

Ecosysteemgericht baggeren

Literatuuronderzoek t.b.v. beantwoording kennisvragen

Rapport Fase 2



waddenacademie



Ecosystemgericht baggeren

Literatuuronderzoek t.b.v. beantwoording kennisvragen

Rapport Fase 2



Jelmer Cleveringa
Senior Advisor Coastal
Morphodynamics

Colofon

Auteurs

Jelmer Cleveringa | Arcadis
Uitgevoerd in opdracht van de Waddenacademie
Projectnummer Arcadis 30194137

Fotografie

Cover: Rijkswaterstaat

Grafisch ontwerp

BW H ontwerpers

ISBN

9789490289744

Rapport 2024-02

Gepubliceerd door Waddenacademie

© Waddenacademie april 2024

Contactpersoon Waddenacademie

Piet Hoekstra, portefeuillehouder Geowetenschap en Klimaat
T 058 233 90 30
secretariaat@waddenacademie.nl | www.waddenacademie.nl

Citatie

Cleveringa, J. (2024) Ecosysteemgericht baggeren.
Fase 2: Literatuuronderzoek t.b.v. beantwoording kennisvragen
Rapport 2024-02, Waddenacademie, Leeuwarden

De basisfinanciering van de Waddenacademie is afkomstig van het Waddenfonds.

Inhoudsopgave

1	INLEIDING	6
	1 Inleiding	6
	1.1 Introductie en context	6
	1.2 Doelstelling	7
	1.3 Aanpak en leeswijzer	8
2	SEDIMENTATIE IN VAARGEULEN EN HAVENS	16
	2.1 Inleiding	16
	2.2 Indeling in vier typen gebieden waar sedimentatie optreedt	16
	2.2.1 Havens	16
	2.2.2 Drempelgeul	18
	2.2.3 Geulstaarten	20
	2.2.4 Overige geulen	20
	2.3 Samenhang met de fysische kenmerken en processen	22
	2.4 Ruimtelijke verdeling van de ecologische kenmerken	26
3	BAGGEREN EN VERSPREIDEN IN DE WADDENZEE	32
	3.1 Inleiding	32
	3.2 Waarom (voor wie, welk doel)?	33
	3.3 Waar (geografische positie, afbakening systeem, en habitats)?	38
	3.4 Wanneer (criteria)?	44
	3.5 Hoe (methodieken, technologie)?	45
	3.6 Hoeveel (eenheid)?	50
	3.7 Wat (keuze verspreidingslocaties)?	55
	3.8 Wanneer (jaar, seizoen, tij)?	60
	3.9 Ervaringen in Duitsland	62
4	MORFOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN	64
	4.1 Inleiding	64
	4.2 Reeds opgetreden morfologische ontwikkelingen	64
	4.3 Invloed van baggeren en verspreiden op de morfologie	65
	4.4 Toekomstige morfologische ontwikkelingen	70

5	ECOLOGISCHE EFFECTEN VAN BAGGEREN EN VERSPREIDEN	73
	5.1 Inleiding	73
	5.2 Effectenketens	74
	5.3 Bagger- en verspreidingstechnieken en hun effecten	79
	5.4 Omvang van effecten	81
	5.4.1 Omvang van de effecten in relatie tot de locatie en de seizoenen	82
	5.4.2 Modellerings van sedimentconcentratie in de waterkolom en sedimentatie	84
	5.5 Beoordeling van de effecten op de ecologie	87
	5.5.1 Veranderingen in beoordelingen	90
6	ONTTREKKEN VAN SLIB AAN DE WADDENZEE	92
	6.1 Inleiding	92
	6.2 Reductie van de sedimentatie	93
	6.3 Gevolgen van het onttrekken van slib voor de ecologie en de morfologie	94
	6.4 Maximering van onttrekkingen van slib	95
	6.5 Andere aspecten	98
7	REDUCTIE VAN HET BAGGERBEZWAAR EN MITIGATIE VAN DE EFFECTEN	99
	7.1 Inleiding	99
	7.2 Reductie van de sedimentatie	100
	7.3 Aanpassingen aan de wijze van baggeren	105
	7.4 Beoordeling van aanpassingen	109
8	OVERZICHT VAN DE KENNISLEEMTES	112
9	REFERENTIES	115
	BIJLAGEN	126

1

INLEIDING

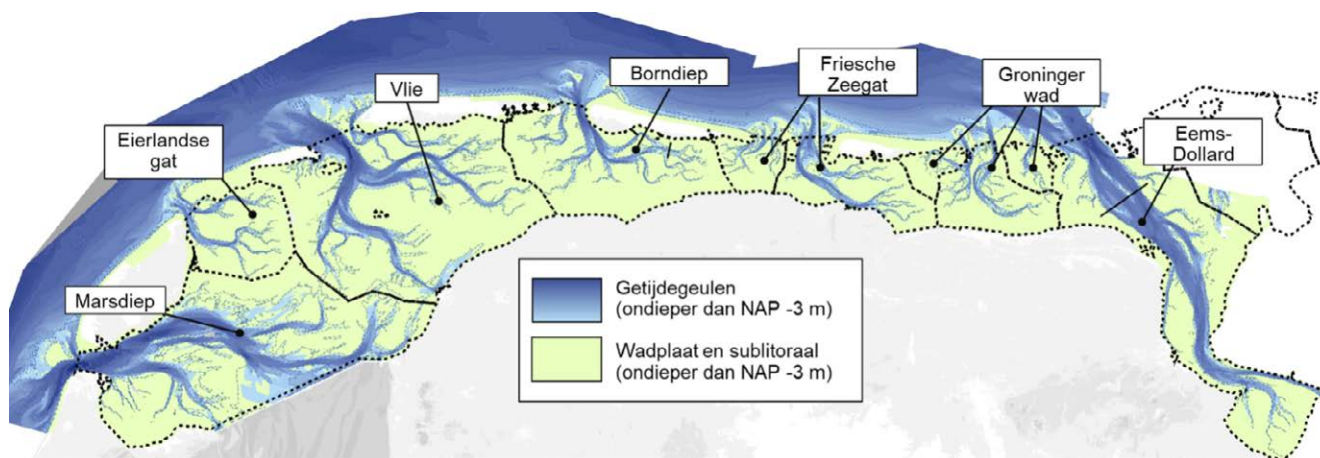
1.1

Introductie en context

Het onderhoud van de vaarwegen en de havens grenzend aan het Natura 2000 gebied ‘Waddenzee’ (dat ook de Eems-Dollard omvat, Figuur 1-1) door baggeren en het verspreiden van de baggerspecie staat in toenemende mate onder druk. Aan de ene kant is de omvang van de baggerwerkzaamheden gaandeweg toegenomen door een combinatie van menselijke ingrepen (verdieping van vaarwegen en uitbreiding van havens), autonome ontwikkelingen van de Waddenzee (afname van het kombergingsvolume en daarmee afname van diepte en breedte van geulen) en technische ontwikkelingen van het baggermateriael. Aan de andere kant is sprake van strikte beoordelingskaders vanwege de Wet Natuurbescherming (waar Nederland de Europese habitat- en vogelrichtlijnen heeft verankerd) en de Waterwet en het Besluit bodemkwaliteit (waar de kwaliteitsaspecten van water en bodem worden getoetst, die onder ander voortkomen uit de Europese kader-richtlijn Water) ten aanzien van de gevolgen voor ecologie en milieu van het baggeren en verspreiden.

In het Uitvoeringsprogramma (2021-2026) behorende bij de Agenda voor het Waddengebied 2050 (Omgevingsberaad Waddengebied en Bestuurlijk overleg Waddengebied, 2023.) is als onderwerp “Ecosysteemgericht baggeren” opgenomen. Daarmee wordt beoogd om de gevolgen van het baggeren en verspreiden te reduceren en daarmee natuurherstel te bevorderen. Daarbij dient de bereikbaarheid van de havens en de eilanden wel op orde te blijven. In dit kader wordt door de Waddenacademie een nadere verkenning van de problematiek uitgevoerd in vier fasen:

1. Probleemanalyse: vaststellen en analyse van ieders vraagstukken en knelpunten rond ecosysteemgericht baggeren. Stap 1 heeft vooral plaatsgevonden op basis van interviews. Deze stap is uitgevoerd en gerapporteerd in Hoekstra et al. (2023). De resultaten zijn gebruikt in de volgende stap;
2. Inventarisatie van bestaande kennis en inzichten en lopende projecten/(kennis) programma’s op het snijvlak van morfologie / ecologie / baggeren. Dit betekent dat een confrontatie plaatsvindt van de kennisvragen die zijn opgehaald in fase 1 met hetgeen reeds bekend is uit de literatuur (memo’s, rapporten en publicaties);
3. Vaststellen van eventuele kennisleemtes en hoe/waar deze geadresseerd kunnen worden; dit leidt tot een “Kennisagenda Sedimenthuishouding Waddenzee” met belangrijke onderzoeksvragen voor de (naaste) toekomst;
4. Uitvoering: kennisleemten invullen waar nodig voor besluitvorming over oplossingsrichtingen, inclusief een beschrijving van tijdspad (wat moet wanneer bekend zijn), aanpak en (een inschatting) van de kosten.



Figuur 1-1 Overzichtskartaal van de kombergingsgebieden van de Waddenzee en de Eems-Dollard.

Het voorliggende rapport is het resultaat van de tweede fase van het project, waarin kennisvragen (fase 1) zo goed en compleet als mogelijk zijn beantwoord. De kennisvragen omvatten een breed scala aan onderwerpen gerelateerd aan het baggeren en verspreiden van sediment; het varieert van baggertechnieken, bevaarbaarheid, sedimentdynamiek, sediment- en waterkwaliteit tot en met ecologische gevolgen. In het proces dat volgt na het opstellen van deze rapportage (fase 3) worden de onderzoeksvragen en -aanpak geformuleerd, waarmee de belangrijke kennisleemtes rond ecosysteemgericht baggeren ingevuld gaan worden.

1.2

Doelstelling

De doelstelling van dit rapport is om een overzicht te presenteren van de actuele kennis op het gebied van “Ecosysteemgericht baggeren”. Het overzicht van de kennisvragen dat is opgesteld in fase 1 is hierbij leidend. Bij het opstellen van het rapport is gaandeweg duidelijk geworden dat de kennis, die nodig is voor het beantwoorden van de kennisvragen is in te delen in een aantal thema’s met bijbehorende vragen, namelijk:

- Sedimentatie in vaargeulen en havens: Waar vindt de sedimentatie van zand en slib plaats, onder welke omstandigheden gebeurt dat en met welke snelheden en wat betekent dat voor het baggeren?
- Bagger- en verspreidingstechnieken: Welke methodes zijn beschikbaar voor het baggeren? Welke methode wordt waar ingezet en waarom?
- Bagger- en verspreidingshoeveelheden: Waar worden welke hoeveelheden zand en slib gebaggerd en verspreid?
- Morfologische ontwikkelingen: Hoe is de Waddenzee veranderd en hoe gaat de Waddenzee naar verwachting nog veranderen en wat is de impact (geweest) op sedimentatie, baggeren en verspreiden? En omgekeerd: Wat zijn de gevolgen van het baggeren en verspreiden voor de ecologie?
- Effecten van baggeren en verspreiden: Wat zijn de gevolgen van baggeren en verspreiden voor de ecologie?
- Onttrekken van slib aan de Waddenzee: Wat betekent het op de korte en de lange termijn wanneer slib uit de Waddenzee wordt gehaald, bijvoorbeeld voor toepassing in dijken of op landbouwgrond, in plaats van dat het weer in de Waddenzee wordt verspreid?
- Verkleinen van de impact van het baggeren en verspreiden: Kunnen de baggervolumes worden gereduceerd door aanpassingen van locaties, inzet in de tijd en technieken?

1.3

Aanpak en leeswijzer

Vanwege de uitgebreide lijst aan kennisvragen (Hoekstra et al., 2023) en de breedte van de onderwerpen is een gestructureerde aanpak gevolgd in drie fasen.

Fase A. Rubricering vragen en rapid assessment

In deze fase zijn de vragen voorzien van een onderwerplabel en is vastgesteld of en waar antwoorden op de kennisvragen te vinden zijn.

Fase B. Literatuuronderzoek en doorvragen

De kennisvragen zijn op hoofdlijnen beantwoord per thema, waarbij steeds de gebruikte bronnen zijn opgenomen. Een deel van de inleiding in Hoofdstuk 2 (Sedimentatie in vaargeulen en havens) is gebaseerd op algemene kennis, zodat daar minder bronnen zijn opgenomen. De beantwoording van de kennisvragen is gericht op de identificatie van de algemene kennisleemtes. Zeer specifieke vragen, die betrekking hebben op een bepaalde locatie of condities zijn niet beantwoord.

Fase C. Rapportage en bespreking met experts

In de laatste fase zijn de bevindingen gerapporteerd. De conceptrapportage is besproken met een aantal experts op 5 maart 2024 in het Huis voor de Wadden. Het aantal kennisvragen is dermate groot, dat niet is gekozen voor het opstellen van een rapportageblad per vraag, dit zou namelijk nogal een omvangrijk document opleveren. Voor de thema's, zoals die in §1.2 staan, zijn de kennisvragen met antwoorden gepresenteerd.

In het rapport zijn de kennisvragen schuingedrukt opgenomen in de paragrafen waarin deze beantwoord worden. Op een aantal kennisvragen is geen antwoord opgenomen en deze staan in bijlage C, met een korte motivatie voor het ontbreken van een antwoord.

De volgorde waarin de kennisvragen staan, wijkt af van de volgorde in het rapport van Fase 1 (Hoekstra et al., 2023). De volgorde is gekoppeld aan de thema's. Hoofdstuk 2 gaat over de sedimentatie in vaargeulen en havens van zand en slib en vormt als het ware een inleiding op het baggervraagstuk. Vervolgens wordt in Hoofdstuk 3 ingegaan op het proces van baggeren en verspreiden. Hierbij wordt toelichting gegeven op de reden voor het baggeren, de verschillende technieken voor het baggeren en verspreiden, de hoeveelheden en de locaties. Hoofdstuk 4 geeft een inleiding in de veranderingen in de wadbodem die al zijn opgetreden en die worden verwacht in relatie tot het gebruik van geulen en havens. Daarna wordt in Hoofdstuk 5 ingegaan op de ecologische effecten van baggeren en verspreiden. Omdat het onttrekken van slib aan de Waddenzee (in plaats van het verspreiden in de Waddenzee zelf) op dit moment veel aandacht krijgt en hier ook verschillende kennisvragen over zijn gesteld, wordt dit thema in Hoofdstuk 6 nader belicht. In Hoofdstuk 7 worden de mogelijkheden besproken om het baggeren zelf te verminderen, dan wel de gevolgen ervan te beperken. Ten slotte wordt in het laatste hoofdstuk een overzicht gegeven van de verschillende kennisleemtes. Tabel 1-1 kan worden gebruikt om de paragraaf terug te vinden waar in dit rapport de betreffende kennisvraag uit Hoekstra et al. (2022) wordt beantwoord.

Tabel 1-1 Overzicht van de kennisvragen met de nummering, zoals opgenomen in het rapport van Fase 1 Ecosysteemgericht baggeren (Hoekstra et al., 2023). De paragraaf in dit rapport staat in de laatste kolom.

Paragraaf & Vraagnummer Kennisvraag		In dit rapport paragraaf
De vragen in de volgorde van het rapport van Fase 1 (Hoekstra et al, 2023)		
	Huidige situatie	
	Generieke kennisvragen	
	Waar (habitat, geografische positie, afbakening systeem)?	
3.1	1 Wat zijn de belangrijkste locaties in het Waddengebied inclusief havens waar wordt gebaggerd en wat zijn de desbetreffende habitats en ecotopen?	3.3
3.1	2 Wat zijn de belangrijkste locaties waar het gebaggerde sediment vervolgens wordt verspreid en welke habitats en ecotopen zijn hierbij betrokken?	3.3
3.1	3 Hoe moet in dit kader de begrenzing van het systeem van het Waddengebied worden gedefinieerd? Hoe wordt het systeem van het Waddengebied gedefinieerd vanuit het perspectief van de morfologie (inclusief sedimentbudgetten) en ecologie? Wat zijn de geldende regels voor wat betreft het baggeren en verspreiden van baggerspecie volgens de Natura 2000 wetgeving en welke grenzen van het systeem worden hierbij gehanteerd?	3.3
3.1	Waarom (voor wie, welk doel)?	
3.1	4 Wat is het doel van baggeren: vaargeulonderhoud voor bereikbaarheid en/of capaciteit en bruikbaarheid van havens (diepgang schepen)? Of zijn er andere redenen?	3.2
3.1	5 Hoeveel schepen, en met welk formaat en diepgang, varen er van en naar industriehavens (Den Helder, Harlingen en Groningen Seaports , i.c. de Eemshaven en Delfzijl) en van en naar de andere havens?	3.2
3.1	6 Hoe wordt begrip bereikbaarheid gedefinieerd in het Waddengebied in relatie tot vaargeulen en havens? Welke dimensies (b.v breedte en diepte) worden hierbij gehanteerd vanuit wet- en regelgeving, beheer- en beleid en wat zijn eisen vanuit nautische veiligheid? Hoe wordt hiermee omgegaan in het kader van b.v de veerbootconcessies?	3.2
3.1	7 Het begrip "baggerproblematiek" vraagt om een nadere duiding en impliceert zowel de problematiek van het baggeren zelf als het verspreiden van sediment. Wat is het verschil tussen de effecten van vaargeulonderhoud en havenonderhoud?	3.2
	Hoe (methodieken, technologie)?	
3.1	8 In relatie tot vraag 1 en 2: welke bagger- en verspreidingsmethoden worden gebruikt voor het uitvoeren van het vaargeul- en havenonderhoud?	3.5
3.1	9 Wat voor vaartuigen worden hiervoor gebruikt (b.v. sleepopperzuiger en capaciteit)? Welke randvoorwaarden spelen hierbij een rol?	3.5
3.1	Hoeveel (eenheid)?	
3.1	10 Hoeveel zand en slib wordt er gemiddeld van nature aangevoerd vanuit de Noordzee naar de Waddenzee, eventueel ingedeeld per kombergingsgebied of verdeeld over respectievelijk de westelijke en oostelijke Waddenzee?	3.6
3.1	11 Gegeven de locaties uit vraag 1: hoeveel wordt er gebaggerd per locatie per jaar (met duidelijke vermelding van eenheden: vaste stof, gemeten in de beun,...etc.)? Wat is de samenstelling van het gebaggerde sediment: aandeel zand en slib?	3.6
3.1	12 Wat is de verhouding tussen de hoeveelheid sediment die per jaar en gebied wordt gebaggerd en verspreid versus de transporten die van nature plaatsvinden in het gebied door b.v. de jaarlijkse migratie van geulen en platen en het effect van storm (menselijke invloed versus autonome werking van het systeem).	3.6
	Wat?	
3.1	13 Welke criteria worden gehanteerd om te bepalen of een geul al dan niet gebaggerd moet worden en is dit nader vastgelegd in protocollen of richtlijnen?	3.4
3.1	14 Wat bepaalt de keuze van de verspreidingslocaties in de Waddenzee? Welke richtlijnen of protocollen worden hierbij gebruikt? Wat is daarbij de rol van kennis omtrent de natuurlijke dynamiek c.q. autonome ontwikkeling van het desbetreffende gebied?	3.7

