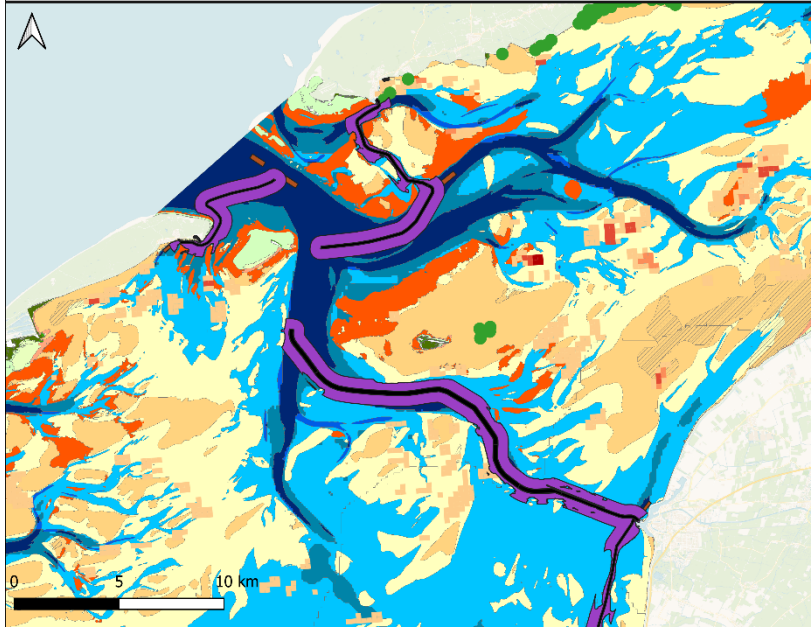
Zeegras locaties

Ecotopenkaart (2017)

- Hardsubstraat
- Hoogdynamisch diep sublitoraal
- Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
- Middeldynamisch diep sublitoraal
- Middeldynamisch ondiep sublitoraal
- Laagdynamisch diep sublitoraal
- Laagdynamisch ondiep sublitoraal
- Hoogdynamisch litoraal
- Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
- Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Hoogdynamisch supralitoraal
- Laagdynamisch supralitoraal
- Pionierzone
- Kwelder of Schor
- Duin
- Overig

Vlie: Injecteren

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode injecteren (WIB) o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstrooming mee te nemen..



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengoodata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 500m buffer: Injecteren (WIB) bodempluim ~500-1000 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch enkele uren)

Mossel en oesterbanken

- < 1 %
- 1 - 4 %
- 5 - 7 %
- 8-10
- > 11

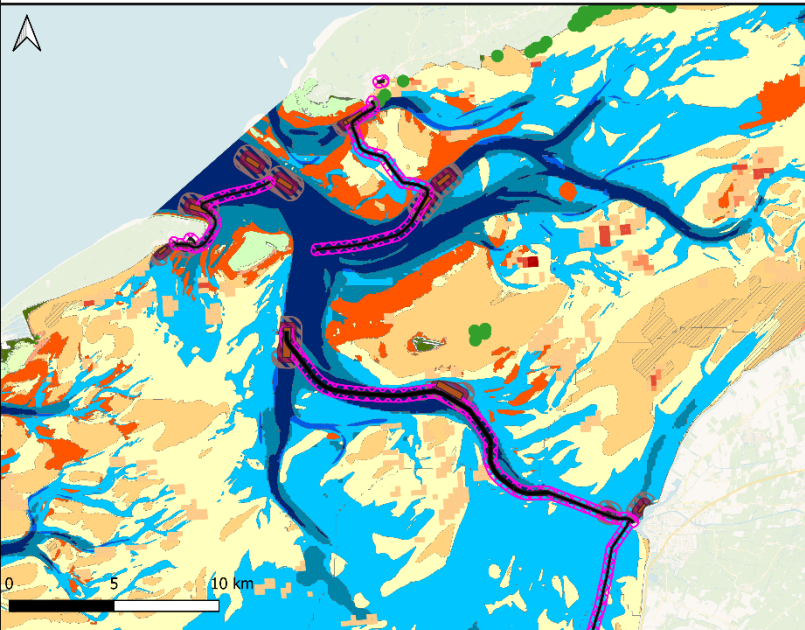
Zeegras locaties

Ecotopenkaart (2017)

- Hardsubstraat
- Hoogdynamisch diep sublitoraal
- Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
- Middeldynamisch diep sublitoraal
- Middeldynamisch ondiep sublitoraal
- Laagdynamisch diep sublitoraal
- Laagdynamisch ondiep sublitoraal
- Hoogdynamisch litoraal
- Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
- Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Hoogdynamisch supralitoraal
- Laagdynamisch supralitoraal
- Pionierzone
- Kwelder of Schor
- Duin
- Overig

Vlie: Knijpen

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode knijpen o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstrooming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengodata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
 - Verspreidingsvakken
- Mossel en oesterbanken
- < 1 %
 - 1 - 4 %
 - 5 - 7 %
 - 8-10
 - > 11