3.1	15	Wat is een natuurlijke geul versus een gebaggerde geul ofwel: wanneer kunnen we nog spreken van een natuurlijke geul en welke criteria zijn daarbij van toepassing?	3.3
3.1	16	Is het in het recente verleden nog aan de orde geweest dat gebaggerd havenslib op basis van waterbodemonderzoek moest worden geclassificeerd als baggerspecie met een verontreinigingsgraad zijnde kenmerkend voor een industriewaarde (= niet te gebruiken voor toepassingen op land)? Indien van toepassing: mag dit sediment dan nog wel (vergund) worden verspreid in de Waddenzee?	3.7
Wanneer (jaar, seizoen, tij)?			
3.1	17	Wat is het effect van weersinvloeden in de verschillende seizoenen van het jaar op sedimentbeweging en depositie en daarmee de noodzaak van baggeren? In hoeverre speelt het spuiregim een rol bij de depositie van sediment?	3.8
3.1	18	In welke mate is baggeren en verspreiden gebonden aan bepaalde seizoenen op basis van wet- en regelgeving en beheerplan(nen)?	3.8
Algemeen: ervaringen in Duitsland			
3.1	19	Hoe verhouden de baggerinspanningen in Duitse havens (b.v. Emden en Wilhelmshaven) zich tot de Nederlandse Waddenhavens in termen van baggerhoeveelheden, vertroebeling en het verspreiden van sediment? Wat kan er in dit verband worden gemeld over de baggersinspanningen in Duitse havens zoals Cuxhaven, Bremerhaven en Stade waar klaarblijkelijk in het geheel geen slib wordt verspreid? Welke baggertechnieken worden daar gebruikt, wat is de mate van vertroebeling en wat gebeurt er met het sediment?	3.9
Specifieke kennisvragen			
De Boontjes			
3.2	1	Welke morfologische en nautische criteria worden gebruikt voor het bepalen van de baggerinspanning in de Boontjes?	Bijlage C
3.2	2	Wat is concreet de opdracht die de aannemer heeft gekregen voor het op breedte en diepte houden van de vaargeul Boontjes? Ofwel: welke contractuele inspanning of resultaat moet worden geleverd door de aannemer? En wat zijn de mogelijke gevolgen in morfologische, ecologische en economische termen van deze opdracht (zie ook hoofdstuk 5)?	Bijlage C
Buitendelta Zoutkamperlaag			
3.2	3	Wat zijn de ervaringen met het baggeren in scheepvaartgeulen die onderdeel zijn van buitendelta's en de verbindingsschakel vormen van Waddenzee met Noordzee? Denk hierbij b.v. aan het Westgat bij Schiermonnikoog	2.2
Historie en toekomst			
Historische bijdragen aan toekomstige ontwikkelingen			
4.1	1	Hoe heeft de morfologie (platen/geulen) van kombergingsgebieden zich ontwikkeld in de laatste 50 tot 100 jaar? Welke trends zijn daarbij nu aanwezig en hoe lang zullen deze trends zich naar verwachting voortzetten? Wat betekenen deze trends voor de ontwikkeling van vaargeulen en daarmee de bereikbaarheid van havens tot aan 2030 en hoe gaat dat veranderen richting 2050 en 2100 als de zeespiegelstijging verder versnelt?	4.2
4.1	2	Op korte termijn wordt het wadsysteem vooral gekenmerkt door aanzanding en verondieping doordat de depositiesnelheden op kombergingsniveau de snelheid van zeespiegelstijging overtreffen. Hoe gaan de baggerhoeveelheden in de Waddenzee en Eems-Dollard zich de komende tijd ontwikkelen, als de vaargeuldieptes gelijk blijven? Zal het baggeren (en daarmee ook verspreiden) in omvang gaan toenemen? Is er in dit kader een verschil tussen het onderhoud van vaargeulen en de havens?	4.4
4.1	3	De mens heeft door het bouwen van dammen en dijken en het realiseren van inpolderingen veel vastgelegd met als resultaat de ingesnoerde Waddenzee en daarmee ook het verlies van komberging en rustige zones met overwegend depositie van slib.	4.2
4.1	3a	Is hierdoor de slibconcentratie in de Waddenzee veranderd? Is er een relatie vast te stellen tussen menselijke ingrepen in het Waddensysteem en de slibconcentratie?	4.2
4.1	3b	Indien a) met positief is beantwoord heeft dit dan mogelijk ook gevolgen gehad voor de slibdepositie in vaargeulen en havens?	4.2

Toekomstige ontwikkelingen tot 2030			
4.1	4	Voor de veerbootconcessies wordt uitgegaan van een bepaalde diepte en breedte van vaargeulen op basis van een bepaald type schip. Schepen zelf zijn mogelijk ook van invloed op de aanslibbing van geulen door hun aanzuigende werking. In hoeverre kunnen bagger- en verspreidingshoeveelheden worden gereduceerd door met een ander type schepen te varen (b.v. qua afmetingen, diepgang en voortstuwing)?	7.1
4.1	5	Wat voor invloed heeft het moeten voldoen aan de Europese resultaatverplichtingen in 2027 voor de Kaderrichtlijn Water en Natura 2000 op baggerwerkzaamheden (denk aan definitie van waterkwaliteit, effect van lozingen, e.d.)	5.5
4.1	6	In de Agenda voor het Waddengebied 2050 zijn lange termijn doelen opgenomen voor het Waddengebied. Wat betekenen deze doelen voor de huidige praktijk en toekomstige ontwikkelingen m.b.t. baggerwerkzaamheden?	Bijlage C
Toekomstige ontwikkelingen tot 2050 en 2100			
(Verdere invulling van vraag 1)			
4.1	7	Heeft versnelde zeespiegelstijging ook invloed op de werking van de hydrodynamische- en sedimenttransport processen in de Waddenzee door veranderingen in getij- en golfwerking? Wat is dan naar verwachting het effect op de geul- en kombergingsdynamiek en wat betekent dit voor de ontwikkeling van geulen in de buitendelta's? Wat gaat dit op termijn betekenen voor de bagger- en verspreidingsinspanningen. Is het mogelijk (als er onvoldoende informatie beschikbaar is voor een toekomstbeeld) om hiervoor tenminste een aantal scenario's te schetsen op basis van bestaande IPCC en/of KNMI scenario's	4.4
4.1	8	Wat zijn de mogelijke consequenties van (toekomstige) veranderingen in kustbeheer zoals het realiseren van wisselpolders en het inrichten van zeeverende kustlandschappen voor baggeractiviteiten?	7.2
4.2 Specifieke kennisvragen			
4.2		<u>Westelijke Waddenzee</u>	
4.2	1	Hoe zullen de belangrijke vaargeulen in de Westelijke Waddenzee, in dit geval de routes Harlingen-Terschelling/Vlieland, Harlingen-Noordzee en Den Helder-Texel, zich ontwikkelen onder invloed van de huidige verondieping en hoe zal het beeld veranderen onder invloed van een versnelde zeespiegelstijging? Wat betekent dit voor de bereikbaarheid en de baggerinspanningen?	Bijlage C
4.2	2	Het Vissersgaatje is een geul bij Den Oever. Hoe gaat deze geul zich de komende tijd ontwikkelen en wat betekent dit lokaal voor de scheepvaart en daarmee bereikbaarheid?	Bijlage C
Effecten			
Generieke kennisvragen			
Morfologische effecten			
5.1	1	Wat is de relatie tussen de baggerinspanningen (zie Hoofdstuk 2) en de veranderingen in de breedte en diepte van geulen? Verschilt dit in ruimte (b.v. afstand tot het zeegat) en tijd (b.v. seizoen)?	4.3
5.1	2	In hoeverre heeft baggeren invloed op het 'autonoom' geulgedrag, b.v. in relatie tot meanderen van de geul, de vorming van drempels of de mate van stabiliteit van de geul (doordat deze meer stroom zou kunnen trekken)?	4.3
5.1	3	Wat is de invloed van onnatuurlijke geuldimensies op de hydrodynamische en ecologische processen in het watersysteem, zoals stroming en golfwerking, sedimentconcentraties en troebelheid?	4.3
5.1	4	Wat is de invloed van baggeren op het systeem van eb- en vloedscharen in de Waddenzee (indien van toepassing)?	4.3
5.1	5	Heeft baggeren van geulen invloed op het gedrag en de dimensies van aanliggende platen?	4.3
5.1	6	Heeft het totaal van huidige baggeractiviteiten in de Waddenzee en de Eems significante effecten op bijv. habitatype H1110 (permanent overstroomde zandbanken) en H1130 (estuaria)?	5.5
Ecologische effecten			
5.1	7	Wat is de relatie tussen baggeren en verspreiden en de mate van bodemberoering (verstoring) en de vertroebeling van de waterkolom? Verschilt dit in ruimte (b.v. afstand tot het zeegat) en tijd (b.v. seizoen)?	5.4

5.1	8	Wat zou een realistische referentiesituatie kunnen zijn (b.v. in relatie tot vertroebeling) gegeven het feit dat de Waddenzee bijvoorbeeld al vele jaren bloot staat aan de (dagelijkse) effecten van baggeractiviteiten?	5.4
5.1	9	In relatie tot het effect van vertroebeling in de Waddenzee rijst de vraag in hoeverre de primaire productie in de Waddenzee wordt gelimiteerd door gebrek aan licht en/of nutriënten? Waar, wanneer en in welke mate speelt dit een rol? In dit kader speelt ook de vraag wat de bijdrage is van kiezelwieren aan de primaire productie in de Waddenzee?	5.1
5.1	10	In welke mate (kwantitatief) is de bodemverstoring afhankelijk van de gebruikte baggertechnologie zoals de sleehopperzuiger, het kraanschip, de cutterzuiger (indien van toepassing in gebied), agitatiebaggeren of water-injectie methoden?	5.3
5.1	11	Wat is het effect van bodemverstoring/beroering op het vrijkomen van nutriënten uit de bodem naar de waterkolom en welke invloed heeft de verstoring op de afbraak van organisch materiaal?	5.1
5.1	12	Wat is het effect van de verschillende methoden voor vertroebeling tijdens het baggeren?	5.3
5.1	13	Wat is het effect van de verschillende verspreidingstechnieken voor de ruimtelijke en temporele patronen van vertroebeling?	5.3
5.1	14	Hoe groot is de extra vertroebeling door baggeren ten opzichte van de minimale, gemiddelde en maximale waarden van de natuurlijke troebelheid in de Waddenzee? Wat zijn de belangrijkste natuurlijke processen en factoren die verantwoordelijk zijn voor vertroebeling?	5.4
5.1	15	Wat is het effect van baggeronttrekking uit de geulen en havens in de Waddenzee en het verspreiden dicht bij het zeegat dan wel op de Noordzee, onder meer voor wat betreft de mogelijke frequentie en intensiteit waarmee moet worden gebaggerd en de mate van vertroebeling die (lokaal) kan optreden?	5.4 en 7.2
5.1	16	Hoe staat de bodemberoering door baggeren (b.v. in oppervlak en frequentie) in verhouding tot de autonome dynamiek van sediment door natuurlijke processen? Wat is het aandeel van de in de Waddenzee gestorte baggerspecie ten opzichte van de natuurlijke transportfluxen onder verschillende condities?	5.4
5.1	17	Hoe staat de bodemberoering door baggeren in verhouding tot het effect van andere menselijke activiteiten in het gebied zoals b.v. de bodemberoerende visserij?	Bijlage C
5.1	18	Wat is het effect van bodemberoering door baggeren op het bodemleven in geulen? En welke andere menselijke activiteiten zullen van invloed zijn op dit bodemleven?	5.1
5.1	19	Wat is het effect van storting en verspreiding van sediment op het bodemleven (o.a. door bedekking van b.v. schelpdieren)?	.
5.1	20	Wat is het effect van bedekking en vertroebeling op de primaire productie voor respectievelijk microfytobenthos (bodemalgen) en zeegras. Wat is het effect van vertroebeling op respectievelijk fyto- en zoöplankton en garnalen? Wat betekent dit voor de vangbaarheid van deze garnalen?	5.1
5.1	21	Wat is de invloed van verspreiden, bedekking met sediment en vertroebeling op (zichtjagende) vogels in de Waddenzee?	5.1
5.1	22	Rijkswaterstaat heeft een protocol gemaakt voor ecologisch verantwoord baggeren. Wat is de inhoud van dat protocol en hoe wordt het in de praktijk gehanteerd?	Bijlage C
5.1	23	Wat is de invloed van baggeren en verspreiden op vissen in de Waddenzee?	5.1
5.1	24	In welke mate en op welke wijze worden zeezoogdieren beïnvloed door de effecten van baggeren, verspreiden en vertroebeling?	5.1
5.1	25	Hoe schadelijk is (onder)watergeluid door baggeren voor de verschillende organismen in de Waddenzee? Hoe schadelijk is overlast door lichtvervuiling in dit verband?	5.1
5.1	26	Hoe schadelijk zijn emissies door baggerschepen en b.v., het gebruik van PFAS (in vetten voor smering van schroefassen) voor de waterkwaliteit?	5.1
		Juridisch	5.1
5.1	27	Hoe wordt er omgegaan met de huidige kaders van de natuurbeschermingswet vergunning c.q. de regels voor baggeren in het Beheerplan N2000 Waddenzee in relatie tot het baggerbezwaar?	5.5

		Specifieke kennisvragen	
		Eems-Dollard (& Harlingen)	
5.2	1	Blijft de baggerspecie langer in suspensie door gebruik te maken van de airset techniek , waarbij het sediment op locatie in suspensie wordt gebracht (zoals toegepast in Delfzijl en Harlingen)?	Bijlage C
5.2	2	Wat zou de troebelheid van de vaargeulen in de Eems worden wanneer deze op een minder grote diepte worden onderhouden dan thans het geval is?	4.3
		Lauwersoog	
5.2	3	Wat is het ecologisch effect van het verspreiden van bagger in het Oord uit de haven van Lauwersoog? Wat is het effect van het verspreiden daar met afgaand tij en oostenwind?	Bijlage C
		Den Helder	
5.2	4	Wat is de invloed van zandsuppletie op de hoeveelheid en samenstelling van sediment in de haven van Den Helder?	7.2
		Oplossingsrichtingen	
		Generieke kennisvragen	
		Reductie van de depositie van sediment ('probleem bij de bron aanpakken')	
6.1	1	Het ontwerp en de inrichting van havens kan een factor van betekenis zijn bij de import en depositie van slib in havens. Dit leidt tot een aantal deelvragen:	7.2
6.1	1a	In hoeverre speelt dit in het Waddengebied?	7.2
6.1	1b	Wat is hierbij de rol van de lay-out van de havenmonding en de mate van expositie van de haven?	7.2
6.1	1c	Wat is de mogelijke rol van grote zoetwaterfluxen richting Waddenzee (effect schut- en spuisluisen) op de slibimport in havens door het ontstaan van dichtheidsgedreven stromingen?	7.2
6.1	2	In hoeverre is het mogelijk om met kleinere schepen te gaan varen zodat een beter gebruik kan worden gemaakt van de natuurlijke dimensies van geulen en de baggerinspanning kan worden verminderd?	7.1
6.1	3	Ten aanzien van het ontwerp en de inrichting van de vaargeulen kan eveneens een aantal deelvragen worden gesteld:	Hieronder
6.1	3a	In hoeverre is het mogelijk om vaargeulen te ontwikkelen die qua dimensies sterk afwijken van de natuurlijke dimensies zonder dat dit gepaard zal gaan met grote baggerinspanningen?	7.2
6.1	3b	Welke rol speelt de expositie, ligging en functie van geulen bij de baggerinspanningen (denk b.v. aan ligging in kombergingsgebied, expositie op golven, nabijheid van wantij)?	2.1
6.1	4	Wordt bij het baggeren en verspreiden van sediment voldoende gebruik gemaakt van de hydrodynamische en morfologische kennis van het systeem? Deelvragen:	7.2
6.1	4a	Wordt b.v. bij het baggeren rekening gehouden met de mate van meanderen van de geulen (NB de indruk bestaat dat het baggeren van meandergeulen het systeem alleen maar sterker laat meanderen waardoor de baggerinspanningen worden vergroot)?	7.2
6.1	b	Wordt bij het baggeren en verspreiden van sediment optimaal gebruik gemaakt van de getijstroming?	7.2
6.1	5	Leidt het kiezen van verspreidingslocaties op grotere afstand van de haven tot een reductie van de depositie in havens en dus een vermindering van het baggeren?	7.2
6.1	6	Is het mogelijk om te komen tot een economische en ecologische optimalisatie van de processen van baggeren en verspreiden door het sediment verder van het probleemgebied te verspreiden (met meer kosten voor transport) en daardoor het volume en de intensiteit van het baggeren lokaal te verminderen (met reductie van kosten)?	7.2
6.1	7	Bestaat er een relatie tussen de uitvoering van zandsuppleties langs de Nederlandse kust (Kop van Noord Holland en de Waddeneilanden) en het vaargeulonderhoud in de Waddenzee?	7.2
6.1	8	Kan het sediment uit de vaargeulen deels worden gebruikt voor het ophogen van wadplaten (nu dan wel in de toekomst)? Is er ervaring met het ophogen van wadplaten door het opbrengen van sediment om ze mee te laten groeien met zeespiegelstijging (of voor een ander doel)? Zijn hier naast voordelen ook nadelen aan verbonden?	7.2
6.1	9	Wat zijn de voordelen, nadelen, kosten en risico's van de verschillende mogelijkheden om de depositie van sediment te reduceren?	7.4

6.1	10	Hoe verhoudt deze oplossingsrichting (reductie van depositie van sediment) zich in die aspecten tegenover de andere opties?	7.4
6.1	11	In hoeverre kan een vergroting in komberging bijdragen aan een reductie in baggerinspanning waardoor geulen mogelijk beter op diepte blijven en accommodatie ruimte ontstaat voor de depositie van slib?	7.2
Reductie (of mitigatie) van effecten			
6.1	12	Hoe kan er door anders te baggeren minder druk op het hele systeem komen? Hoe kan dit zo optimaal mogelijk?	7.1
6.1	12a	Kan er voor bepaalde baggervakken niet beter breder worden gebaggerd zodat er uiteindelijk minder vaak hoeft te worden gebaggerd?	7.3
6.1	12b	Wat is het effect van vaker baggeren met kleine schepen versus minder vaak baggeren met 1 groot schip?	7.3
6.1	12c	Kan er nog meer dan thans het geval is rekening worden gehouden met voor de natuur kwetsbare periodes of seizoenen?	7.3
6.1	13	Bestaan er baggertechnieken om de vertroebeling te beperken zowel wat betreft de mate van vertroebeling (= concentratie aan sediment) als de duur? Valt er in dit verband iets te leren van grote projecten in het buitenland waar soms harde eisen worden gesteld (b.v. in de omgeving van koraalriffen)?	7.3
6.1	14	In hoeverre is het mogelijk en realistisch om binnen baggercontracten meer te sturen op duurzaamheidsaspecten (naast emissies en stikstof) die betrekking hebben op bodemverstoring en vertroebeling?	7.3
6.1	15	Wat zegt het baggerplafond in beuns in het kader van de NB-wet vergunning precies? Oftewel: hoe kunnen we tot een betere definitie van het baggerplafond komen en deze als zodanig toepassen door meer kaderstellend te worden voor baggeren in het tweede Natura2000 beheerplan?	7.3
6.1	16	Wat zijn de voordelen, nadelen, kosten en risico's van de verschillende mogelijkheden om de effecten van baggeren en verspreiden van sediment te reduceren?	7.4
6.1	17	Hoe verhoudt deze oplossingsrichting (reductie/mitigatie van effecten) zich in die aspecten tegenover de andere opties?	7.4
Structureel onttrekken van slib uit de Waddenzee			
6.1	18	Zal het structureel onttrekken van slib uit de havens daadwerkelijk bijdragen aan het verminderen van de baggerinspanningen in de havens? Of zal door de ongewijzigde werking van de transportprocessen in combinatie met het aanbod van slib de depositie gewoon doorgaan?	6.2
6.1	19	Slib is belangrijk voor de ecologie van de Waddenzee, b.v. in de vorm van substraat voor organismen en door de aanvoer van nutriënten. Wat betekent in dit verband slibonttrekking voor de Waddenzee (op niveau van kombergingsgebied, NL, Waddenzee en Trilateraal)?	6.3
6.1	20	Slib speelt ook een rol bij de morfologische dynamiek van het systeem en de aanpassing van het gebied onder invloed van zeespiegelstijging. Wat zijn de gevolgen van slibonttrekking voor de morfologie van het systeem, met name in relatie tot sedimentbudgetten en welke tijd- en ruimteschalen zijn relevant	6.3
6.1	21	Hoe kan worden bepaald of we slib structureel kunnen onttrekken aan het systeem en welke hoeveelheden hierbij (maximaal) mogelijk zijn? Zijn er wat dat betreft beperkingen in relatie tot factoren als ruimte en tijd: kan het overal en gedurende een langere periode?	6.4
6.1	22	Voor de aanvoer van slib is de Waddenkust sterk afhankelijk van slibaanvoer uit de Zuidelijke Noordzee c.q. de Engelse kustwateren. Daarbij zijn twee belangrijke slibstromen te onderscheiden: één die direct langs de Nederlandse kust stroomt en een tweede stroom van de kust van East Anglia in NO richting over de Noordzee naar Denemarken. Is deze tweede stroom nog van belang voor het Waddengebied in Schleswig-Holstein of voor het Deense Waddengebied?	6.5
6.1	23	Er zijn andere economische activiteiten in het Waddengebied zoals gas- en zoutwinning waarbij het "hand aan de kraan" principe wordt toegepast en gebruik wordt gemaakt van het zogenaamde "meegroeivermogen" van het kombergingsgebied. Wat betekent de structurele onttrekking van sediment/slib voor dit meegroeivermogen?	6.4
6.1	24	Welke partij heeft het primaat als er beperkingen zijn aan de hoeveelheden slib die aan het systeem kunnen worden onttrokken	6.5