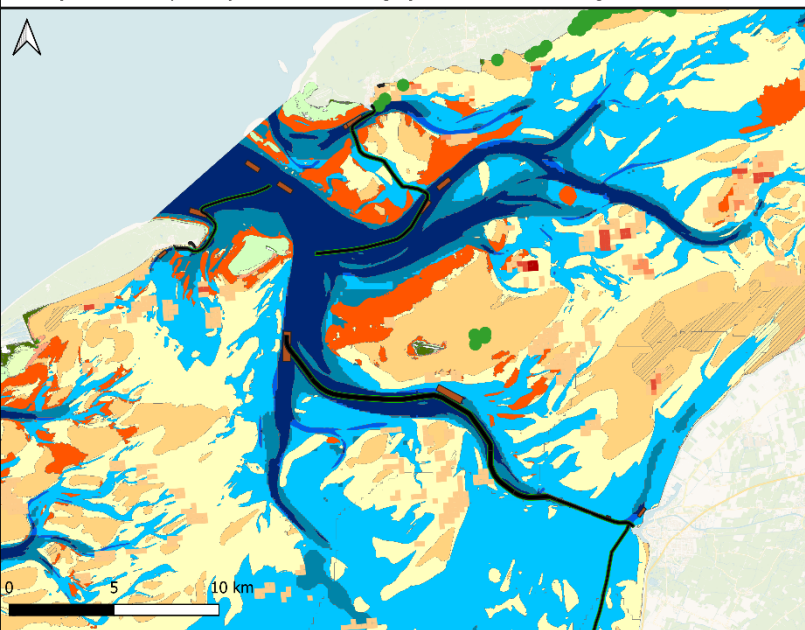
Zeegras locaties

Ecotopenkaart (2017)

- Hardsubstraat
 - Hoogdynamisch diep sublitoraal
 - Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
 - Middeldynamisch diep sublitoraal
 - Middeldynamisch ondiep sublitoraal
 - Laagdynamisch diep sublitoraal
 - Laagdynamisch ondiep sublitoraal
 - Hoogdynamisch litoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
 - Hoogdynamisch supralitoraal
 - Laagdynamisch supralitoraal
 - Pionierzone
 - Kwelder of Schor
 - Duin
 - Oeverig
- 500m: Storten na knijpen bodempluim ~500-1000 mg/l tijdens storten (tijdsduur typisch 10 minuten)
 - 250m buffer: Storten na knijpen: sedimentatie bodem
 - 200m buffer: Knijpen vertroebeling gehele waterkolom ~10-100 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch enkele uren)

Vlie: Ploegen

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode ploegen o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstrooming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben.



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengodata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 50m buffer: Ploegen bodempluim ~10-100 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch enkele uren)

Mossel en oesterbanken

- < 1 %
- 1 - 4 %
- 5 - 7 %
- 8-10
- > 11

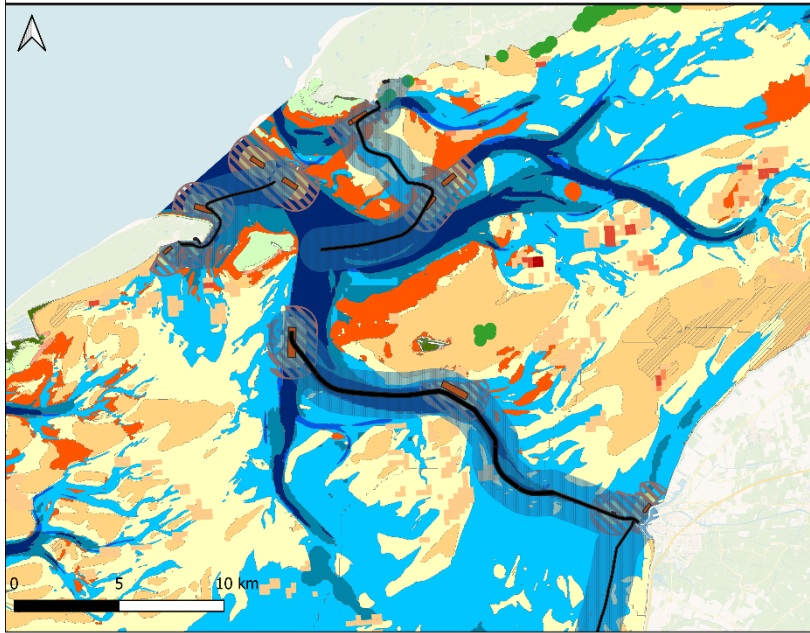
Zeegras locaties

Ecotopenkaart (2017)

- Hardsubstraat
- Hoogdynamisch diep sublitoraal
- Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
- Middeldynamisch diep sublitoraal
- Middeldynamisch ondiep sublitoraal
- Laagdynamisch diep sublitoraal
- Laagdynamisch ondiep sublitoraal
- Hoogdynamisch litoraal
- Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
- Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Hoogdynamisch supralitoraal
- Laagdynamisch supralitoraal
- Pionierzone
- Kwelder of Schor
- Duin
- Oeverig

Vlie: TSHD

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode TSHD o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstrooming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben.