6.1	25	Welke criteria kunnen gebruikt worden en hoe dienen deze vervolgens gewogen te worden als er beperkingen zijn aan de hoeveelheden slib die aan het systeem kunnen worden onttrokken? Denk hierbij b.v. aan:	6.4
6.1	25a	Urgentie van probleem dat (lokaal) moet worden opgelost	6.4
6.1	25b	Wijze van hergebruik in kader van duurzaamheid	6.4
6.1	25c	Mogelijke winst voor natuur	6.4
6.1	25d	Economische kosten-baten analyse	6.4
6.1	26	Hoe wordt het slib aan het systeem onttrokken (baggeren versus natuurlijke depositie)? Wat zijn voor-en nadelen van de methodieken?	6.5
6.1	27	Moet er op basis van wet- en regelgeving voor de verwerking en vermarkting van havenslib omschreven worden wat de eigenschappen zijn van het slib (klei/lutum fracties, mineralen)?	6.5
6.	Algemeen		
6.1	28	Op basis van Europese wet- en regelgeving zoals de Kader Richtlijn Water (KRW) en Natura 2000 moeten er op relatief korte termijn door Nederland stappen worden gezet om de waterkwaliteit in de Waddenzee te verbeteren. Welke van de hierboven genoemde oplossingsrichtingen bieden op korte termijn kansen om de negatieve effecten van baggeren te reduceren en bij te dragen aan de verbetering van de waterkwaliteit?	5.5
	Specifieke kennisvragen		
6.2	1	Hoe kunnen we keuzes m.b.t. de baggerstrategie uitleggen aan verschillende gebruikers (vb. eilanders, forenzen, dag gasten, toeristen, etc.), specifiek minder ondiepe vaargeul Holwerd – Ameland, en daar begrip en draagvlak voor creëren?	Bijlage C
6.2	2	Is het wat betreft wet- en regelgeving mogelijk (en wenselijk) om de vaargeulen in de Waddenzee een andere status te geven, vergelijkbaar met die van havens, om overheidskosten te besparen? Toelichting: de overheid steekt nu veel geld in het onderhouden en openhouden van de vaargeulen. In het verleden was het baggeren een economische activiteit, m.a.w. hoe zou de kosten/baten analyse dan uitpakken?	Bijlage C
6.2	3	Hoe kan Rijkswaterstaat flexibeler en sneller handelen m.b.t. het verleggen van de route Holwerd-Ameland? (Toelichting: Discussie hierover neemt nu maanden in beslag, in de tussentijd blijft de impact. Nu moet er van alles aangetoond worden d.m.v. een voortoets, e.d.).	5.5

2

SEDIMENTATIE IN VAARGEULEN EN HAVENS

2.1

Inleiding

Baggeren in de Waddenzee en de havens aangrenzend aan de Waddenzee vindt plaats om de bereikbaarheid van de havens te garanderen voor schepen met een bepaalde diepgang en omvang. Daarmee is baggeren essentieel voor de bereikbaarheid van de eilanden, omdat de veerboten naar en van de eilanden allemaal gebruik maken van havens en vaargeulen waar wordt gebaggerd. Het baggeren moet regelmatig worden herhaald, omdat in de havens en vaargeulen zand en/of slib op de bodem wordt afgezet. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de kennisvraag over de sedimentatie en daarmee de baggerinspanningen in de havens en vaargeulen in relatie tot hun ligging:

- › **6.1-3b** *Welke rol speelt de expositie, ligging en functie van geulen bij de baggerinspanningen (denk b.v. aan ligging in kombergingsgebied, expositie op golven, nabijheid van wantij)?*

Hierbij ligt de focus in dit hoofdstuk op de rol van verschillende aspecten op de mate van sedimentatie, aangezien dit bepalend is voor de baggerinspanning. Hierbij wordt eerst onderscheid gemaakt tussen verschillende gebieden waar sedimentatie optreedt en gebaggerd wordt (§2.2). Vervolgens wordt de samenhang met de fysische kenmerken en processen toegelicht (§2.3). In Hoofdstuk 3 wordt daarna nader ingegaan op het daadwerkelijke baggeren.

2.2

Indeling in vier typen gebieden waar sedimentatie optreedt

Voor het beschrijven van de processen waardoor vaargeulen en havens ondieper worden, is het handig om een classificatie te gebruiken. De classificatie is gebaseerd op de belangrijkste processen die leiden tot sedimentatie in de betreffende gebieden. Deze indeling is voor de vaargeulen geïntroduceerd in Van der Vegt & Cleveringa (2022). In het voorliggende rapport worden de havens hieraan toegevoegd.

- › *Havens*
- › *Drempelgeul*
- › *Staartgeulen*
- › *Overige geulen*

2.1.1

Havens

Havens zijn afgeschermd van de Waddenzee door havendammen. Havens in de Waddenzee hebben een diepte onder het niveau van laagwater, zodat afgemeerde schepen ook bij laagwater niet de bodem raken (getijdehavens waarin schepen bij laagwater droogvallen zijn niet aanwezig in de Nederlandse Waddenzee). Bij vloed stroomt water met sediment de haven in. De stroomsnelheden zijn hoger bij de haveningang en nemen af naarmate je verder in het havenbekken komt. In de haven zijn de invloeden van golven beperkt, door de afschermdende werking van de havendammen. Het sediment dat met de vloedstroming de haven in is gestroomd zal geleidelijk bezinken, de bodem bereiken

en daar sedimenteren. Vanwege het verschil in de optredende stroomsnelheden nabij de havenmond en verder de haven in, in combinatie met de hogere valsnelheden van grovere en lagere snelheden van fijnere deeltjes, zullen zanddeeltjes met name bij de havenmond worden afgezet en komen slibdeeltjes verder weg in het havenbekken tot bezinking. Het (fijne) sediment dat tijdens vloed niet op de bodem is afgezet zal tijdens afgaand water met de ebstroming mee de haven uit worden getransporteerd. Mogelijk zijn de stroomsnelheden nabij de havenmond tijdens een deel van de eb dermate hoog dat daar enige erosie op kan treden van het sediment dat daar eerder is afgezet.

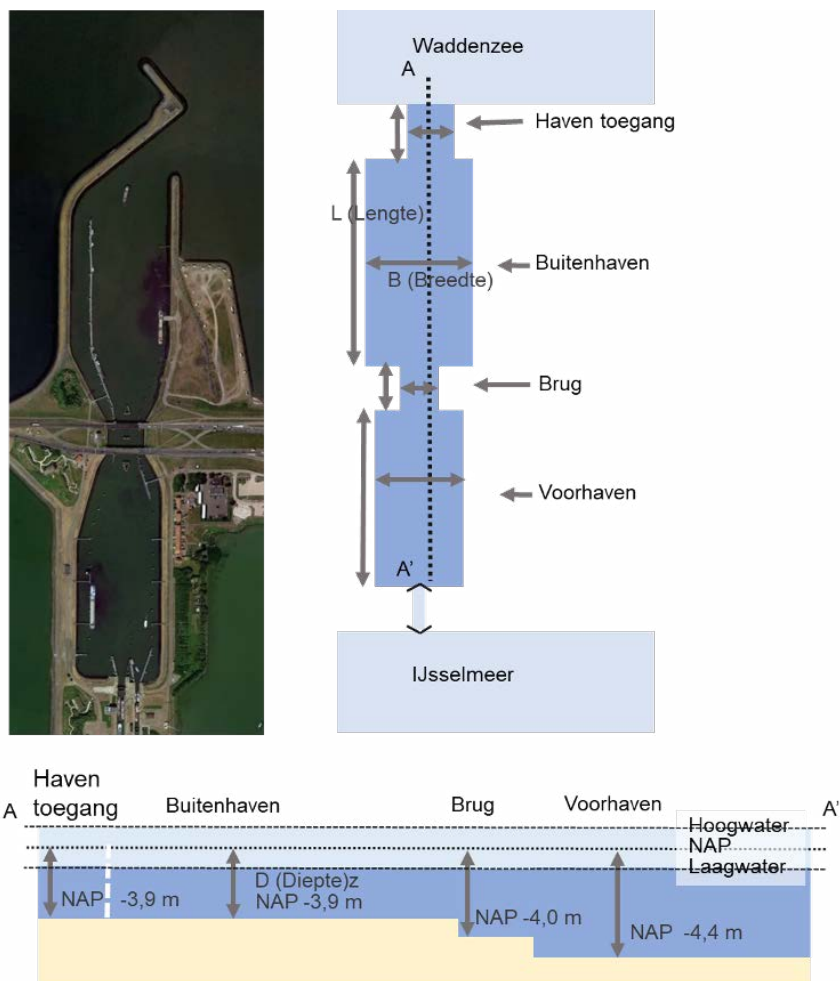
Havens fungeren dus als invangbekkens voor sediment. De hoeveelheid sediment die per getij wordt ingevangen is een functie van de concentratie van het sediment in het binnenstromende water, de valsnelheid van het sediment en het watervolume dat per getij naar binnen en naar buiten stroomt. Dat watervolume wordt bepaald door de hoog- en laagwaterstanden en de oppervlakte van de haven (en de helling van de wanden van de haven). Naast deze variabelen zijn ook de omvang van de haveningang van belang voor de sedimentatie evenals de aanwezigheid van een zoetwaterafvoer (spui, gemaal) in de haven (Eysink, 1988; De Boer & Hasselaar, 2013). De aanvoer van zoet water in een haven kan een dichtheidsgedreven (estuariene) circulatie op gang brengen, waardoor bij de bodem water de haven instroomt, dat een hogere sedimentconcentratie heeft dan het water aan het oppervlakte. Verder treden bij het mengen van zoet- en zoutwater verschillende chemische en biologische processen op, waardoor slibdeeltjes aan elkaar plakken ('flocculatie') en de eigenschappen veranderen. Ook de chemische en biologische processen kunnen leiden tot hogere concentraties van fijn sediment (Eisma, 1993). De genoemde variabelen (bekkenomvang, geometrie haveningang en neervorming en zoetwaterafvoer) worden gebruikt in modellen om de sedimentatie in havenbekkens te berekenen, zoals SiltHar (Eysink, 1988; Oost et al., 2020).

Voor de totale omvang van de sedimentatie in een haven per jaar is de omvang van de haven sterk bepalend. Voor de gemiddelde sedimentatiesnelheid in elk havenbekken is de sedimentconcentratie in de Waddenzee buiten de betreffende haven van groot belang. Bij een hogere sedimentconcentratie zal sprake zijn van hogere sedimentatiesnelheden. De concentratie van slib in de waterkolom kent in elk kombereikingsgebied van de Wadden een sterke gradiënt, met lage concentraties nabij het zeegat en hoge concentraties aan de landwaartse zijde (Postma, 1961). Voor de concentratie zand in de waterkolom nabij de havenmond zijn de lokale stroomsnelheden in de Waddenzee bij de haven van belang. Zand zal in het algemeen in hogere concentraties aanwezig zijn daar waar een haven aan een grotere geul grenst.

Verder spelen de golven buiten het havenbekken een rol bij de concentraties van zand en slib in de waterkolom. De sedimentconcentraties in de Waddenzee variëren in de tijd, met gemiddeld hogere concentraties van slib in de waterkolom in herfst, winter en het vroege voorjaar en lagere concentraties in de rest van het jaar. Tijdens stormen worden ook tijdelijk (zeer) hoge concentraties bereikt. De verwachting is dat de sedimentatiesnelheden in havens in de periodes met hoger concentraties in de herfst, winter en het vroege voorjaar en na een storm hoger zijn dan in de rest van het jaar.

Figuur 2-1 toont de haven van Kornwerderzand, die een smalle en langgerekte vorm heeft die samenhangt met de functie van deze haven. De haven van Kornwerderzand is verbonden met de schutsluis die het IJsselmeer en de Waddenzee verbindt. In de haven zijn geen permanente ligplaatsen aanwezig. De andere havenbekkens in de Waddenzee hebben zeer verschillende vormen en ook de omvang verschilt sterk.

Figuur 2-1 Luchtfoto en voorbeelden van een geschematiseerd bovenaanzicht en de dwarsdoorsnede AA' van de haven van Kornwerderzand (collectie van de auteur).



2.2.2

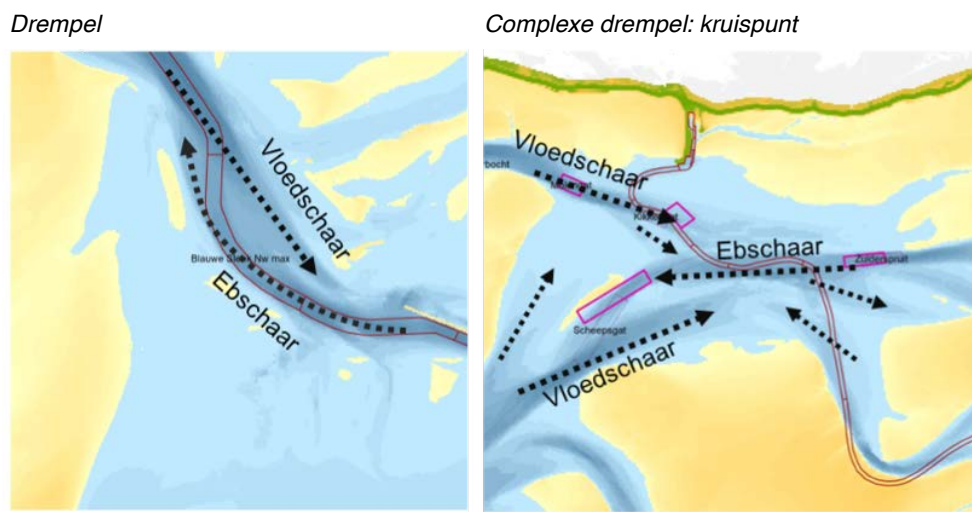
Drempelgeul

(De onderstaande beschrijving is ontleend aan Van der Vegt & Cleveringa, 2022)

Deze klasse betreft de baggervakken waar lokale ondieptes aanwezig zijn als onderdeel van vloed-, dan wel ebscharen, of als gevolg van combinaties van eb- en vloedscharen. De geulen in de Waddenzee worden gekenmerkt door morfologische elementen die typisch zijn voor getijdgeulen, onder andere eb- en vloedscharen (Figuur 2-2) en (meander)bochten. Eb- en vloedscharen bestaan uit geulen die uitlopen in een kenmerkende ondiepte die schild worden genoemd. Of sprake is van een ebschaar, dan wel een vloedschaar is afhankelijk van de oriëntatie: een verondieping die met de vloedstroom mee is gericht, dus van het zeegat naar de rand van het kombergingsgebied, wordt een vloedschaar genoemd. De ondiepe delen van de eb- en vloedscharen kunnen op een dusdanige wijze in de geul liggen dat deze ook in de vaarroute leiden tot een ondiepte. De klassieke beschrijving van eb- en vloedscharsystemen staat in Van Veen (1950).

De lokale ondieptes op de drempels vormen relatief kleine delen van de geulen. De sedimentatie kan snel plaatsvinden, waardoor frequent gebaggerd dient te worden. Het sediment is overwegend zandig. Vaak volgt de vaargeul een (meander)bocht, die veelal onderdeel uitmaakt van een ebschaar. De situatie rond deze drempels is zeer dynamisch, waardoor sprake kan zijn van een snelle afname van de waterdiepte, waardoor 'opeens' sprake is van de noodzaak tot baggeren. Ook de omgekeerde ontwikkeling is mogelijk, waardoor de baggervolumes in een kort tijdsbestek afnemen.

Figuur 2-2 Kaarten met een eenvoudig drempelgebied (Blauwe Slenk, links) en een complex kruispunt van geulen (Vaarweg Ameland, rechts), overgenomen uit Van der Vegt & Cleveringa, 2022.



Bochten in de geulen hebben op zichzelf geen gevolgen voor de breedte en diepte van de geul¹, maar gaan vaak samen met een vloedschaar (en iets minder vaak met een ebschaar), waardoor sprake is van een complex diepteverloop in de geul.

De complexiteit van de bodemligging kan bijzonder groot zijn, zeker bij 'kruispunten' van geulen. Zulke kruispunten treden op rondom geulcomplexen, waar meerdere eb-vloedscharen samenkomen (de rechterzijde van Figuur 2-2 geeft hiervan een voorbeeld). Bij dit soort 'kruispunten' is sprake van verschillende eb- en vloedscharen met drempels, waarbij de drempels in elkaar over gaan.

In de diepe geulen nabij het zeegat zijn de ondieptes die optreden als gevolg van eb- en vloedscharen zelden een probleem voor de scheepvaart. Dat komt doordat de ondieptes daar nog onder de minimale diepte liggen, of omdat er andere delen van de geul zijn met voldoende diepte zodat om de ondiepe delen heen kan worden gevaren. In de ondiepere delen van de Waddenzee is de kans veel groter dat een ondiepte een niet te vermijden obstakel vormt, hetgeen baggeren noodzakelijk maakt.

De sedimentatie en erosieprocessen op drempels en in de bijbehorende eb- en vloedscharen zijn onderwerp van studie geweest in meerdere onderzoeken (onder andere Van Veen, 1950, Jeuken, 2000 en Leuven et al, 2016). De studies hebben nog niet geresulteerd in een denkmodel dat de sedimentdynamiek op drempels volledig beschrijft, dan wel voorspelt. Voor de sedimentatie in relatie tot het baggeren is het zinvol om onderscheid te maken in de verplaatsing van zand die ieder getij plaatsvindt en de veranderingen van de drempelgebieden met de eb- en vloedscharen. Die laatste veranderingen, die afhankelijk van het betreffende gebied plaatsvinden op tijdschalen van maanden tot jaren, of zelfs tientallen jaren, leiden tot structurele veranderingen in de locaties en dieptes van drempels. Daarmee zijn deze veranderingen de reden voor structurele toe- en afnames

¹ In natuurlijke meanderbochten in riviersystemen zijn de dwarsprofielen van nature asymmetrisch, met een ondiepe binnenbocht en een diepe buitenbocht en dit kan de bevaarbaarheid van zo'n meanderbocht beperken in de ondiepe binnenbocht. Bochten in getijdegeulen hebben soms een vergelijkbaar profiel, maar niet altijd en overal. Bij drempelgeulen treden de beperkingen voor de bevaarbaarheid niet op in de geulbocht.

van de baggervolumes op de drempels. De transporten die ieder getij plaatsvinden leiden tot de aanzanding op de gebaggerde drempels, waardoor na verloop van tijd de drempel opnieuw gebaggerd moet worden om deze op de gewenste diepte te brengen.

Voorbeelden van drempelgeulen zijn het Visjagersgaatje (Marsdiep), Blauwe Slenk, Pannengat en Slenk (Vlie) en Holwerd-Ameland vaargeul deel VA10 tot VA3 (Borndiep).

2.2.3

Geulstaarten

(De onderstaande beschrijving is ontleend aan Van der Vegt & Cleveringa, 2022)

Deze klasse betreft de ondiepe landwaartse uiteinden van geulen. De ondiepte treedt op vanaf de landwaartse zijde. Het optreden van een dergelijke ondiepte is het gevolg van de geleidelijke afname van de omvang van de geul. Naarmate de afname verder gaat, breidt het gebied waar gebaggerd moet worden in zeewaartse richting uit. De samenstelling van de baggerspecie is over het algemeen slibrijk. Geulstaarten kunnen een bochtvorm hebben, maar er zijn ook relatief rechte geulstaarten.

De sedimentatieprocessen in staartgeulen komen deels overeen met de processen zoals die voor de havens zijn beschreven. De stroomsnelheden in de gebaggerde staartgeulen zijn lager dan in de niet-gebaggerde geulen, omdat een groter doorstroomoppervlakte is gecreëerd dan nodig is om het watervolume te accommoderen dat iedere getij door de geulen heen en weer stroomt. Vanwege de daaruit voortvloeiende reductie in stroomsnelheden kan sediment op de bodem worden afgezet en vanwege de lage stroomsnelheden wordt het sediment daarna ook niet meer geërodeerd. Het belangrijke verschil tussen een haven en een staartgeul is dat het water, waarmee het sediment wordt aangevoerd, bij een haven altijd via de havenmond naar binnen stroomt, terwijl bij een staartgeul water aanstroomt via de geul én via de aangrenzende gebieden. De aangrenzende gebieden kunnen (slibrijke) wadplaten zijn, of ondiepe (sublitorale) delen. Het betekent dat de aanvoer van sediment naar een staartgeul, bijvoorbeeld tijdens een storm, veel groter kan zijn dan bij een haven.