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengedata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

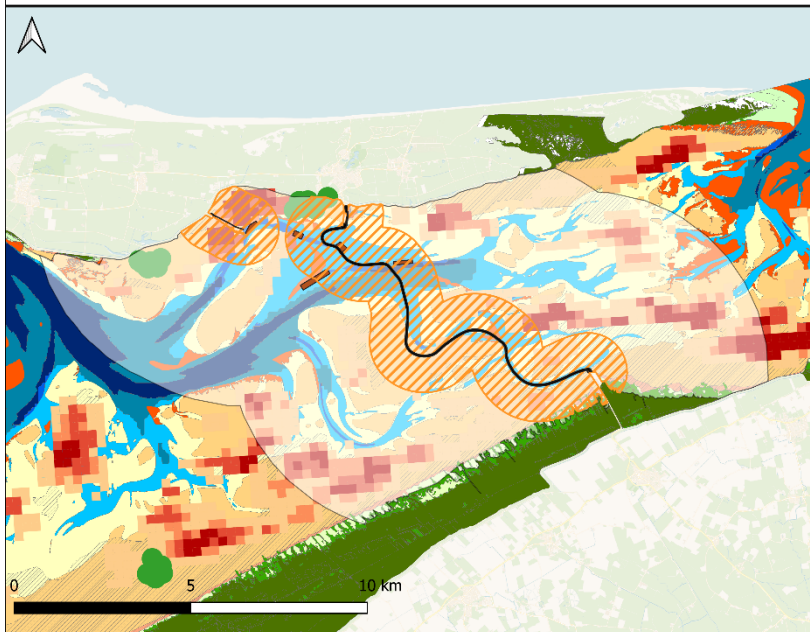
Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 500 m buffer: TSHD sedimentatie bodem
- ▨ 1 km buffer: TSHD bodempluim ~500-1000 mg/l tijdens storten (tijdsduur typisch 10 minuten)
- 1 km buffer: TSHD oppervlaktepluim ~10-100 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch een uur)
- Mossel en oesterbanken
 - < 1 %
 - 1 - 4 %
 - 5 - 7 %
 - 8-10
 - > 11
- Zeegras locaties
- Ecotopenkaart (2017)
 - Handelsstraat
 - Hoogdynamisch diep sublitoraal
 - Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
 - Middeldynamisch diep sublitoraal
 - Middeldynamisch ondiep sublitoraal
 - Laagdynamisch diep sublitoraal
 - Laagdynamisch ondiep sublitoraal
 - Hoogdynamisch litoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch middellitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch middellitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch middellitoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
 - Hoogdynamisch supralitoraal
 - Laagdynamisch supralitoraal
 - Pionierzone
 - Kwelder of Schor
 - Duin
 - Overig

B.3 Borndiep

Borndiep: agiteren

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode agiteren o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstrooming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben.



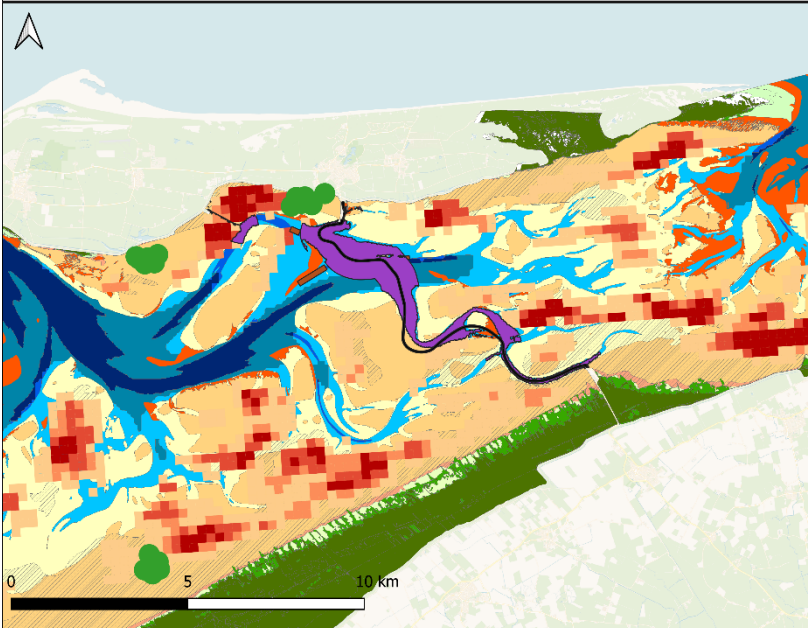
Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengedata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 500 m buffer: TSHD sedimentatie bodem
- ▨ 1 km buffer: agiteren vertroebeling gehele waterkolom ~500-1000 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch enkele uren)
- 5 km buffer: agiteren vertroebeling gehele waterkolom ~100 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch enkele uren)
- Mossel en oesterbanken
 - < 1 %
 - 1 - 4 %
 - 5 - 7 %
 - 8-10
 - > 11
- Zeegras locaties
- Ecotopenkaart (2017)
 - Handelsstraat
 - Hoogdynamisch diep sublitoraal
 - Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
 - Middeldynamisch diep sublitoraal
 - Middeldynamisch ondiep sublitoraal
 - Laagdynamisch diep sublitoraal
 - Laagdynamisch ondiep sublitoraal
 - Hoogdynamisch litoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch middellitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch middellitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch middellitoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
 - Hoogdynamisch supralitoraal
 - Laagdynamisch supralitoraal
 - Pionierzone
 - Kwelder of Schor
 - Duin
 - Overig

Borndiep: Injecteren

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode injecteren (WIB) o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstrooming mee te nemen..



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengedata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 500m buffer: Injecteren (WIB) bodempluim ~500-1000 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch enkele uren)

Mossel en oesterbanken

- < 1 %
- 1 - 4 %
- 5 - 7 %
- 8-10
- > 11

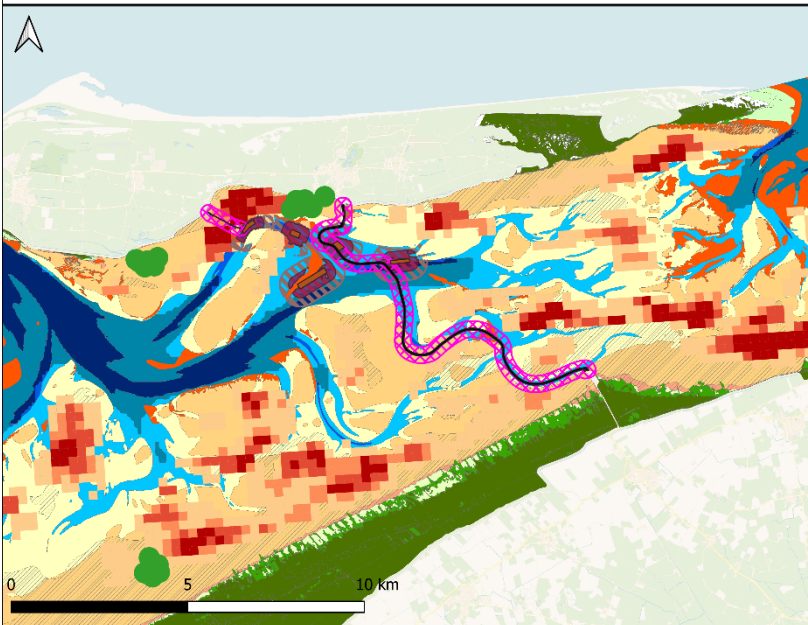
Zeegras locaties

Ecotopenkaart (2017)

- Handsubtraal
- Hoogdynamisch diep sublitoraal
- Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
- Middeldynamisch diep sublitoraal
- Middeldynamisch ondiep sublitoraal
- Laagdynamisch diep sublitoraal
- Laagdynamisch ondiep sublitoraal
- Hoogdynamisch litoraal
- Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
- Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Hoogdynamisch supralitoraal
- Laagdynamisch supralitoraal
- Pionierzone
- Kwelder of Schor
- Duin
- Overig

Borndiep: Knijpen

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode knijpen o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstrooming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengedata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 500m: Storten na knijpen bodempluim ~500-1000 mg/l tijdens storten (tijdsduur typisch 10 minuten)
- 250m buffer: Storten na knijpen: sedimentatie bodem
- 200m buffer: Knijpen vertroebeling gehele waterkolom ~10-100 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch enkele uren)