Voorbeelden van staartgeulen zijn de Geul langs de Pollendam (Vlie), het deel van de vaargeul Holwerd-Ameland nabij de Veerдам bij Holwerd (V26-V42), de Reegeul bij de veersteiger op Ameland, de Ballumerbocht (alle drie Borndiep) en de Groote Siege (Friesche zeegat).

2.2.4

Overige geulen

(De onderstaande beschrijving is gedeeltelijke gebaseerd op Van der Vegt & Cleveringa, 2022) en aangevuld met de vaarweg in het Eems-estuarium.

In de Waddenzee zijn er ook baggervakken die niet (geheel) overeenkomen met de classificering drempel- of geulstaart. Dit betreft bijvoorbeeld de Boontjes, Glinder en de vaargeul in het Eems-estuarium.

- › De Boontjes is de geul die de haven van Kornwerderzand verbindt met de haven van Harlingen. Het gebied waar in de Boontjes wordt gebaggerd ligt in het verlengde van de vloodschaar die vanaf de Doove balg naar het noorden is gericht. Maar het

gebied is te omvangrijk om te spreken van de drempel van een vloedschaar. Van oudsher ligt er ook een geul vanaf ‘Het Blinde Werk’ voor de haven van Harlingen in de richting van de Boontjes. Het gebied wordt beschouwd als een bijzondere, dubbele staartgeul. In de Boontjes wordt slibrijke specie gebaggerd.

- › De vaarroute vanaf Lauwersoog naar de veerhaven op Schiermonnikoog loopt vanuit de haven eerst door de hoofdgeul Zoutkamperlaag naar het westnoordwesten. Daarna maakt de route een scherpe bocht naar het noordoosten en wordt via Glinder de oversteek gemaakt naar het Gat van Schiermonnikoog. Glinder vormt daarmee de verbinding (kortsluiting) tussen de twee hoofdgeulen van het kombergingsgebied. De sedimentatie bij Glinder bestaat voornamelijk uit zand.
- › De vaargeul in het Eems-estuarium is van oorsprong de hoofdgeul, waarin verschillende drempelgebieden aanwezig waren met bijbehorende ondieptes. De oorspronkelijke morfologie is vanwege de verschillende verdiepingen en verruimingen en het daaropvolgende onderhoudsbaggerwerk niet meer duidelijk herkenbaar. Daarbij geldt dat, in tegenstelling tot de geulen in de Waddenzee, de dichtheidsgedreven stromingen (estuariene dynamiek) een belangrijk rol spelen in de aanslibbing. Dat maakt de Eems onvergelijkbaar met de andere gebaggerde geulen in de Waddenzee.

In de overige geulen zijn de processen die zorgen voor de sedimentatie gekoppeld aan de lokale omstandigheden en die verschillen duidelijk per gebied.

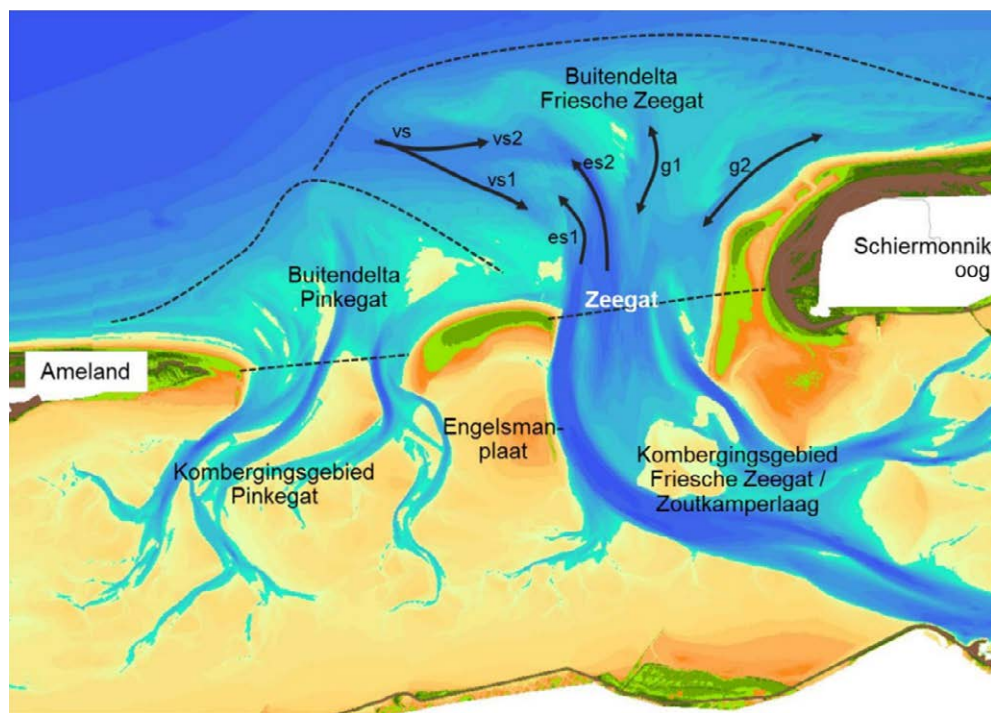
- › **3.2-3** *Wat zijn de ervaringen met het baggeren in scheepvaartgeulen die onderdeel zijn van buitendelta's en de verbindingsschakel vormen van Waddenzee met Noordzee? Denk hierbij b.v. aan het Westgat bij Schiermonnikoog.*

In de voorliggende studie worden de vaargeulen in de Waddenzee beschouwd. De vaarroutes van de Waddenzeehavens naar de Noordzee passeren de buitendelta's van de zeegaten. De buitendelta's vormen een eigenstandige morfologische eenheid, met geulen en ondieptes (een voorbeeld is weergegeven in Figuur 2-3). Op de buitendelta vertakken de geulen uit het zeegat in meerdere geulen. Een deel van die geulen heeft een duidelijke ebdominantie, met aan hun zeewaartse uiteinde een drempel (es in Figuur 2-3). Van de Noordzee steken vloedgedomineerde geulen de buitendelta in en verondiepen daar (vs in Figuur 2-3). Ook zijn er geulen zonder duidelijke eb of vloed dominantie, met drempels aan beide uiteinden (g in Figuur 2-3). Doorlopende geulen van de Noordzee over de buitendelta naar de grote geul of geulen in het zeegat zijn nergens aanwezig, want er zijn altijd drempels aanwezig aan de uiteinden van de eb- en vloedscharen, op alle buitendelta's van de Waddenzee. De geulen en ondieptes op de buitendelta's zijn over het algemeen dynamischer (zie bijvoorbeeld Ridderinkhof, 2016; Lenstra, 2020; Pearson, 2022) dan de geulen en ondieptes in de Waddenzee (zie bijvoorbeeld Oost en de Boer, 1994). De morfodynamiek op de buitendelta's kan tot gevolg hebben dat daar ondieptes optreden die een knelpunt vormen voor de scheepvaart. Het optreden van hogere golven op de buitendelta's dan in de Waddenzee levert extra complicaties op voor de scheepvaart (Arcadis, 2015).

De knelpunten in de geulen van buitendelta's leveren soms vragen op over het baggeren daarvan. Beleidsmatig is vastgelegd dat de vaargeulen op de buitendelta niet worden gebaggerd (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012). Op de buitendelta van de Zoutkamperlaag (Friesche zeegat) is in juli 2018 een pilot uitgevoerd, waarbij de drempel van het Westgat wel is gebaggerd. Het zand is op de buitendelta verspreid. De pilot was ingegeven door de grote impact die de ontstane drempel had op de haven van Lauwersoog, waar het aantal lossende vissersschepen duidelijk was afgenomen (Arcadis, 2015). De verwachting was dat de gebaggerde diepte snel zou verondiepen, omdat op de buitendelta veel zand in beweging is door de combinatie van getijdestroming en golven.

Metingen van de diepte lieten zien dat de gebaggerde diepte echter gedurende langere tijd aanwezig bleef, tenminste tot 2020 (Elias & Vermaas, 2020).

Figuur 2-3 Kaart van het Friesche Zeegat met de verschillende geulen: vs: vloodschaar; es: ebschaar; g: kortsluitgeul zonder morfologische eb of vloed voorkeur (op basis van de vaklodingen van Rijkswaterstaat, situatie Westgat 2012, overgenomen uit Arcadis 2015).



2.3

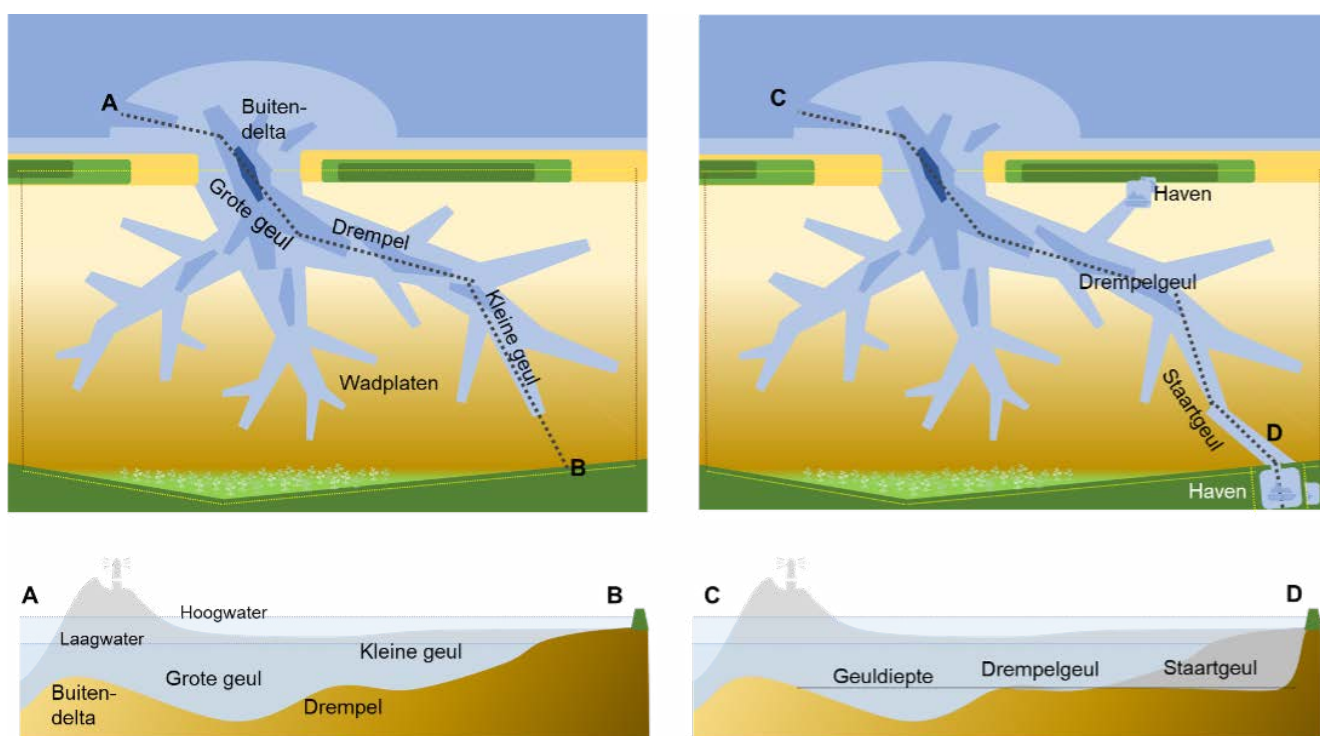
Samenhang met de fysische kenmerken en processen

De voorgaande paragrafen geven een overzicht van de verschillende typen baggergebieden die worden geïdentificeerd in de Waddenzee en de Eems-Dollard. Bij de verschillende gebieden is een overzicht opgenomen van de verschillende fysische processen die een rol spelen in de sedimentatie en daarmee voor het baggeren. In deze paragraaf worden de verschillende gebieden met elkaar vergeleken en geplaatst in het conceptuele model voor de sedimentatie in de Waddenzee.

Ruimtelijke variatie

Basis voor het denkmodel zijn de schematische kaart en de bijbehorende dwarsdoorsnede van een kombergingsgebied in de Waddenzee, zoals weergegeven in de linkerzijde van Figuur 2-4. In elk kombergingsgebied is sprake van een of meerdere grote geulen in het zeegat. De omvang van de geulen wordt vooral gekarakteriseerd aan de hand van het doorstroomoppervlak, waarbij grote geulen breed en diep zijn, terwijl kleine geulen smal en ondiep zijn. In het kombergingsgebied vertakt de grote geul in het zeegat steeds verder, waarbij de omvang van de geulen gaandeweg afneemt (Eysink, 1979). Achter in het bekken, aan de grens met land en bij de wantijen (de grenzen met de aanliggende kombergingsgebieden) zijn de geulen smal en ondiep. De geultjes lopen niet door tot aan het vasteland en alleen in uitzonderlijke gevallen lopen de geultjes door over het wantij naar het aangrenzende kombergingsgebied (Dijkema et al, 1980). Voor de compleetheit van het beeld is ook de buitendelta weergegeven, die zeewaarts van het zeegat ligt. De buitendelta is relatief ondiep, met zandbanken met daartussen geulen (zie §2.2).

In de dwarsdoorsnede AB aan de linkerkant in Figuur 2-4 is zeer schematisch het verloop van de diepte weergegeven, vanaf de buitendelta naar de achterzijde van het kombergingsgebied. De buitendelta is daarbij relatief ondiep, waarna de grote en diepe geulen veel diepgang bieden. Verder landinwaarts neemt de diepte van de geulen af. In de geulen bevinden zich meerdere drempels (in de schematische dwarsdoorsnede is één drempel opgenomen), die steeds minder diep zijn naarmate je verder landinwaarts komt. Uiteindelijk eindigt de dwarsdoorsnede AB op de droogvallende wadplaat. Aan de rechterzijde van Figuur 2-4 is de situatie weergegeven met een haven aan de landzijde en aan de eilandzijde, met geulen die tot aan de havens lopen. In de dwarsdoorsnede CD (aan de rechterzijde van Figuur 2-4) is zichtbaar dat vanwege de scheepvaart de geul aan de landzijde is verlengd tot aan de haven, waardoor hier sprake is van een staartgeul. Ook is de drempel verdiept, waardoor sprake is van een drempelgeul.

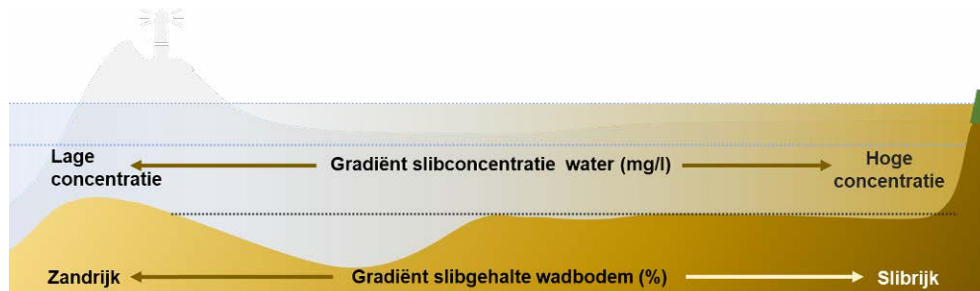


Figuur 2-4 Schematisch kombergingsgebied (boven) met dwarsdoorsneden (onder) van de situatie zonder baggeren (links, dwarsdoorsnede AB) en met baggeren en havens (rechts, dwarsdoorsnede CD).

In de kaarten en de schematische dwarsdoorsneden in Figuur 2-4 is met een kleurverloop een indicatie gegeven van het slibgehalte van de bodem. Het slibgehalte in de bodem van de Waddenzee is het hoogst achter in de kombergingsgebieden, bij de kwelders of de dijk die de landwaartse begrenzing vormen (Colina Alonsa, 2020; Oost et al., 2020). Het slibgehalte is ook hoog bij de wantijen tussen de kombergingsgebieden. Nabij het zeegat is het slibgehalte laag. Hierbij past de opmerking dat de bodem van de geulen over het algemeen rijker aan zand is dan de aangrenzende wadplaten (Van Straaten, 1954; Oost & de Boer, 1994, Van der Spek 1996). Het slibgehalte in de waterkolom van de Waddenzee heeft een vergelijkbaar verloop als het slibgehalte in de bodem (Dijkema et al., 1979; Herman et al., 2018 & 2020). Nabij het zeegat zijn de concentraties laag en achter in de kombergingsgebieden zijn de concentraties hoog. De twee gradiënten in het slibgehalte zijn aangegeven in de schematische dwarsdoorsnede in Figuur 2-5. Onder invloed van diffusieprocessen zou de gradiënt in de slibconcentratie in het water geleidelijk verdwijnen, maar vanwege de diverse mechanismen die een landwaarts transport van fijn sediment stimuleren (getij-asymmetrie, settling en scour lag, estuariene circulatie en biologische processen, zie Oost & de Boer, 1994) blijft deze gradiënt bestaan. Voor de

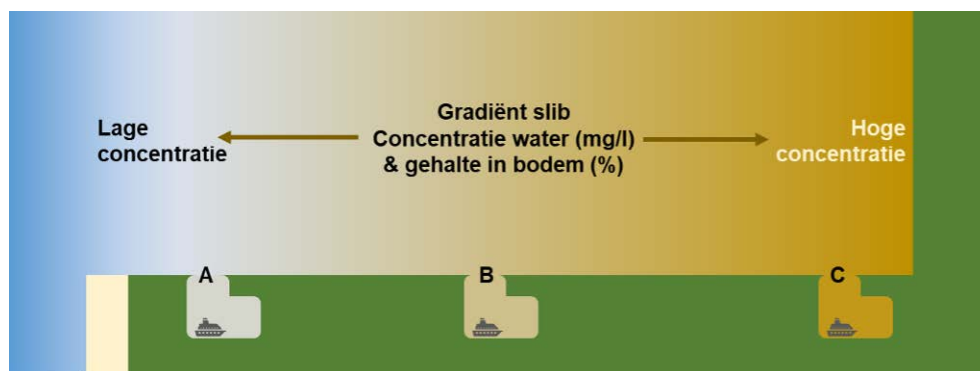
sedimentatie en het baggeren in de geulen is het gevolg van deze gradiënten dat de samenstelling van de baggerspecie mede afhankelijk is van de locatie in het kombergingsgebied. Baggerlocaties in de geulen nabij het zeegat zullen zandrijker zijn dan baggerlocaties aan de landzijde van het kombergingsgebied.

Figuur 2-5 Schematische dwarsdoorsnede van een kombergingsgebied met de twee gradiënten, in de concentratie slib in de waterkolom en in het slibgehalte van de bodem.



Voor de sedimentatie in de havens betekent de gradiënt in de slibconcentratie in het water dat de randvoorwaarden aan de haveningang afhankelijk zijn van de locatie in het kombergingsgebied. Deze afhankelijkheid is schematisch weergegeven in Figuur 2-6. Bij een haven nabij het zeegat zal de concentratie slib in de waterkolom lager zijn dan bij een haven nabij de landwaartse begrenzing van het kombergingsgebied. Het gevolg van het verschil in slibconcentratie bij de haven is een verschil in de sedimentatiesnelheid van het slib, die nabij het zeegat lager zal zijn dan nabij de landwaartse grens van het kombergingsgebied. Nota bene, dit verschil in sedimentatiesnelheid voor slib betekent niet dat de gemiddelde sedimentatiesnelheid in de havens ook verschilt, omdat ook de sedimentatie van zand daaraan bijdraagt.

Figuur 2-6 Schematisch bovenaanzicht van een kombergingsgebied met havens op drie verschillende locaties (A, B en C) ten opzichte van de gradiënt in het slib.



Temporele variatie

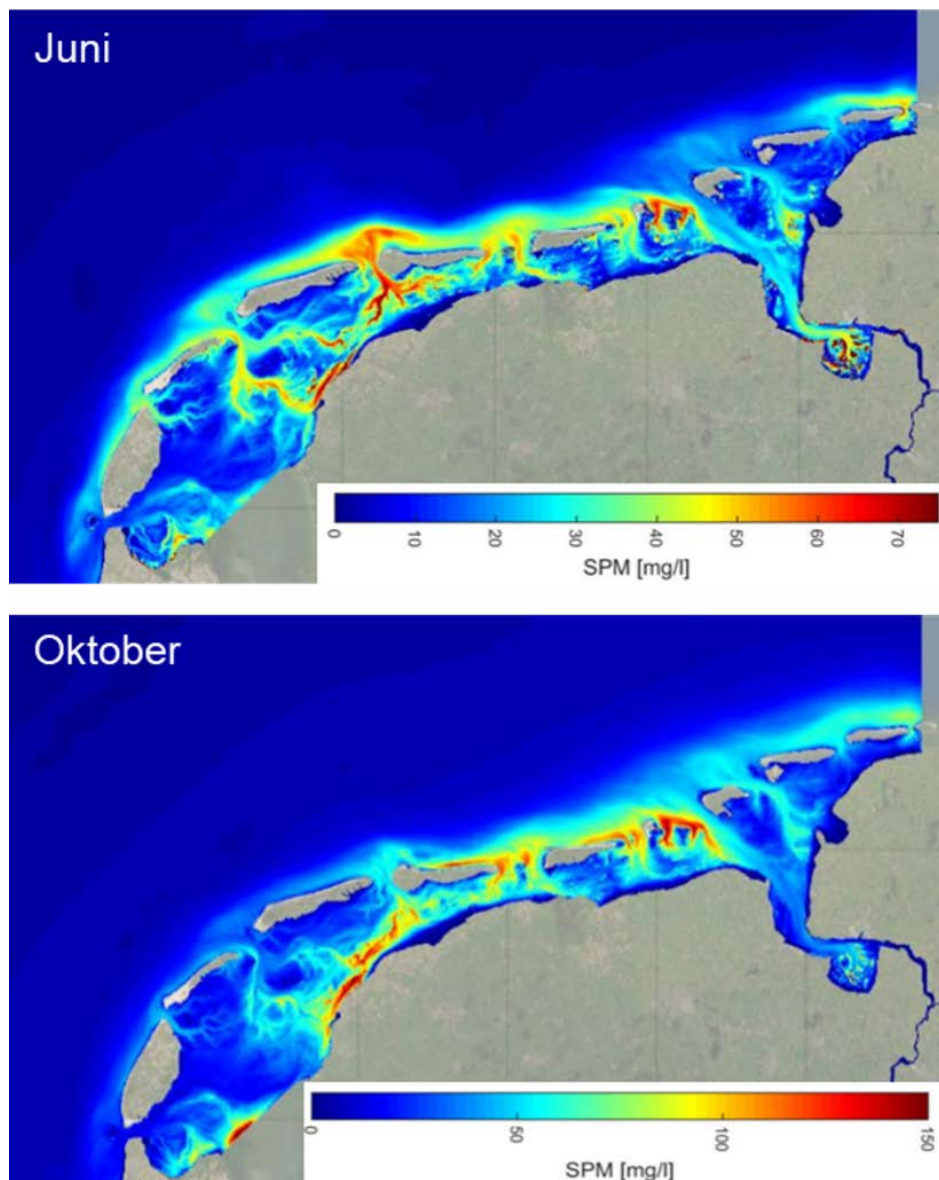
Het slibgehalte in het water van de Waddenzee varieert gedurende de seizoenen, met gemiddeld de laagste concentraties in de zomermaanden en de hoogste concentraties in de wintermaanden (de Vries et al., 2018; Herman et al, 2018 & 2020). Modelberekeningen van de achtergrondconcentraties laten deze seizoensverschillen ook zien, zoals getoond in Figuur 2-7). De allerhoogste concentraties slib in de waterkolom treden op tijdens stormen (zie bijvoorbeeld Bartholomä et al., 2009 voor waarnemingen uit de Duitse Waddenzee). Observaties aan het slibgehalte in de bodem wijzen ook op seizoensvariaties, waarbij een laag slib wordt opgebouwd op sommige wadplaten (Janssen-Stelder, 2000; Colosimo et al., 2020), maar dit is minder structureel gemeten dan slibgehalte in het water. Voor de sedimentatie van slib in havens en bij baggerlocaties betekenen de variaties dat de snelheid waarmee de sedimentatie optreedt varieert over de seizoenen. Tijdens en direct na stormen kunnen zeer hoge sedimentatiesnelheden optreden.

Complicerende processen

Naast de sedimentatieprocessen die hierboven zijn beschreven bij havens, staartgeulen en drempelgeulen, zijn er ook andere processen die kunnen leiden tot sedimentatie en die aanleiding geven tot baggeren.

Op de bodem van havens en vaargeulen waar sprake is van hoge slibconcentraties, kan bij de bodem een laag 'fluid mud' ontstaan (McAnally, et al., 2007). De naam 'fluid mud' is een goede weergave van de eigenschappen ervan: er is sprake van zeer hoge concentraties van slib in het water, maar het gedraagt zich nog wel als een vloeistof en niet als een vaste bodem. Fluid mud kan op verschillende manieren leiden tot complicaties. Zo kan bij een peiling van de diepte de bovenzijde van de fluid mud worden aangezien voor de vaste bodem. Op dat moment lijkt de geul of haven ondieper dan deze eigenlijk is, want fluid mud is in veel gevallen nog wel doorvaarbaar (Kirichek, 2018). Indien op basis van een dergelijke peiling wordt gebaggerd, kan dit leiden tot minder effectief baggeren, omdat de dichtheid van het opgebaggerde mengsel dan lager is dan bij het baggeren van een vaste bodem.

Figuur 2-7 Berekende maandgemiddelde concentratie slib (SPM: Suspended Particulate Matter) in de waterkolom in juni (boven) en oktober (onder) 2017 aan het oppervlak in [mg/l], uit Vroom et al. (2020). Let op het verschil in de gehanteerde schaalverdelingen voor juni en oktober.



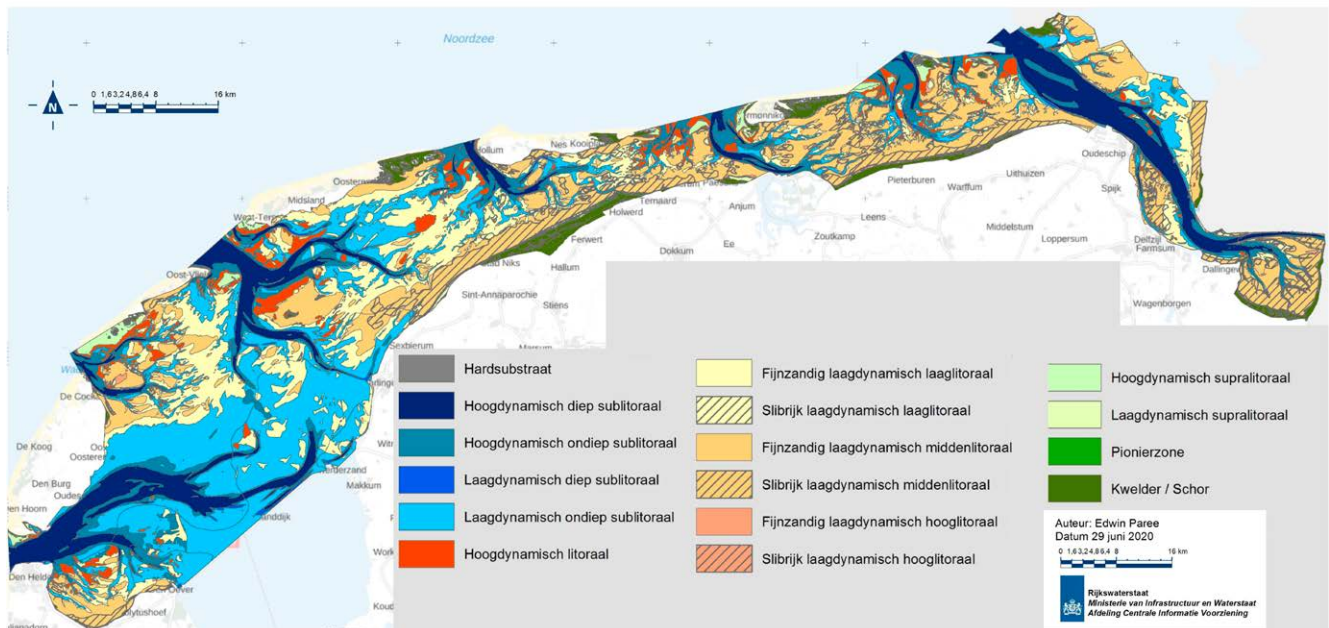
Bij een plaatval of een oeverval stroomt in een kort tijdsbestek (minuten tot uren) sediment van de geulwand naar de bodem van de geul (Van den Berg et al., 2002). Dat betekent dat lokaal op de geulbodem in een kort tijdsbestek een verondieping ontstaat. Het kan nodig zijn om zo'n lokale verondieping weg te baggeren, omdat de minimale diepte wordt onderschreden. Voor de Westerschelde is geïnventariseerd waar en wanneer plaatvallen zijn opgetreden (Van Dijk et al., 2018), voor de Waddenzee zijn deze wel genoemd, maar niet gerapporteerd.

2.4

Ruimtelijke verdeling van de ecologische kenmerken

In de voorgaande paragrafen in dit hoofdstuk is een beeld geschetst van de morfologische kenmerken van de kombergingsgebieden. Hiermee wordt onder andere duidelijk waarom de sedimentatiesnelheden van slib bij de havens aan de vastelandskust (veel) hoger zijn dan in de havens op Waddeneilanden. Ook geeft het denkmodel inzicht in de te verwachten (relatieve) gevolgen van het baggeren en verspreiden in de verschillende delen van het waddengebied. De verhoging van de slibconcentraties ten opzichte van de achtergrondconcentraties zal door het verspreiden van slib nabij de vastelandskust relatief lager zijn dan bij het zeegat. Voor het beschouwen van de ecologische gevolgen van baggeren en verspreiden is het wenselijk om ook een conceptueel model van ruimtelijke distributie van de ecologische kenmerken te hebben. De ecologische kwaliteiten zijn niet gelijk verdeeld over en binnen kombergingsgebieden, zoals zeer duidelijk blijkt uit de concentraties aan ecologische hotspots in de meest oostelijke kombergingsgebieden (Van der Heide, 2021). Met een conceptueel model van ruimtelijke distributie van de ecologische kenmerken kan op voorhand, voordat lokale en regionale waarnemingen en metingen worden geanalyseerd, worden beschouwd welke ecologische gevolgen optreden door het baggeren en verspreiden in de verschillende delen van de kombergingsgebieden. In deze paragraaf wordt een voorzet gegeven voor een dergelijk denkmodel, op basis van en beperkt aantal bronnen.

De ecotopenkaart van de Waddenzee vormt de basis voor de ruimtelijke verdeling van de ecologische waarden (Christianen et al, 2015; Baptist et al, 2016; Baptist et al, 2019a; Paree et al, 2023; Figuur 2-8). In de ecotopenkaart worden de abiotische kenmerken van de kombergingsgebieden, die relevant zijn voor de verschillende organismen en leefgemeenschappen gecombineerd. De basis hiervoor is gelegd in het Zoutwater ecotopenstelsel-ZES (Bouma et al 2005). De ecotopenkaart is direct te verbinden met het conceptuele model voor de kombergingsgebieden, omdat wordt uitgegaan van dezelfde abiotische waarden. Hieronder wordt een overzicht gegeven van een aantal sleutelcomponenten in de ecotopenkaarten, waarbij de kwelder-, strandvlakte- en duinecotopen buiten beschouwing worden gelaten, omdat de meeste bagger- en verspreidingslocaties niet in het directe bereik van deze ecotopen liggen.



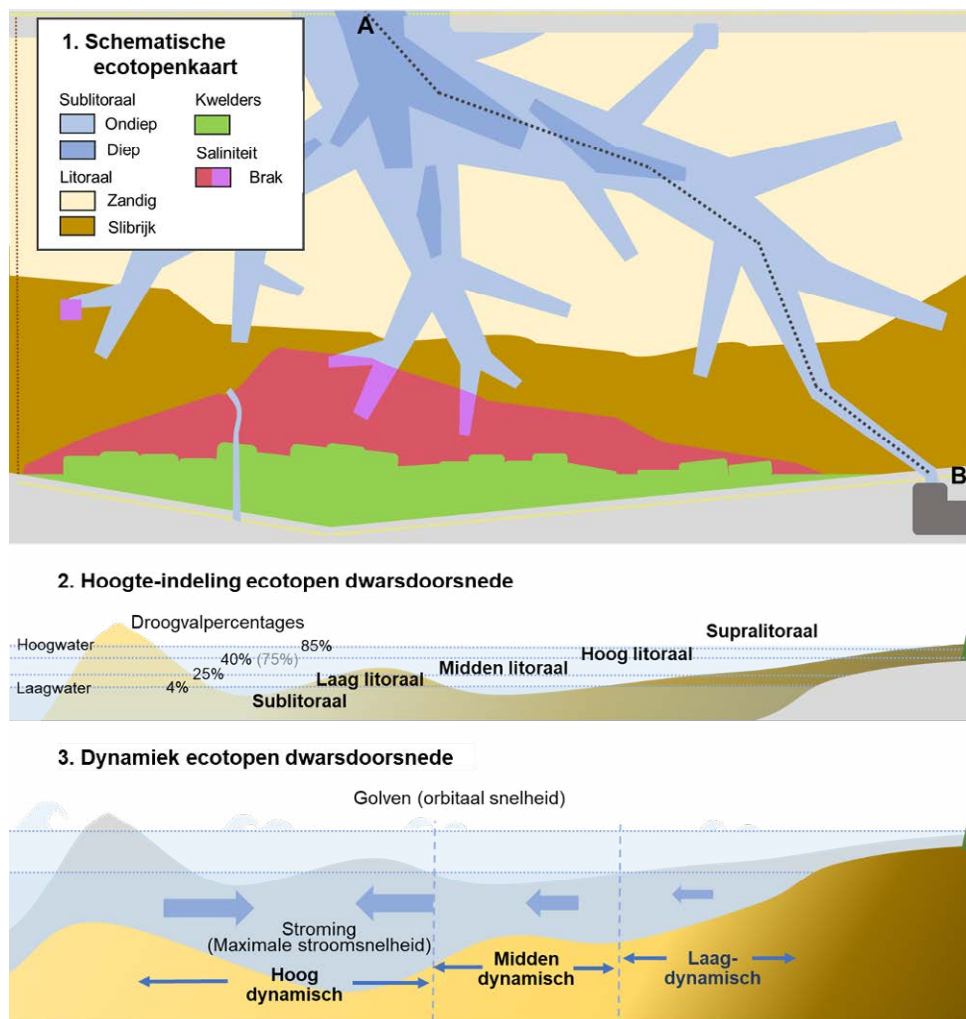
Figuur 2-8 Ecotopenkaart van de Waddenzee (Baptist et al, 2016).

In Figuur 2-9 worden een aantal van de abiotische parameters getoond in een schematische weergave van een kombergingsgebied. De hierbij gehanteerde begrippen (zoals gehanteerd in Paree et al., 2023) worden hieronder toegelicht:

- › **Sublitoraal – Litoraal – Supralitoraal:** Het onderscheid heeft betrekking op de ligging ten opzichte van het niveau van laagwater, waarbij de sublitorale delen onder het niveau van laagwater liggen en nooit droogvallen. Het litoraal betreft de delen die wel droogvallen tijdens laagwater. Er zijn ook delen die vrijwel nooit overstromen, omdat deze dermate hoog zijn dat alleen de hoogwaterstanden tijdens springtij of stormen voldoende hoog reiken voor het overstromen. Dit zijn de supralitorale delen.
- › **Hoog dynamisch – midden dynamisch – laagdynamisch:** De dynamiek heeft betrekking op het transport van zand en de daardoor optredende veranderingen in de bodem. De stroming door het getij, wind en golven veroorzaakt het transport van zand en ook de golven dragen bij. Deze classificatie is gebaseerd op een combinatie van maximale stroomsnelheid en orbitaalsnelheid (golven).
- › **Sublitoraal diep – ondiep:** De grens tussen diep en ondiep water wordt op 5 m onder het niveau van laagwater gelegd.
- › **Litoraal hoog-midden-laag:** De hoogteverschillen op en tussen wadplaten worden beschouwd aan de hand van de lokale droogvalpercentages (Rappoldt et al, 2023). De hoge delen vallen lang droog en de lage delen vallen kort droog. Voor het laag litoraal betekent dit een gemiddelde droogvalduur van 4-25 %, voor het middel litoraal is dat 25 -40% en voor het hooglitoraal is het 40 - 85 %. Boven de 85% droogvalduur begint het supralitoraal.
- › **Litoraal Grof zandig – Zandig – Slibrijk:** Het slibrijke sediment bestaat voor meer dan 15% uit fijn sediment, het andere sediment wordt aangemerkt als grof zandig uit minder dan 3% slib bevat, en het zandig zit daar tussen in.
- › **Zoutgehalte en variaties in het zoutgehalte:** Het zoutgehalte van het water en de variatie die daarin optreedt in de tijd zijn bepalend voor de aan- en afwezigheid van bepaalde bodemdieren.

Figuur 2-9 Geschematiseerde weergave van de ecotopenkaarten voor een komborgingsgebied in de Waddenzee, in 1. Kaart; 2. Dwarsdoorsnede met de hoogte-indeling in het intergetijdegebied; 3. Dwarsdoorsnede met de dynamiek.

Bovenstaande indelingen zijn deels aanpassingen van eerder gehanteerde classificaties, op basis van een validatie van het voorafgaande ecotopenstelsel voor de Waddenzee door Van Donk & Baptist (2021). De aanpassingen betreffen het opschuiven van de grens tussen midden en hoog litoraal van 75% naar 40%, het toevoegen van het midden-dynamisch en de verschuiving van 25% naar 15% slib voor slibrijk sediment.



Vanuit de (gegeneraliseerde) ecotopenkaart worden verbanden gelegd met de bodemdiergemeenschappen en de daarop foeragerende wadvogels, zoals is aangegeven in de geschematiseerde dwarsdoorsnede in Figuur 2-10. Eerst wordt naar de primaire productie door algen gekeken.

In de Nederlandse Waddenzee vindt de primaire productie vooral door zwevende algen in de waterkolom (fytoplankton) en bodemalgen die op en in de wadbodem leven (microfytobenthos) plaats. Beide groepen algen hebben voldoende licht en nutriënten (fosfor, stikstof, en silicium als het kiezelwieren betreft) nodig om te kunnen groeien. In het algemeen bepaalt de variatie in de beschikbaarheid van licht en nutriënten de productie, groei en biomassa van deze algen, zowel gedurende het jaar (seizoenaal) als op langere termijn (Colijn & De Jonge, 1984; Van Beusekom et al., 2019; Jacobs et al., 2020; Brinkman & Jacobs, 2023). Voor het fytoplankton wordt de beschikbaarheid van licht bepaald door de instraling en de helderheid van het water, voor microfytobenthos vooral

door de instraling, sedimentsamenstelling en de droogvalduur van de wadplaten (aangenomen wordt dat deze algen niet produceren als er water op staat).

Ook ruimtelijke verschillen worden (mede) door de absolute en relatieve beschikbaarheid van licht en nutriënten bepaald, zo vonden Brinkman & Jacobs (2023) in het Eems estuarium een langjarige afname in primaire productie van fytoplankton waarbij de afname in de Dollard vooral veroorzaakt was door een langjarige afname in de helderheid van het water en de afname nabij de Noordzee vooral door een afname in nutriënten.

Waarnemingen laten zien dat hoge dichtheden van benthische algen sterk zijn gekoppeld aan de slibgehalten van de bodem (Van der Wal et al., 2010). Omdat de verdeling van slib in de bodem van de wadplaten een duidelijke ruimtelijke verdeling kent, met de laagste gehalten nabij het zeegat en de hoogste waarden bij de vastelandskust en de wantijen, kent de dichtheidsverdeling van de benthische algen een vergelijkbare ruimtelijke verdeling.

Voor litorale zeegrasvelden (*Zostera marina* en *Zostera noltii*) laten de verspreidingskaarten en de habitatgeschiktheidskaarten (Folmer, 2019) zien dat de waargenomen en verwachte verspreiding verschilt binnen de verschillende kombergingsgebieden, waarbij lokale variabelen (zoals golven, sedimentsamenstelling, aanwezigheid van wadpieren, zie Folmer, 2019) samen bepalen waar vestiging mogelijk is.

Voor mossel- en oesterbanken in het litoraal geldt dat direct nabij de zeegaten waar sprake is van relatief grote dynamiek onder invloed van binnenvallende golven en stroming geen stabiele banken worden aangetroffen (https://shiny.wur.nl/Schelpdiermonitor_Banken/). Ook in het sublitoraal worden op sommige locaties schelpdierbanken en hoge dichtheden van schelpdieren aangetroffen (Troost et al., 2022).