Mossel en oesterbanken

- < 1 %
- 1 - 4 %
- 5 - 7 %
- 8-10
- > 11

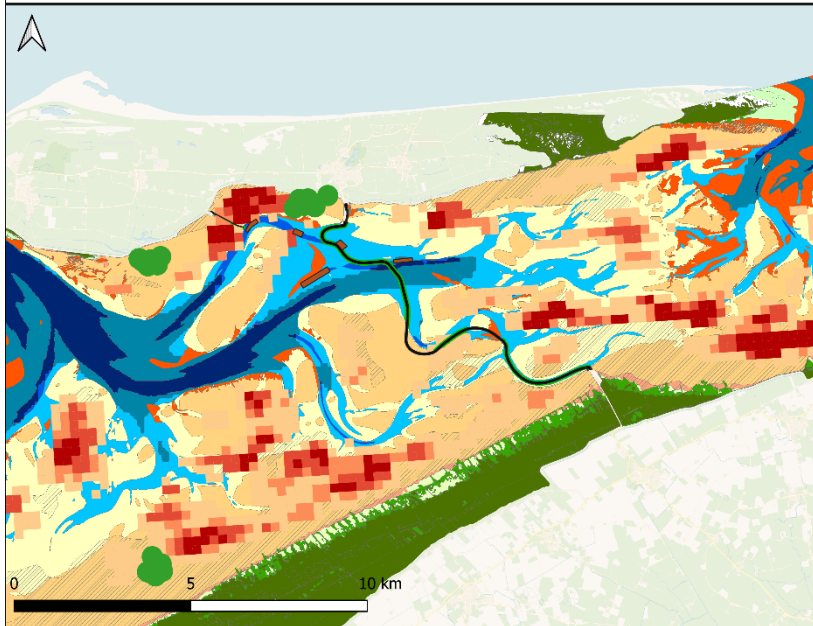
Zeegras locaties

Ecotopenkaart (2017)

- Handsubtraal
- Hoogdynamisch diep sublitoraal
- Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
- Middeldynamisch diep sublitoraal
- Middeldynamisch ondiep sublitoraal
- Laagdynamisch diep sublitoraal
- Laagdynamisch ondiep sublitoraal
- Hoogdynamisch litoraal
- Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
- Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Hoogdynamisch supralitoraal
- Laagdynamisch supralitoraal
- Pionierzone
- Kwelder of Schor
- Duin
- Overig

Borndiep: Ploegen

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode ploegen o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstroming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben.



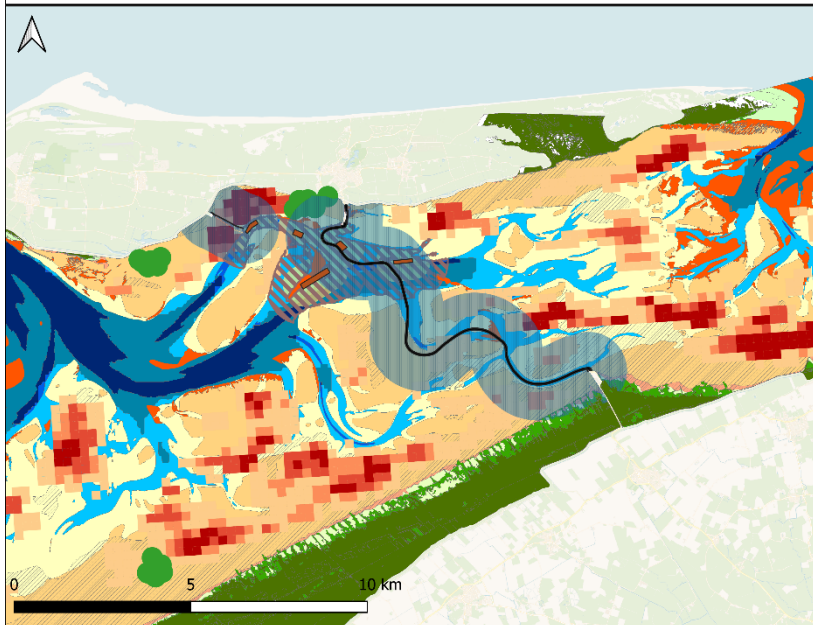
Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengedata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 50m buffer: Ploegen bodempluim
~10-100 mg/l tijdens baggeren
(tijdsduur typisch enkele uren)
- Mossel en oesterbanken
 - < 1 %
 - 1 - 4 %
 - 5 - 7 %
 - 8-10
 - > 11
- Zeegras locaties
- Ecotopenkaart (2017)
 - Hardebottel
 - Hoogdynamisch diep sublitoraal
 - Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
 - Middeldynamisch diep sublitoraal
 - Middeldynamisch ondiep sublitoraal
 - Laagdynamisch diep sublitoraal
 - Laagdynamisch ondiep sublitoraal
 - Hoogdynamisch litoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
 - Hoogdynamisch supralitoraal
 - Pleurzone
 - Kwelder of Schor
 - Duin
 - Overig

Borndiep: TSHD

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode TSHD o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstroming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben.



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengedata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