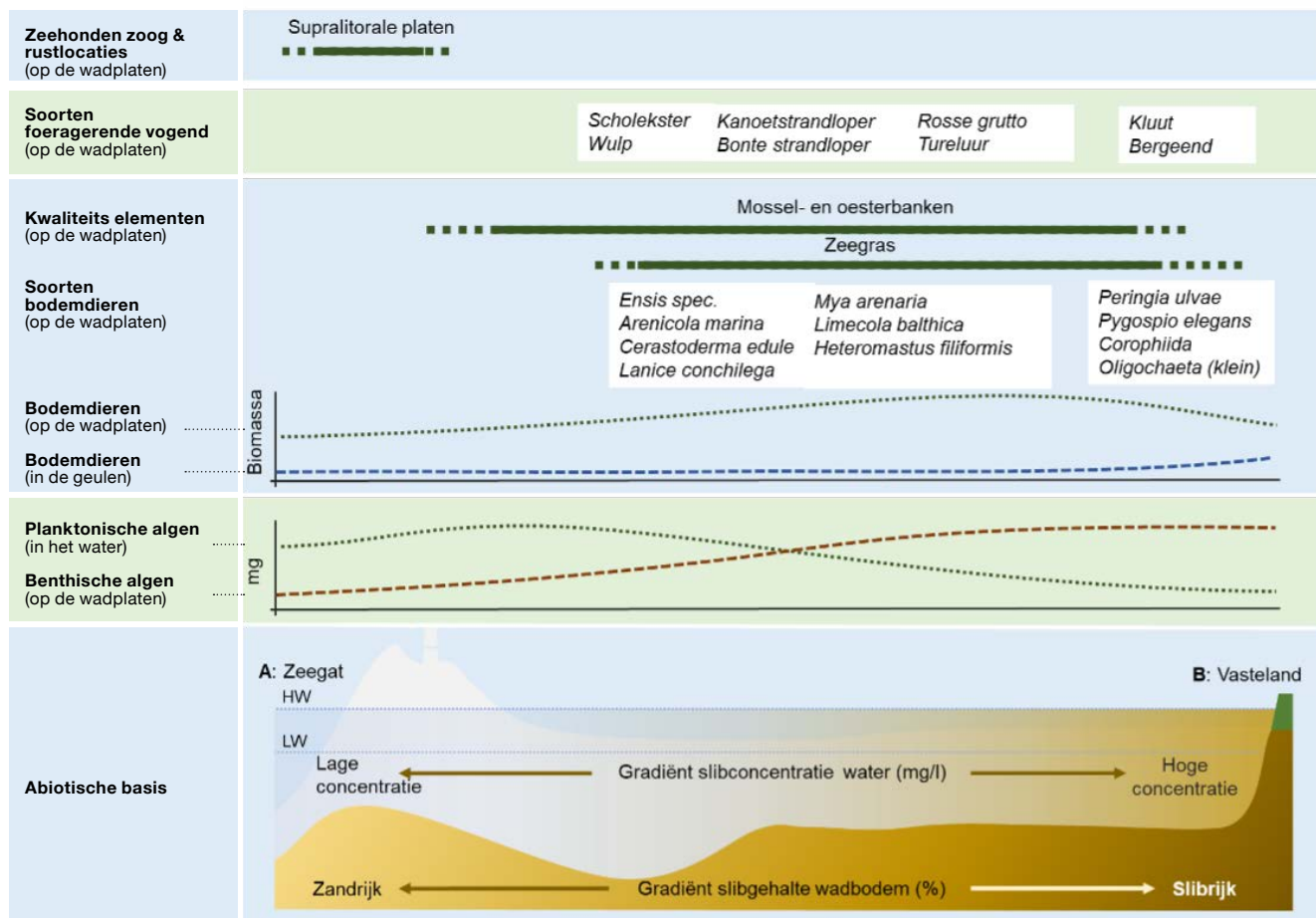
De verdeling van de bodemdieren die in en op droogvallende wadplaten leven lijkt afhankelijk te zijn van een aantal omgevingsvariabelen van de betreffende wadplaten, waarvan de droogvalduur, het slibpercentage en de biomassa van de bodemalgen de meest uitgesproken factoren lijken te zijn (Beukema, 1976; Van de Kam et al, 1999; Folmer et al, 2017; Compton et al., 2013). Op grotere tijdschaal (Philippart et al., 2007) en op grotere ruimteschaal (Herman et al., 1999) is er een positief verband gevonden tussen de productie van het fytoplankton en de biomassa van bodemdieren. Daarnaast is er voor een aantal soorten waarschijnlijk een relatie met de saliniteit (Folmer et al., 2017).

In Donker & Baptist (2021) is een analyse uitgevoerd van de verdeling van de bodemdieren (biomassa en soorten) over de ecotopen. Voor de getijdegeulen geldt dat overwegend sprake is van hoge dynamiek. Desondanks is op sommige plaatsen van sprake van hoge dichtheden en aantallen van schelpdieren, zoals *Ensis* (zie bijvoorbeeld de schelpdiermonitor: https://shiny.wur.nl/Schelpdiermonitor_WaddenSublit/).

Ook voor de ruimtelijke verdeling van de verschillende vogelsoorten die foerageren op drooggevallen wadplaten zijn er verschillende relaties met de abiotische kenmerken van het kombergingsgebied (hoogte en droogvalduur percentage van de wadplaten, percentage slib in de bodem), met de aanwezigheid en ruimtelijke verdeling van hoogwatervluchtplaatsen en met de ruimtelijke verdeling van de bodemdieren in het dieet van de verschillende vogelsoorten (zie onder andere Ens et al, 2015; Folmer et al., 2021; Duijns et al, 2023). Omdat de verschillende vogelsoorten ook nog eens eigen foerageerstrategieën hebben en verschillend gedrag vertonen als het gaat om het gebruik van de hoogwatervluchtplaatsen en vliegen over waterlichamen, levert dit een complex beeld van de verdeling van de verschillende vogelsoorten over de kombergingsgebieden. Alleen van

de vogels met een sterke voorkeur voor het foerageren in zeer slibrijke omgevingen, zoals kluten en bergeenden (van de Kam et al., 1999; Kleefstra et al., 2011) kan worden aangegeven waar deze voornamelijk aanwezig zijn.

Voor de ligplaatsen waar (grijze en gewone) zeehonden in grotere aantallen rusten, werpen, zogen en verhareen geldt dat deze voornamelijk worden aangetroffen op de hogere zandplaten nabij de zeegaten (Beheerplan Waddenzee, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016).



Figuur 2-10 Conceptueel model van ruimtelijke distributie van de ecologische kenmerken in de vorm van een dwarsdoorsnede met verschillende ecologische kenmerken van de kombergingsgebieden.

De landwaartse grens in het model in Figuur 2-10 is de haven, maar het kan ook de situatie presenteren ter plaatse van het wantij. In het geschematiseerde model is geen onderscheid aangebracht in het habitat onderwater, dat allemaal behoort tot de getijdegeulen, met hoogdynamische condities door de sterke getijdestroming. De variaties in de onderwater habitats wordt ondertussen steeds duidelijker (Meijer et al., 2023). In met name de westelijke Waddenzee zijn enkele grote gebieden die permanent onder water liggen, maar waar geen sprake is van een uitgesproken geulpatroon (Oost et al., 2019). De veranderingen in de bodemligging in deze gebieden zijn ook anders dan bij getijdegeulen. Deze gebieden zijn sublitorale plaatgebieden genoemd in Oost et al. (2019). De abiotische condities in de sublitorale plaatgebieden zijn anders dan bij de getijdegeulen, maar verschillen onderling ook duidelijk. Met name in het luwe gebied Java-Ruggen, is sprake van relatieve rijke gemeenschappen van bodemdieren, waaronder sublitorale mosselbanken (Witteveen + Bos, 2021).

Het hier gepresenteerde conceptuele model is bedoeld als een voorzet, waarmee de toepasbaarheid en bruikbaarheid kan worden getest. Het is een extreme versimpeling van het complexe ecosysteem, dat per definitie geen recht doet aan alle variaties, dynamiek en verwevenheden die in ruimte en tijd optreden. Indien het een bruikbaar middel blijkt te zijn, dan kan worden ingezet op verbetering en verfijning op basis van literatuur, expertkennis en gerichte data-analyse.

3

BAGGEREN EN VERSPREIDEN IN DE WADDENZEE

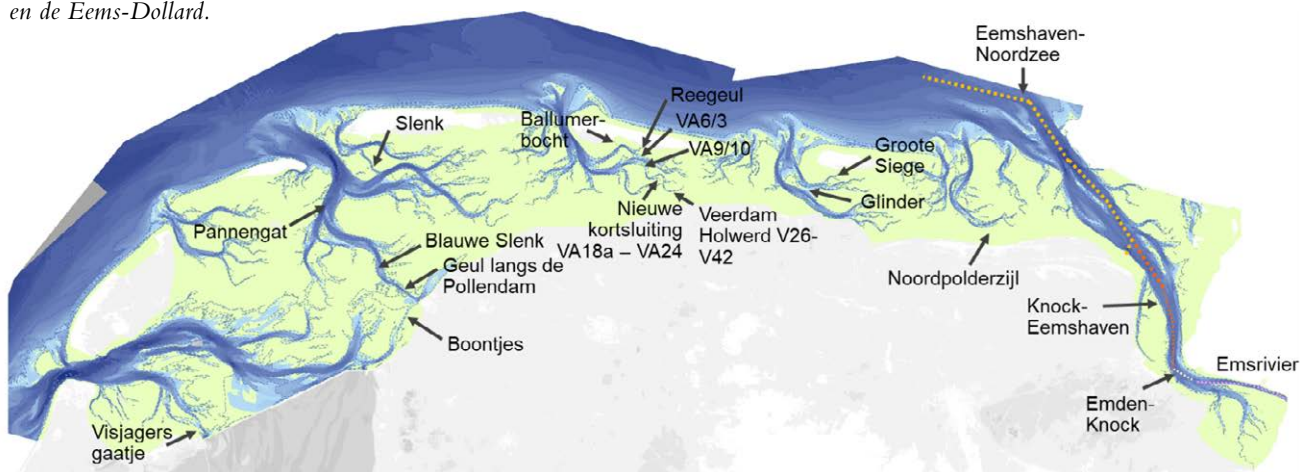
3.1

Inleiding

Baggeren in de Waddenzee en de havens aangrenzend aan de Waddenzee (Figuur 3-1) vindt plaats om de bereikbaarheid van de havens te garanderen voor schepen met een bepaalde diepgang en omvang. Daarmee is baggeren essentieel voor de bereikbaarheid van de eilanden, omdat de veerboten naar en van de eilanden allemaal gebruik maken van havens en vaargeulen waar wordt gebaggerd. Een deel van het opgebaggerde sediment (de baggerspecie) wordt verspreid op specifiek daarvoor geselecteerde verspreidingslocaties (of het wordt onttrokken aan de Waddenzee: zie Hoofdstuk 6). Een ander deel van de baggerspecie wordt tijdens het baggerproces in beweging gebracht en stroomt dan weg van de baggerlocatie. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op een aantal kennisvragen over het baggeren en verspreiden.



Figuur 3-1 Havens rond de Waddenzee en de Eems-Dollard.



Figuur 3-2 Overzichtskaart van de gebaggerde knelpunten in de Waddenzee en de Eems-Dollard.

3.2

Waarom (voor wie, welk doel)?

- › **3.1-4** *Wat is het doel van baggeren: vaargeulonderhoud voor bereikbaarheid en/of capaciteit en bruikbaarheid van havens (diepgang schepen)? Of zijn er andere redenen?*

De vaargeulen in de Waddenzee worden gebruikt door zowel schepen die naar havens varen als de veerboten die de bereikbaarheid van de eilanden verzorgen. Delen van de vaargeulen die te ondiep zijn (“knelpunten”) worden gebaggerd, zodat schepen zeker zijn van een minimale diepte. De locaties van knelpunten in de Waddenzee en Eems-Dollard zijn weergegeven in Figuur 3-2. Tabel 3-1 geeft de minimale diepte en andere dimensies van de knelpunten.

Het doel van het baggeren van de havens betreft de bruikbaarheid ervan voor het afmeren van schepen. De omvang van de haven en daarmee de oppervlakte die wordt gebaggerd is gekoppeld aan de capaciteit (= lengte van de kades + lengte van eventuele drijvende steigers) van de betreffende haven. De diepte tot waar de haven wordt gebaggerd is bepalend voor de scheepstypen, met specifieke diepgang, die kunnen afmeren. In grotere havens, met meerdere havenbekkens, of delen van havens met verschillende functies kan sprake zijn van verschillende dieptes voor verschillende delen. Voor de havens en delen van havens waarvoor Rijkswaterstaat verantwoordelijk is, zijn de dieptes van de verschillende delen van de havens opgenomen in Tabel 3-2.

De diepte tot waar een haven wordt gebaggerd kan groter zijn dan de diepte die wordt aangehouden voor de vaarweg naar de haven. Dat heeft te maken met het getij. In de havens blijven schepen over het algemeen langer dan een getijdeperiode (van ruim 12 uur) liggen, waardoor sprake is van tenminste één laagwater. Het niveau van laagwater in combinatie met de diepte van de haven bepaalt dan de maximale diepgang van de schepen in de haven.

Tabel 3-1 *Afmetingen van frequent optredende knelpunten in de vaarroutes: dimensies bodembreedte en diepte, uit het Natura 2000-beheerplan Waddenzee Periode 2016-2022 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016).*

Knelpunten in de vaarroutes	Minimum bodembreedte	Maximum bodembreedte	Streefdiepte (= minimum diepte)	Baggerdiepte (= maximum diepte)
Visjagersgaatje	100 m	120 m	-3,5 m	-4 m
Pollendam	125 m	140 m	-7,5 m	-8 m
Blauwe Slenk	200 m	220 m	-7,5 m	-8 m
Pannengat	200 m	220 m	-7,5 m	-8 m
Slenk vanaf 1 april 2010	120 m	130 m	-5 m	-5,5 m
Veerbootroute naar Ameland vanaf Holwerd t/m VA 25	50 m	60 m	-3,8 m	-4 m
Reegeul	50 m	60 m	-3,8 m	-4 m
Glinder	55 m	60 m	-3,5 m	-4 m
Groote Siege	45 m	50 m	-3,5 m	-4 m
Inschot - Zuidwal	50 m	100 m	-3,5 m	-4 m
Boontjes	100 m	100 m	-3,8 m	-4,3 m
Toegangsgedul Eemshaven (verruiming 2016-2017 naar NAP -15 m)	286 m	300 m	-12,0 m	-13,0 m

De vaargeulen in de Waddenzee hebben op veel plekken een diepte die groter is dan de minimale diepte, zodat daar geen beperkingen optreden voor de diepgang van de schepen. De ondiepste delen ('drempels' en 'staarten', zie §2.2) worden gebaggerd. De ondiepste delen van de vaargeul kunnen soms nog wel worden gepasseerd bij een hogere waterstand dan laagwater (getijgebonden varen).

Het grootste deel van de baggerwerkzaamheden in de Waddenzee is in de afgelopen 25 jaar uitgevoerd vanwege het onderhoud van bestaande vaarwegen. Daarnaast hebben op verschillende locaties aanlegwerkzaamheden plaatsgevonden, waarvoor baggerwerkzaamheden zijn uitgevoerd:

- Drempelverwijdering vaarweg Harlingen-Noordzee (Mulder et al, 2005);
- Drempelverwijdering Boontjes (Ouwerkerk & Vuik, 2012; Colina Alonso et al., 2021);
- Bochtafsnijding Vaargeul Ameland (Grasmeijer & van Weerdenburg, 2020);
- Tijdelijke werkgeul versterking Afsluitdijk (Rijkswaterstaat, 2015);
- Verruiming vaargeul Eemshaven-Noordzee (Rijkswaterstaat, 2013).

Andere redenen voor het baggeren van havens en vaargeulen dan de scheepvaart zijn in de huidige situatie niet bekend. Het is niet uitgesloten dat in het verleden, toen zandwinning ten bate van vaargeulonderhoud was toegestaan, de vraag naar zand aanleiding is geweest tot het uitvoeren van baggerwerkzaamheden voor zandwinning.

- › **3.1-6** *Hoe wordt begrip bereikbaarheid gedefinieerd in het Waddengebied in relatie tot vaargeulen en havens? Welke dimensies (b.v. breedte en diepte) worden hierbij gehanteerd vanuit wet- en regelgeving, beheer- en beleid en wat zijn eisen vanuit nautische veiligheid? Hoe wordt hiermee omgegaan in het kader van b.v. de veerbootconcessies?*

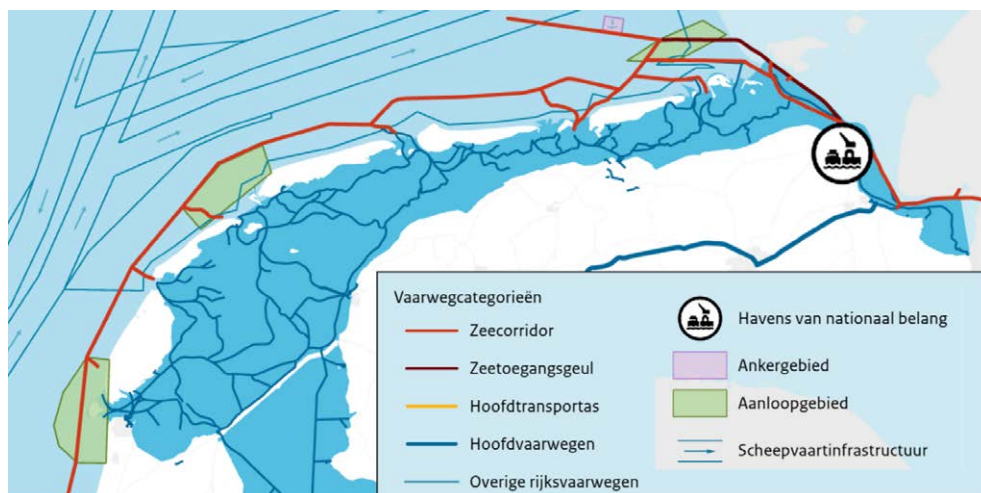
In de *planologische kernbeslissing Derde Nota Waddenzee* (Ministerie van VROM, 2007a & b) is de basistekst opgenomen over bereikbaarheid in relatie tot vaargeulen en havens: "De bereikbaarheid van havens en eilanden wordt gewaarborgd in de vorm van aanlegmogelijkheden voor veerboten en streefdieptes/normering voor de vaargeulen. Voor beide geldt het naar de streefdiepte/normering van 2006 te actualiseren uitgangspunt dat vaartuigen die op dat moment gezien hun diepgang en afmetingen de havens bij gemiddelde zeestand en wind konden aandoen dit ook in de toekomst moeten kunnen. Hierbij wordt rekening gehouden met de economische en technische ontwikkelingen in de scheepvaart. In aansluiting op natuurlijke ontwikkelingen in de vaargeuldiepte zijn incidenteel verdere verdiepingen van de hoofdvaargeulen mogelijk, onder de voorwaarde dat dit past binnen het afwegingskader zoals aangegeven in de pkb. Gezien de economische potenties van de havens van Den Helder, Harlingen en Delfzijl alsmede de Eemshaven, kan voor de vaargeulen vanaf de Noordzee naar deze havens in uitzondering op de vastgestelde streefdieptes/normering tot verdere verdieping worden overgegaan, onder de voorwaarde dat dit past binnen het afwegingskader van deze pkb. Voor de vaargeul Harlingen-Noordzee zal het daarbij gaan om een verdieping tot minimaal 7,50 meter beneden NAP. "

De vaargeulen in de Waddenzee vormen een onderdeel van de Rijksvaarwegen² en de toegangseulen naar de Eems vormen een Zeetoegangseul en zijn onderdeel van de Zeecorridor (Figuur 3-3). Figuur 3-4 geeft een overzicht van de bevaarbaarheidsklasse voor de verschillende geulen.

² Rijksvaarweg: voor het openbaar verkeer van schepen openstaand oppervlaktewaterlichaam in beheer bij het Rijk als bedoeld in artikel 3.1 van het Waterbesluit, uitgezonderd de Noordzee, de Waddenzee, de Westerschelde en het IJsselmeer

De Richtlijnen Vaarwegen 2020 (Rijkswaterstaat, 2020) geeft de ontwerprichtlijnen voor nieuwe vaarwegen. In deze richtlijnen is nadrukkelijk opgenomen dat “bestaande vaarwegen daar niet in alle gevallen aan (kunnen gaan) voldoen”.