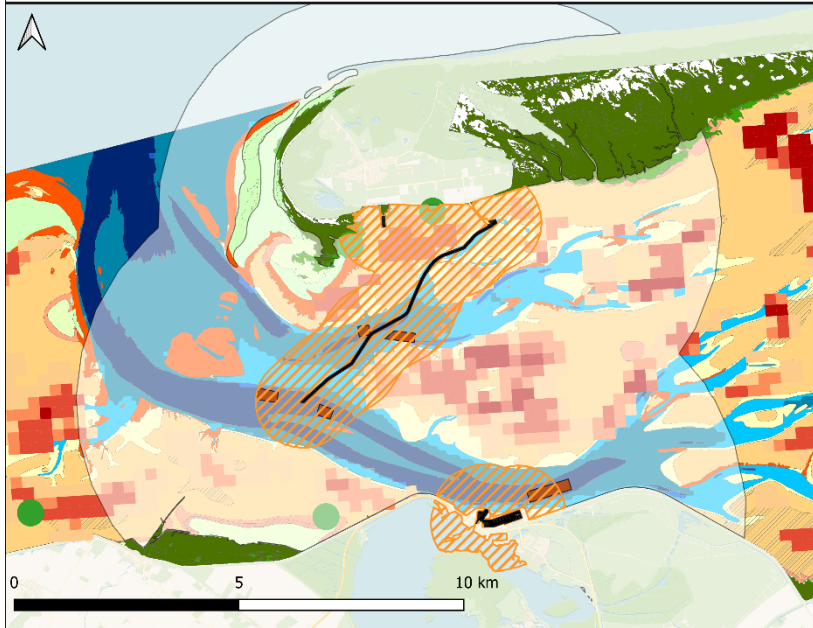
Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 500 m buffer: TSHD sedimentatie bodem
- 1 km buffer: TSHD bodempluim
~500-1000 mg/l tijdens storten
(tijdsduur typisch 10 minuten)
- 1 km buffer: TSHD oppervlaktepluim
~10-100 mg/l tijdens baggeren
(tijdsduur typisch een uur)
- Mossel en oesterbanken
 - < 1 %
 - 1 - 4 %
 - 5 - 7 %
 - 8-10
 - > 11
- Zeegras locaties
- Ecotopenkaart (2017)
 - Hardebottel
 - Hoogdynamisch diep sublitoraal
 - Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
 - Middeldynamisch diep sublitoraal
 - Middeldynamisch ondiep sublitoraal
 - Laagdynamisch diep sublitoraal
 - Laagdynamisch ondiep sublitoraal
 - Hoogdynamisch litoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
 - Hoogdynamisch supralitoraal
 - Pleurzone
 - Kwelder of Schor
 - Duin
 - Overig

B.4 Friesche Zeegat

Friesche Zeegat: agiteren

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode agiteren o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstrooming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben.



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengedata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 500 m buffer: TSHD sedimentatie bodem
- ▨ 1 km buffer: agiteren vertroebeling gehele waterkolom ~500-1000 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch enkele uren)
- 5 km buffer: agiteren vertroebeling gehele waterkolom ~100 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch enkele uren)

Mossel en oesterbanken

- < 1 %
- 1 - 4 %
- 5 - 7 %
- 8-10
- > 11

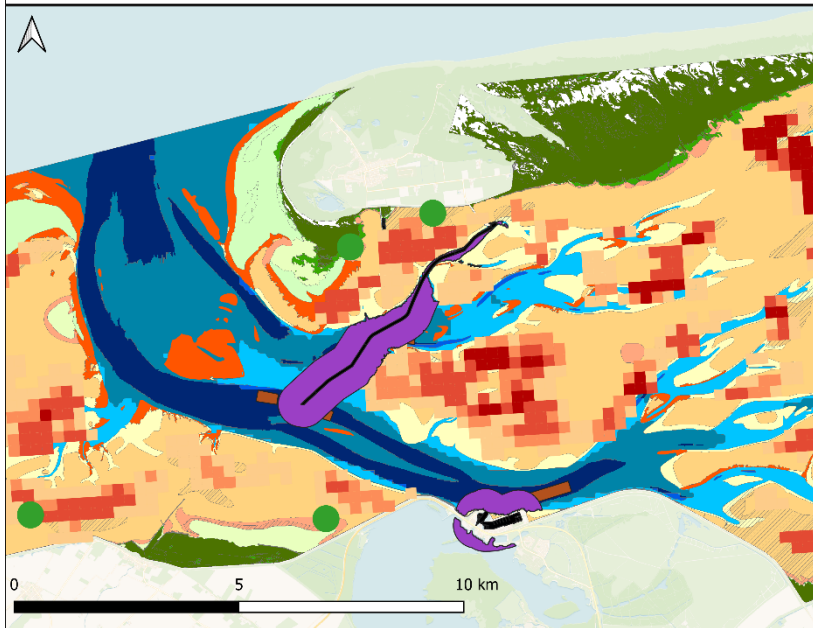
Zeegras locaties

Ecotopenkaart (2017)

- Hardsubstraat
- Hoogdynamisch diep sublitoraal
- Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
- Middeldynamisch diep sublitoraal
- Middeldynamisch ondiep sublitoraal
- Laagdynamisch diep sublitoraal
- Laagdynamisch ondiep sublitoraal
- Hoogdynamisch litoraal
- Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
- Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Hoogdynamisch supralitoraal
- Laagdynamisch supralitoraal
- Pionierzone
- Kweelder of Schor
- Duin
- Overig

Friesche Zeegat: Injecteren

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode injecteren (WIB) o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstrooming mee te nemen..



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengedata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 500m buffer: Injecteren (WIB) bodempluim ~500-1000 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch enkele uren)

Mossel en oesterbanken

- < 1 %
- 1 - 4 %
- 5 - 7 %
- 8-10
- > 11

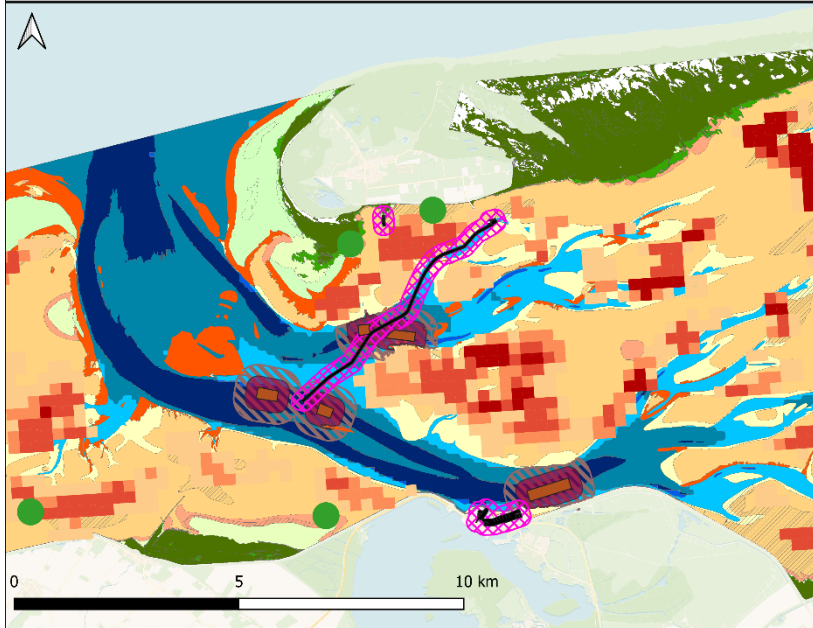
Zeegras locaties

Ecotopenkaart (2017)

- Hardsubstraat
- Hoogdynamisch diep sublitoraal
- Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
- Middeldynamisch diep sublitoraal
- Middeldynamisch ondiep sublitoraal
- Laagdynamisch diep sublitoraal
- Laagdynamisch ondiep sublitoraal
- Hoogdynamisch litoraal
- Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
- Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Hoogdynamisch supralitoraal
- Laagdynamisch supralitoraal
- Pionierzone
- Kweelder of Schor
- Duin
- Overig

Friesche Zeegat: Knijpen

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode knijpen o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstrooming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengedata.wm.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- Mossel en oesterbanken
 - < 1 %
 - 1 - 4 %
 - 5 - 7 %
 - 8-10
 - > 11
- Zeegras locaties

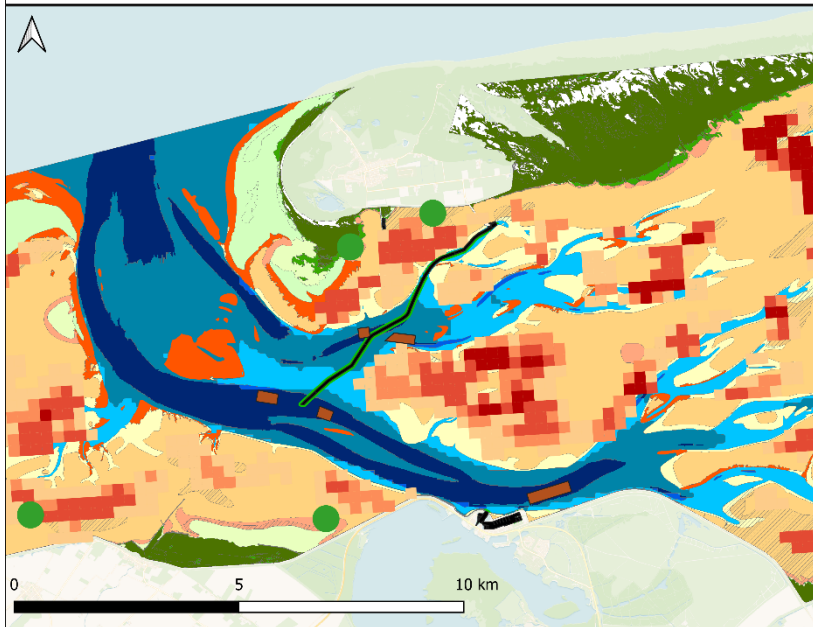
Ecotopenkaart (2017)

- Hardsubstraat
- Hoogdynamisch diep sublitoraal
- Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
- Middeldynamisch diep sublitoraal
- Middeldynamisch ondiep sublitoraal
- Laagdynamisch diep sublitoraal
- Laagdynamisch ondiep sublitoraal
- Hoogdynamisch litoraal
- Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
- Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Hoogdynamisch supralitoraal
- Laagdynamisch supralitoraal
- Pionierzone
- Kwelder of Schor
- Duin
- Oeverig

- 500m: Storten na knijpen bodempluim ~500-1000 mg/l tijdens storten (tijdsduur typisch 10 minuten)
- 250m buffer: Storten na knijpen: sedimentatie bodem
- 200m buffer: Knijpen vertroebeling gehele waterkolom ~10-100 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch enkele uren)

Friesche Zeegat: Ploegen

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode ploegen o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstrooming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben.