Figuur 3-3 Uitsnede uit de kaart ‘Vaarwegen’ uit het Nationaal Water Programma (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022)



Figuur 3-4 Vaarwegenkaart naar bevaarbaarheidsklasse (Rijkswaterstaat, 2008). Na 2008 heeft de drempelverwijdering in de Boontjes plaatsgevonden, waardoor deze bevaarbaarheidsklasse van de Boontjes is gewijzigd.



Vaarwegtype

- Hoofdtransportas
- Hoofdvaarweg
- Overige vaarweg

● sluizen

- △ primaire sluizen beheerd door Provincie
- primaire sluizen beheerd door Rijkswaterstaat

Aantal scheepsvaartpassages (beroeps- en recreatievaart, 2008)

- ▲/■ < 20.000
- ▲/■ 20.000 - 40.000
- ▲/■ 40.000 - 60.000
- ▲/■ 60.000 - 80.000
- ▲/■ 80.000 - 100.000
- ▲/■ > 100.000

Bevaarbaarheid

- II Kempenaar
- III Dortmund-Eemskanaalschip
- IV Rijn-Hernekanaalschip, eenbaksduwstel
- Va groot Rijnschip, eenbaksduwstel
- Vb tweebaksduwstel (lange formatie)
- Via tweebaksduwstel (brede formatie)
- Vlb vierbaksduwstel
- Vlc zesbaksduwstel

- › **3.1-5** Hoeveel schepen, en met welk formaat en diepgang, varen er van en naar industriehavens (Den Helder, Harlingen en Groningen Seaports) en van en naar de andere havens?

Gegevens over de aantallen schepen die gebruik maken van de verschillende havens worden per haven gerapporteerd. Een voorbeeld is het jaaroverzicht van de haven van Harlingen (<https://www.portofharlingen.nl/wp-content/uploads/2020/01/Jaarverslag-Haven-Harlingen-2019.pdf>). Daarbij is onderscheid gemaakt naar het aantal zeeschepen, binnenvaartschepen, vissersschepen, beroepszeilvaart (bruine vloot), riviercruiseschepen en zee-cruiseschepen. Het aantal recreatievaartuigen dat de haven heeft aangedaan of is gepasseerd, is hierbij niet opgenomen. Ook de veerboten naar Vlieland en Terschelling staan niet in het overzicht, waarbij wordt opgemerkt dat de veerhaven, die onderdeel vormt van de haven van Harlingen, in beheer is bij Rijkswaterstaat.

De verschillende havens worden beheerd door verschillende partijen. Een centraal overzicht van alle vaarbewegingen van en naar de havens van de Waddenzee, bijvoorbeeld op basis van de registraties in de havens, of op basis van AIS-gegevens (Automatic Identification System, waarmee schepen zeer frequent hun positie doorgeven, zoals live te volgen is op bijvoorbeeld <https://www.marinetraffic.com/>) is niet aangetroffen.

Gegevens over de diepgang en andere maatvoering van de schepen die havens bezoeken zijn niet gevonden. Gegevens over de diepgang van de schepen of scheeptypen zijn voor specifieke situaties (vaarweg Ameland: Alkyon, 2008, Westgat op de buitendelta van Schiermonnikoog: Arcadis, 2015) wel gerapporteerd.

Tabel 3-2 Dieptes van havens waar Rijkswaterstaat baggeractiviteiten laat uitvoeren uit de Passende beoordeling Baggeren en verspreiden in de Waddenzee (Arcadis, 2016). De delen van de veerhavens waarbij minimum diepte NAP 0 m is aangegeven, hoeven niet te worden gebaggerd, maar mogen dat wel indien dat voor het onderhoud van deze veerhavens nodig is.

Havens	Vak	Deel	Minimum diepte	Maximum diepte
Vlieland	1	Veerdienstgedeelte	-5,00	-5,25
	2	Sneldienstgedeelte	-4,00	-4,25
Holwerd	1	Veerdienstgedeelte	-3,50	-4,00
	2	Westkant	-2,50	-3,00
	3	Oostkant	-2,50	-3,00
Ballumerbocht		Vaargeul langs strekdam	-2,50	-3,00
Nes	1	Veerdienstgedeelte	-3,50	-4,00
	2	Voormalige rijkssteiger	-3,00	-3,50
	3	Toegangsgeul 't Leye	-2,00	-2,50
	4	Gat	-3,00	-3,50
Lauwersoog		Veerhaven	-3,75	-4,00
Schiermonnikoog	1	Veerdienstgedeelte	-3,50	-4,00
	2	Noordkant	-3,00	-3,50
Den Oever	1	Buitenhaven/toegang	-3,50	-4,20
	2	Buitenhaven	-3,50	-4,20
	3	Voorhaven	-4,00	-4,40
	4	Noorderhaven	-4,00	-4,40
	5	Waddenhaven	-3,20	-3,60
	6	Vissershaven	-4,00	-4,00

Breezanddijk		Noorderhaven	-3,50	-3,90
Kornwerderzand	1	Toegangsgeul	-3,50	-3,90
	2	Buitenhaven	-3,50	-3,90
	3	Voorhaven	-4,00	-4,40
Den Helder	A	Veerhaven	-6,50	-7,20
	B	Veerhaven	0,00	-7,20
Texel	A	Veerhaven	-4,00	-7,00
	B	Veerhaven	-6,00	-6,30
	C	Veerhaven	-6,50	-7,00
	D	Veerhaven	-7,00	-8,00
	E	Veerhaven	0,00	-7,50

- › **3.1-7** Het begrip “baggerproblematiek” vraagt om een nadere duiding en impliceert zowel de problematiek van het baggeren zelf als het verspreiden van sediment.

Baggerproblematiek als zodanig is niet gedefinieerd. Of het baggeren en verspreiden van de baggerspecie als een probleem wordt ervaren hangt samen met het perspectief van beschouwende partij. De beschrijving van de problematiek varieert van toenemende hoeveelheden, oplopende kosten, toenemende gevolgen, tot het niet op diepte kunnen houden van de vaarweg Holwerd-Ameland en de daaruit voortvloeiende gevolgen voor het onderhouden van de veerdienst.

- › **3.1-7** Wat is het verschil tussen vaargeulonderhoud en havenonderhoud in termen van effecten?

Het onderhoud dat hier wordt beschouwd betreft het baggeronderhoud en niet andere onderhoudswerkzaamheden, bijvoorbeeld aan de betonning, kades en andere infrastructuur. Het belangrijkste verschil tussen het baggeren van vaargeulen en havens is juridisch. De meeste havens zijn namelijk geen onderdeel van het Natura 2000-gebied Waddenzee en de vaargeulen zijn dat wel. Dit juridische verschil heeft betrekking op de effecten.

In termen van effecten zijn er geen verschillen die te maken hebben met de setting van het baggerwerk. Wel zijn er verschillen tussen bagger- en verspreidingstechnieken. In havens wordt vaak (tenminste voor een deel) met andere technieken gewerkt dan in vaargeulen. De verschillende technieken hebben verschillende effecten, zoals verderop in hoofdstuk 5 wordt toegelicht.

3.3

Waar (geografische positie, afbakening systeem, en habitats)?

- › **3.1-1** *Wat zijn de belangrijkste locaties in het Waddengebied inclusief havens waar wordt gebaggerd?*

Bij de beantwoording van deze vraag is de omvang van de baggerwerkzaamheden gebruikt als indicator voor het belang. Recente gegevens met de baggervolumes van de vaarwegen en enkele kleinere havens (die zijn opgenomen in het beheerplan Natura-2000 Waddenzee) zijn opgenomen in Witteveen + Bos (2022a), Wit & Mastbergen (2022) en Brils & Posthuma (2023). Tabel 3-3 geeft een overzicht van de gebaggerde volumes, waarbij het deelgebied Eems met de grootste volumes bovenaan staat. In een aantal deelgebieden (in Figuur 3-5 zijn dit: II: Eierlandse gat, V: Pinkegat, VII & IX: Groninger wad) wordt in het geheel niet gebaggerd, of zeer incidenteel (in Figuur 3-5 is VIII: Groninger wad). De gerapporteerde getallen voor alle havens en vaargeulen, zoals gerapporteerd door Brils & Posthuma (2023) zijn opgenomen in Bijlage A.

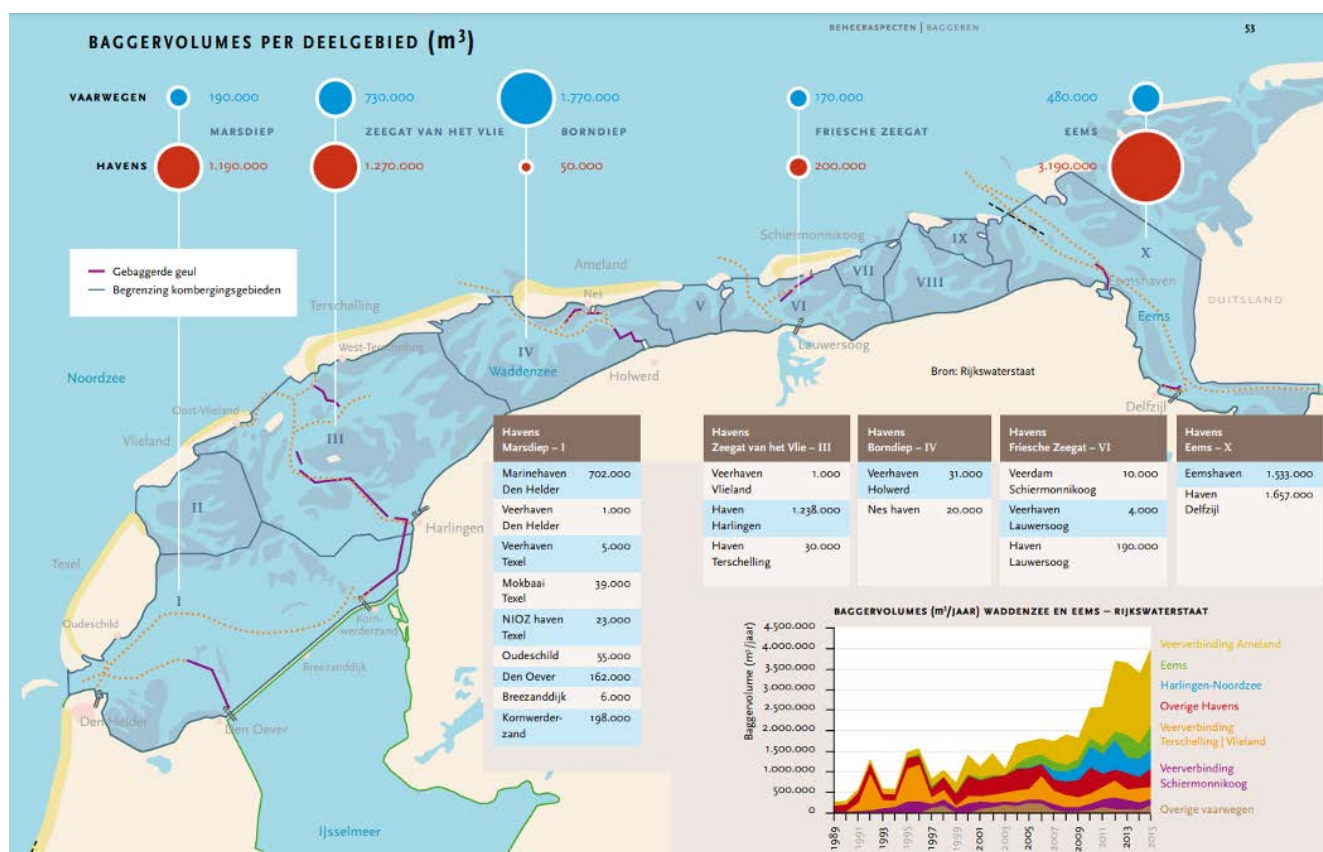
In Figuur 3-5 staat een overzicht van de gebaggerde hoeveelheden voor de havens en vaargeulen in de periode 2013-2015. Er zijn geen aanwijzingen dat de baggervolumes van de grote havens (Den Helder, Harlingen, Lauwersoog, Eemshaven, Delfzijl), die niet onder het beheerplan Natura-2000 Waddenzee vallen, wezenlijk zijn veranderd. De gebaggerde volumes in de vaargeul van de Eems zijn wel toegenomen (Dankers et al., 2022; Brils & Posthuma, 2023).

Tabel 3-3 *Overzicht van jaargemiddelde gebaggerde beunvolumes over de periode 2018-2022 in de Waddenzee, op basis van Brils & Posthuma (2023).*

Deelgebied	Totaal volume (in Mm ³)	Havens (in Mm ³)	Vaargeulen (in Mm ³)
Marsdiep	1,2	0,9	0,3
Vlie	1,8	1,1	0,7
Borndiep	1,6	0,1	1,5
Friesche Zeegat	0,4	0,2	0,2
Eems (NL)	4,5	1,61 ^a	2,9
Eems (totaal NL + D) ^b	13,1	2,83	10,27

- a. In het overzicht van baggervolumes van Brils & Posthuma (2023) staat Eemshavens. De haven van Delfzijl wordt hier niet apart vermeld. Op basis van de volumes zoals die onder andere zijn vermeld in ED2050 (2021) wordt verwacht dat de volumes van Delfzijl niet zijn opgenomen in dit getal. In ED2050 (2021) wordt voor gemiddeld 2019 en 2020 een gebaggerd volume van 1,59 Mm³ verwacht voor de haven van Delfzijl.
- b. Eems op basis van Kernteam basisonderzoek Wadden (2017) en Witteveen + Bos (2022a).

In de kaart in Figuur 3-5 zijn de gebaggerde geulen aangegeven als relatief lange delen van de geul. In de praktijk wordt in veel van deze geulen alleen op de drempelgebieden gebaggerd. Deze drempels omvatten slecht een klein deel van de geul. Uitzonderingen zijn het landwaartse deel van vaargeul Holwerd-Ameland en de geul bij de Ballumerbocht, die beide over een grotere lengte worden gebaggerd. Overzichtskaarten waarop alleen de gebaggerde delen van de geulen staan, zijn niet beschikbaar. Voor sommige geulen zijn wel beschrijvingen en kaarten beschikbaar (van der Vegt & Cleveringa, 2022 en specifiek studies voor Boontjes (Colina Alonso, 2021), Vaarweg Holwerd-Ameland (Grasmeijer et al., 2021 en referenties daarin) en Schuitengat-Slenk (Van Til & Cleveringa, 2018)).



Figuur 3-5 Overzichtskaart met de gebaggerde beun-volumes (gemiddeld per jaar over de periode 2013-2015) in de Waddenzee en de Eems uit Wadden in Beeld, 2016 (Kernteam basismonitoring wadden, 2017). Getallen per kombergingsgebied afgerond op 10.000 m³ per jaar en voor de havens op 1.000 m³ per jaar.

3.1-2 Wat zijn de belangrijkste locaties waar het gebaggerde sediment vervolgens wordt verspreid?

De driejaarlijkse tussenevaluatie van de verspreidingslocaties in de Waddenzee (Witteveen + Bos, 2022a; Witteveen + Bos, 2022b) en de Jaarrapportage Baggerwerkzaamheden Waddenzee 2022 (Brils & Posthuma, 2023) zijn de meest actuele bronnen van gegevens over de verspreidingslocaties in de Waddenzee. Een overzicht hieruit is overgenomen in Tabel 3-4. De kaarten met de verspreidingslocaties zijn opgenomen in Bijlage B. De locaties waar de meeste baggerspecie wordt verspreid, worden gebruikt voor het verspreiden van baggerspecie uit het deelgebied Eems. Dat is logisch, omdat in de Eems het grootste volume wordt gebaggerd. De locatie P1 ontvangt van deze locaties de meeste baggerspecie.

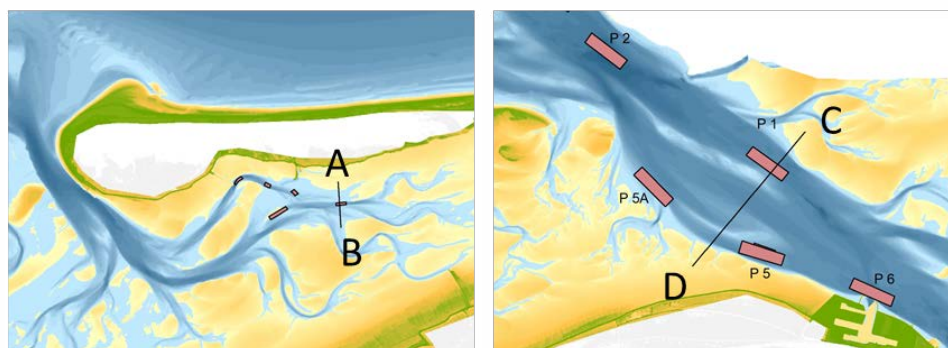
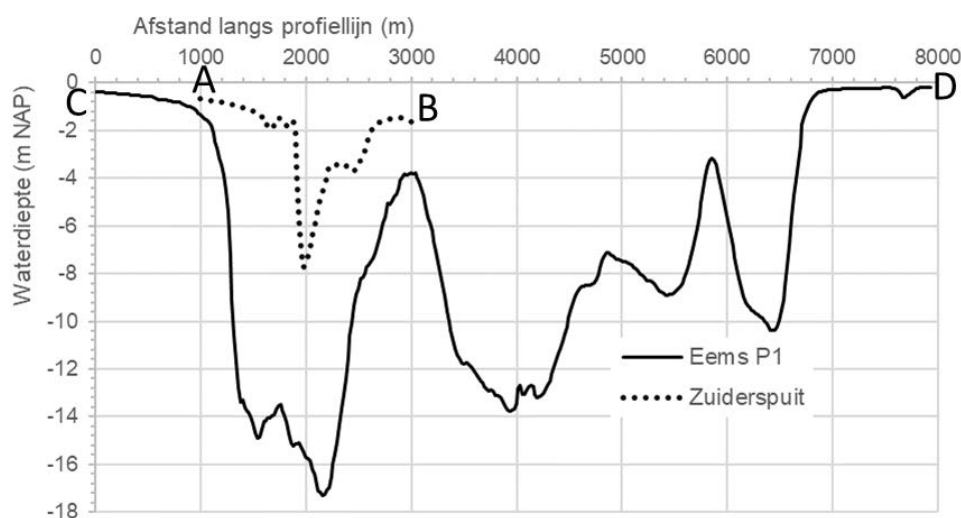
Buiten de Eems is de locatie Kimstergat 1 de verspreidingslocatie die de meeste baggerspecie ontvangt.

Tabel 3-4 Overzicht van de verspreide beunvolumes (in m³) per verspreidingslocatie in 2022 (overgenomen uit Brils & Posthuma, 2023).

Verspreidingsvak	Volume	Verspreidingsvak	Volume
Marsdiep		Borndiep	
Boontjes	62.494	Scheepsgat	356.055
Kornwerderzand	11.294	Zuiderspruit	538.579
Breezanddijk	-	Molengat/Ballummerbocht	1.641
Marsdiep	769.235	Molengat	21.274
Texelstroom 1	4.106	Kikkertgat	11.092
Texelstroom 2	-	Overdiepte VA18A ^c	68.083
Texelstroom 3	12.319	Overdiepte VA24 ^c	80.834
Oudeschild Noord	8.996		
Oudeschild Zuid	8.130	Friesche Zeegat	-
Malzwin	64.526	Oort/Lutjewad	144.960
		Gat van Schiermonnikoog 1	2.604
Vlie	-	Gat van Schiermonnikoog 2	1.016
Kimstergat 1	826.398	Zoutkamperlaag 1	679
Kimstergat 2/ Pollendam	402.868	Zoutkamperlaag 2	2.303
Blauwe slenk	417.058		
Vliestroom 1	3.729	Eems-Dollard	-
Schuitengat 1	27.552	P0	802.172
Schuitengat 2	118.393	P1	2.198.368
NO Meep 1	19.437	P3	398.403
NO Meep 2	8.363	P5	1.350.223
Vliesloot	7.255	P6	261.374
Harlingen Strand ^a	15.104		
Overig	-	Overig	-
In baggervak ^b	703.003	Onbekend ^d	118.200

Naast het beschouwen van de absolute omvang kan ook worden gekeken naar de omvang van de verspreidingslocatie ten opzichte van de omvang van de geul waar de verspreiding plaatsvindt. Daarvoor is Figuur 3-6 opgenomen, met dwarsdoorsnedes door de geulen ter plaatse van twee verspreidingslocaties met grootste verspreidingsvolumes voor het betreffende kombergingsgebied. In de figuur is zichtbaar dat de doorstroomoppervlakte van de geul Zuiderspruit beduidend kleiner is dan die van de geulen in Eems. De doorstroomoppervlakte (onder NAP -1 m) bij Zuiderspruit is 4.661 m², tegenover 54.389 m² bij P1 in de Eems-Dollard, dien daarmee 12 keer zo groot is. Het verspreidingsvolume bij Zuiderspruit is 538.579 m³/jaar ten opzichte van 2.198.368 m³/jaar bij P1 en dat is 4 keer zo groot. De relatieve omvang van het verspreidingsvolume in Zuiderspruit is daarmee beduidend groter dan de relatieve omvang bij P1.