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengedata.wm.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

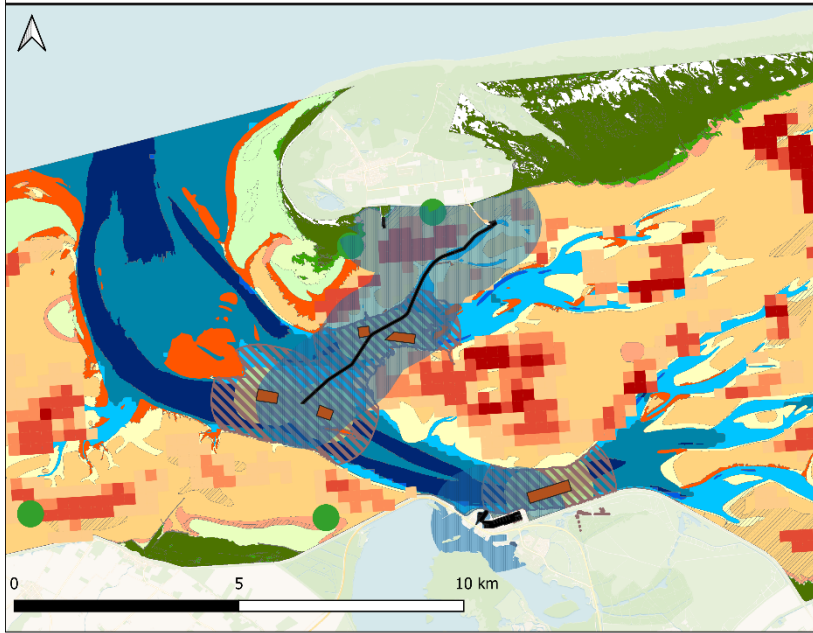
- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 50m buffer: Ploegen bodempluim ~10-100 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch enkele uren)
- Mossel en oesterbanken
 - < 1 %
 - 1 - 4 %
 - 5 - 7 %
 - 8-10
 - > 11
- Zeegras locaties

Ecotopenkaart (2017)

- Hardsubstraat
- Hoogdynamisch diep sublitoraal
- Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
- Middeldynamisch diep sublitoraal
- Middeldynamisch ondiep sublitoraal
- Laagdynamisch diep sublitoraal
- Laagdynamisch ondiep sublitoraal
- Hoogdynamisch litoraal
- Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
- Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
- Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
- Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
- Hoogdynamisch supralitoraal
- Laagdynamisch supralitoraal
- Pionierzone
- Kwelder of Schor
- Duin
- Oeverig

Friesche Zeegat: TSHD

Potentiele alzijdige invloedsafstand baggermethode TSHD o.b.v. expert judgement zonder individuele baggeroperaties en lokale sturende invloeden van bodemligging en getijstroming mee te nemen – in werkelijkheid zal een pluim bijvoorbeeld door het getij slechts lokaal en richting één kant invloed hebben.



Bron schelpenbanken en zeegras: <https://opengedata.wmr.wur.nl/geoserver/>, ecotopenkaart: https://geo.rijkswaterstaat.nl/arcgis/rest/services/GDR/ecotopen_zout/MapServer

Legenda

- Baggervakken
- Verspreidingsvakken
- 500 m buffer: TSHD sedimentatie bodem
- 1 km buffer: TSHD bodempluim ~500-1000 mg/l tijdens storten (tijdsduur typisch 10 minuten)
- 1 km buffer: TSHD oppervlaktepluim ~10-100 mg/l tijdens baggeren (tijdsduur typisch een uur)
- Mossel en oesterbanken
 - < 1 %
 - 1 - 4 %
 - 5 - 7 %
 - 8-10
 - > 11
- Zeegras locaties
- Ecotopenkaart (2017)
 - Hiendubtraal
 - Hoogdynamisch diep sublitoraal
 - Hoogdynamisch ondiep sublitoraal
 - Middeldynamisch diep sublitoraal
 - Middeldynamisch ondiep sublitoraal
 - Laagdynamisch diep sublitoraal
 - Laagdynamisch ondiep sublitoraal
 - Hoogdynamisch litoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch laaglitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch laaglitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch laaglitoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch middenlitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch middenlitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch middenlitoraal
 - Fijnzandig laagdynamisch hooglitoraal
 - Slibrijk laagdynamisch hooglitoraal
 - Grofzandig laagdynamisch hooglitoraal
 - Hoogdynamisch supralitoraal
 - Laagdynamisch supralitoraal
 - Prielzone
 - Kwelder of Schor
 - Duin
 - Overig

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

Deltares

www.deltares.nl