Figuur 3-6 Dwarsdoorsnedes door de geulen bij de verspreidingslocaties Zuiderspruit (dwarsdoorsnede AB) in het kombergingsgebied Borndiep en P1 (dwarsdoorsnede CD) in de Eems-Dollard.



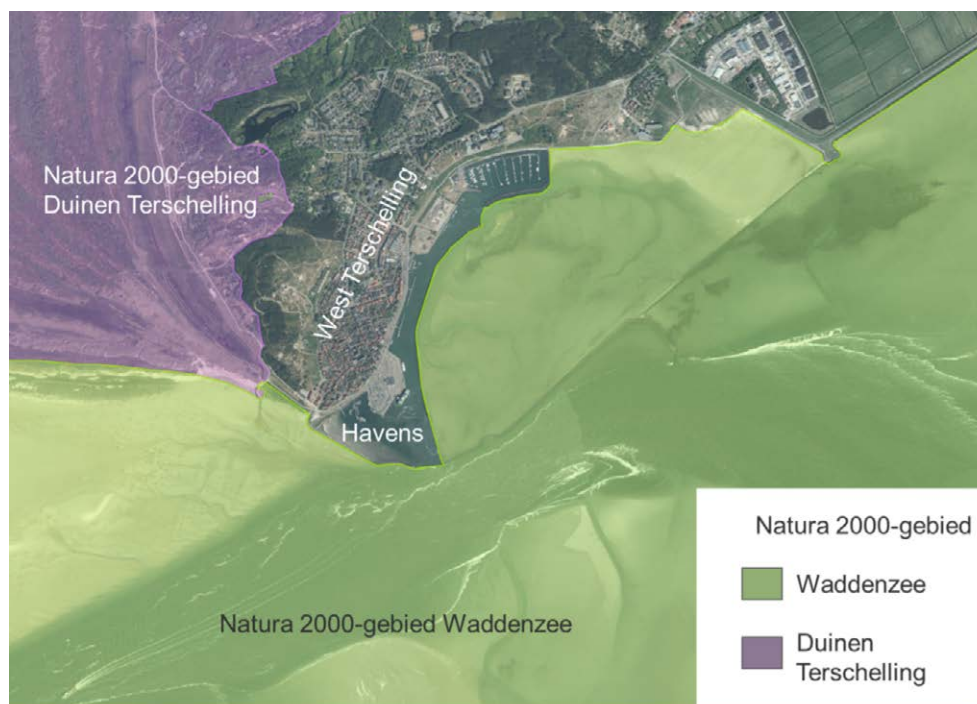
- Harlingen strand is geen verspreidingslocatie, maar een nuttige toepassing voor het recreatie strand ten zuiden van de haven van Harlingen.
- Dit betreft de op stroom gezette volumes (zie §3.5 voor toelichting).
- Dit betreft natuurlijke overdieptes (Overdiepte VA18A en Overdiepte VA24). Brils & Posthuma (2023) merken hierover op: "In principe is dit dus eigenlijk verspreiden in het baggervak zelf. Dit is gedaan naar aanleiding van stormen in februari die de geul hebben dichtgeslibd. Door deze twee locaties werd de vaarafstand verkort en daardoor dus de productie verbeterd zodat wel aan de nautisch vereiste diepte voldaan kon worden."
- Deze volumes zijn gebaggerd, maar hiervan is niet vermeld op welke locatie deze zijn verspreid.

In §3.7 is meer informatie opgenomen over de verspreidingslocaties.

- › **3.1-3** Hoe moet in dit kader de begrenzing van het systeem van het Waddengebied worden gedefinieerd?
 NB Volgens de Natura 2000 wetgeving vallen de havens voor wat betreft de baggerproblematiek buiten de regelgeving. Hoe wordt het systeem van het Waddengebied gedefinieerd vanuit het perspectief van morfologie (inclusief sedimentbudgetten) en ecologie?

De grens van het Natura 2000-gebied Waddenzee is zodanig gekozen dat de havens buiten het gebied vallen. Dit is heel duidelijk zichtbaar in Figuur 3-7 voor de situatie bij West-Terschelling. Hier loopt de grens over de havendammen. De veerdammen bij Vlieland, Holwerd, Ameland en Schiermonnikoog liggen buiten het Natura 2000-gebied, maar de aanlegplekken van de boten bij de veerdammen liggen binnen de begrenzing (Figuur 3-8). Dat havens buiten de begrenzing van het Natura 2000-gebied vallen betekent overigens niet dat er geen beoordeling van de effecten van het baggeren in de havens hoeft plaats te vinden, omdat de Wet natuurbescherming ook vraagt om een toets of beoordeling van de externe effecten.

Figuur 3-7 Natura 2000-gebieden bij West-Terschelling (bron: <https://www.natura2000.nl/gebieden>; 7 sept 2023).



Figuur 3-8 Natura 2000-gebied Waddenzee bij de veerdam bij Schiermonnikoog (bron: <https://www.natura2000.nl/gebieden>; 7 sept 2023)



Vanuit de fysica (morfologie) geredeneerd zijn de havens onlosmakelijk verbonden met de rest van de Waddenzee. Ieder getij worden water en sediment uitgewisseld tussen de Waddenzee en de havens. De grens van de Waddenzee ligt dan op de waterlijn van de hoogste waterstanden. Welke waterstand daar precies voor wordt gehanteerd is een discussie op zich, maar voor de uitwisseling van sediment met havenbekkens is het beschouwen van waterstanden die meerdere keren per jaar optreden voldoende.

Vanuit de ecologie wordt gekeken naar verschillende habitattypen. De habitattypen waar het onderhoudsbaggerwerk en het verspreiden plaatsvinden in het Natura 2000 gebied Waddenzee zijn H1110 Permanent overstromde zandbanken (Ministerie van LNV, 2014) en H1130 Estuaria (Ministerie van LNV, 2014). Het baggeren en verspreiden in het habitattype H1130 Estuaria vindt plaats in de Eems-Dollard.

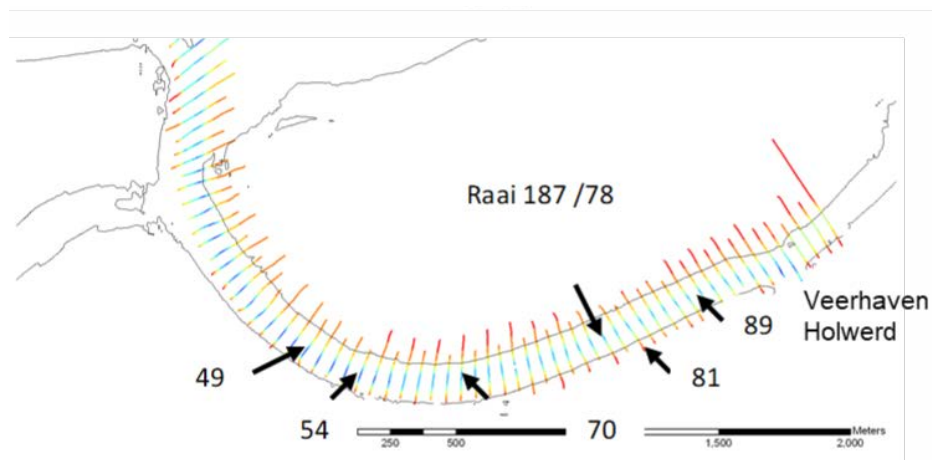
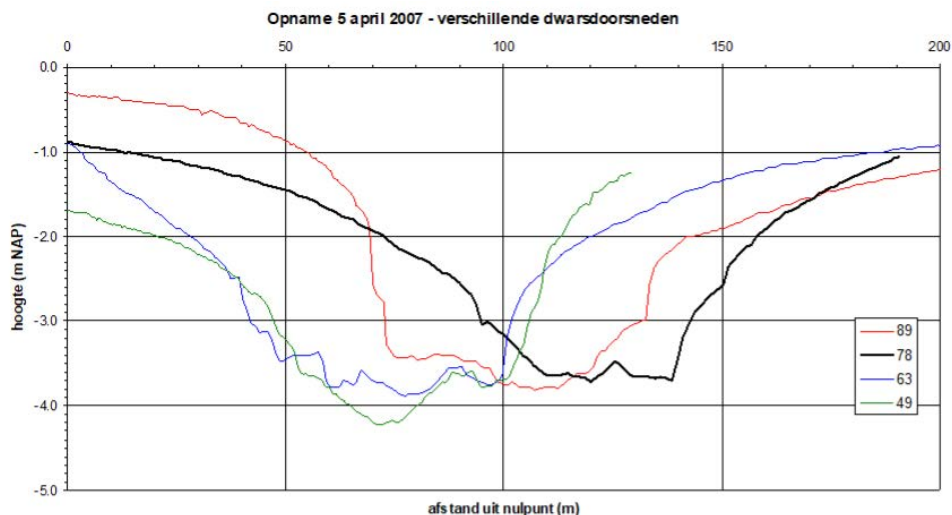
- › **3.1-15** *Wat is een natuurlijke geul versus een gebaggerde geul ofwel: wanneer kunnen we nog spreken van een natuurlijke geul en welke criteria zijn daarbij van toepassing?*

Criteria om onderscheid te maken in een natuurlijke geul of gebaggerde geul zijn niet gevonden. Beredeneerd kan worden dat een gebaggerde geul die verdwijnt, dat wil zeggen dat dusdanige sedimentatie optreedt dat binnen een afzienbare termijn (enkele jaren) er geen geul meer zichtbaar zal zijn in de bodem, indien het baggeren wordt gestaakt, geen natuurlijke geul is. Een dergelijke ontwikkeling is bijvoorbeeld opgetreden bij de geul naar de haven van Noordpolderzijl.

Alternatieve criteria kunnen worden gebaseerd op de evenwichtsrelaties (Eysink, 1979; Eysink, 1993) voor getijgeulen, waarbij het doorstroomoppervlak of geulvolume wordt beschouwd ten opzichte van het lokale getijdebiet of getijprisma. Bij een gebaggerde geul zullen de breedte en/of diepte en daarmee het doorstroomoppervlak groter zijn dan het doorstroomoppervlakte dat volgt uit het lokale getijprisma. Ook zijn morfologische criteria denkbaar, bijvoorbeeld de vorm van geulprofiel in dwarsdoorsnede. Omdat in een gebaggerde geul over de gehele breedte wordt gebaggerd ontstaat vaak een relatief vlakke bodem, terwijl natuurlijke profielen meer variatie laten zien. Figuur 3-9 laat als voorbeeld hiervan vier dwarsdoorsneden zien van de vaargeul Holwerd-Ameland nabij de veersteiger uit 2007. De meest oostelijke dwarsdoorsnede 89 heeft in het midden van de geul een relatief vlakke bodem over de volle breedte van de vaargeul en de geulwanden hebben een sterk bolle vorm. In de nabijheid van de veerdam werd in 2007 het meeste gebaggerd. De meest westelijk dwarsdoorsnede 49 heeft niet zo'n vlakke bodem en beide geulwanden hebben verschillende vormen. Hier werd in 2007 nauwelijks gebaggerd (Kater et al., 2008). Een ander mogelijkheid is om (ook) te kijken naar de afwezigheid van ondieptes (drempels) in de langsrichting van de geul.

In de praktijk is sprake van een glijdende schaal van beïnvloeding van geulen door het baggeren, omdat een gebaggerde locatie onderdeel uitmaakt van een (morfologisch) systeem waarin effecten doorwerken op de omgeving. Het baggeren op een bepaalde locatie beïnvloedt in meer of mindere mate ook de locatie en de aan- en afwezigheid van andere morfologische elementen, zoals drempels en eb- en vloedscharen. Daardoor is er geen strikt onderscheid te maken tussen natuurlijke en gebaggerde geulen in de Waddenzee en Eems-Dollard.

Figuur 3-9 Dwarsdoorsneden op verschillende locaties in het gebaggerde deel van de vaargeul Holwerd- Ameland op 5 april 2007 (uit Kater et al., 2008).



3.4

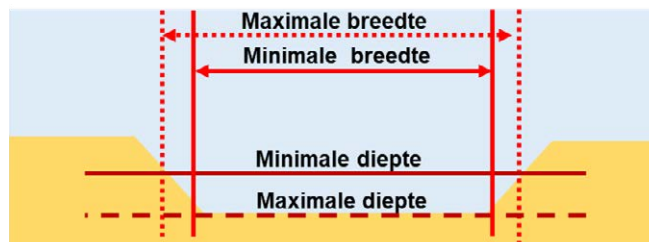
Wanneer (criteria)?

- › **3.1-13** Welke criteria worden gehanteerd om te bepalen of een geul al dan niet gebaggerd moet worden en is dit nader vastgelegd in protocollen of richtlijnen?

In Figuur 7-1 zijn de minimum- en maximumbreedte voor de knelpunten in de vaargeulen opgenomen in een schematische dwarsdoorsnede. De minimale en maximale dieptes en de minimale en maximale bodembreedtes voor de knelpunten in de vaargeulen staan in Tabel 3-1 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Voor de havens zijn ook de minimale en maximale dieptes vastgelegd in de vergunningen voor de baggerwerkzaamheden (Tabel 3-2, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Om te controleren of in de vaargeulen en havens de minimale diepte en minimale bodembreedte niet worden onderschreden worden peilingen (dieptemetingen) uitgevoerd. Peilingen worden zowel uitgevoerd in opdracht van de beheerders, als in opdracht van de baggeraar (afhankelijk van de afspraken die hierover zijn vastgelegd in het contract voor het betreffende werk). Hoe vaak er wordt gepeild varieert per gebied. In havens en vaargeulen met hoge sedimentatiesnelheden wordt frequenter gepeild dan in havens en vaargeulen waar de sedimentatiesnelheid laag is. De peilfrequentie is gebaseerd op de ervaringen van de beheerder met de sedimentatiesnelheden. Idealiter wordt gebaggerd voordat de minimale diepte en/of de minimale breedte wordt onderschreden.

In aanvulling op de criteria over de minimale diepte en breedte is in het beheerplan een voorwaarde opgenomen over de voorkeursperiode voor het baggeren van slibrijke baggerspecie (voorwaarde 4 in Bijlage C). Daar wordt het baggeren en verspreiden bij voorkeur uitgevoerd tijdens de winterperiode.

Figuur 3-10 Schematische dwarsdoorsnede van een knelpunt in een vaargeul, met de minimum en maximum breedte en diepte.



Bartels & Hendriksen (2019) hebben een analyse uitgevoerd naar de wijze waarop bij de vaarweg Holwerd-Ameland invulling werd gegeven aan het contract met Rijkswaterstaat voor het baggeren van de vaargeulen en havens in de Waddenzee. Deze analyse is specifiek voor deze vaargeul en geeft geen inzicht in de wijze waarop invulling wordt gegeven aan de criteria op andere knelpunten en in havens. Ondertussen is een nieuw contract van toepassing en wordt het werk uitgevoerd door een andere combinatie van baggermaatschappijen.

3.5

Hoe (methodieken, technologie)?

- › **3.1-8** In relatie tot de vragen over het "Waar": welke bagger- en verspreidingsmethoden worden gebruikt voor het uitvoeren van het vaargeul- en havenonderhoud?

In de 'Passende beoordeling baggeren en verspreiden in de Waddenzee' (Arcadis, 2016) is een beschrijving opgenomen van de verschillende methodes voor het baggeren:

Baggeren

Voor de baggerwerkzaamheden worden drie verschillende methodes gebruikt: opzuigen, opwoelen en scheppen met een kraan.

Opzuigen

Sleephopperzuigers en zandzuigers kunnen zand en slib opzuigen van de bodem van de Waddenzee. Hiervoor wordt een buis gebruikt die vanaf het schip langs de zijkant tot op de bodem wordt gehangen. Via de buis wordt een zand, slib en watermengsel opgepompt en dit wordt in het ruim van het schip (de beun) geborgen. Met het opgezogen sediment komt veel water mee. Dit water wordt uit het schip gelaten tijdens het baggeren en wordt 'overflow' genoemd. Hierbij gaat wat slib mee terug in de waterkolom. Bij het opzuigen wordt relatief weinig sediment van de bodem opgewoeld in de waterkolom. Het schip brengt de baggerspecie naar een verspreidingslocatie. Verschillende schepen kunnen sediment opzuigen: een sleephopperzuiger, een sleepzuiger en een steekzuiger (genoemd naar het uiteinde dat op de buis gemonteerd is) zijn de schepen die in het Waddengebied ingezet kunnen worden.

Opwoelen

Bij opwoelen of agiteren wordt sediment losgewoeld van de bodem. Het bodemmateriaal blijft als een wijdverspreide wolk achter in de waterkolom (de specie wordt niet meegenomen door het schip). Voorbeelden van werkwijzen van opwoelen zijn het gebruik van lucht of water of een mengsel daarvan met een speciaal daarvoor uitgevoerd baggervaartuig

(‘injectiebaggeren’), water blazen met een zuiger (bijvoorbeeld een sleeplopperzuiger), opbaggeren met een sleeplopperzuiger en het materiaal direct weer overboord zetten, ploegen met een ploegboot en omwoelen met scheepsschroeven.

Kraanschip

Bij het gebruik van een kraanschip schept een kraan bodemmateriaal vanuit het water in het schip of een (slijt)bak. Het scheppen van de baggerspecie brengt weinig slib in de waterkolom. Met het schip of de bak wordt de baggerspecie naar een verspreidingslocatie getransporteerd of aan wal gebracht.”

In hetzelfde document (Arcadis, 2016) is ook een beschrijving opgenomen van de verschillende methodes voor verspreiden:

Verspreiden

De baggerspecie die opgezogen of opgeschept is, wordt elders weer verspreid. Dit kan op vier manieren gebeuren: op een verspreidingslocatie brengen, op stroom zetten, aan wal brengen en rainbowen³.

Onderlossen

In veel gevallen wordt baggerspecie naar een andere locatie getransporteerd waar het gelost wordt. Het verspreiden mag niet overal in de Waddenzee, maar slechts op een aantal vooraf onderzochte verspreidingslocaties. Voor het verspreiden van de specie op deze locaties wordt gewoonlijk een onderlosser gebruikt, waarbij de baggerspecie aan de onderkant van het schip in het water komt door de bodemkleppen (dit wordt ook wel klappen of kleppen genoemd). De baggerspecie zakt hierbij als een dikke straal naar de bodem en verspreidt zich tijdens het lossen in beperkte mate. Daarna wordt de baggerspecie door erosie door de stroming verspreid.

Op stroom

Bij agiteren/opwoelen wordt de baggerspecie ‘op stroom gezet’. Een vereiste bij agiteren is dan ook dat er een voldoende sterke stroming aanwezig is, zodat de baggerspecie niet direct op dezelfde locatie weer sedimenteert. Vervolgens voert de stroming het water met het opgewoelde materiaal mee vanaf de baggerlocatie en wordt geleidelijk verspreid over het gebied. Door het agiteren op een moment uit te voeren dat de getijstroom vanuit het baggergebied is gericht (meestal bij afgaand water) wordt het opgewoelde sediment weggevoerd.

Aan wal

Indien de baggerspecie uit zand bestaat, kan deze gebruikt worden voor de zandhandel en aan wal gebracht worden. Op deze manier werd zand uit de Waddenzee gehaald. Het vigerende kustbeleid is gericht op het behoud van het zandvolume van het kustfundament. Onttrekking van zand uit de Waddenzee, dat geen onderdeel is van het kustfundament, heeft na verloop van tijd tot gevolg dat deze onttrekking wordt aangevuld

³ Rainbowen als verspreidingsmethode is niet toegestaan in het Waddengebied en is daarom niet overgenomen in het overzicht. Bij het rainbowen wordt de met een sleeplopperzuiger opgepompte baggerspecie verpompt via een sproeikop op de voorkant van het schip. De straal baggerspecie komt via de lucht met een boog op de verspreidingslocatie terecht. Het verpompen van de baggerspecie kan plaatsvinden na afloop van het baggerproces, maar ook tijdens het baggeren zelf. Indien het rainbowen tijdens het baggeren wordt uitgevoerd, wordt gesproken over sidecasten, omdat de baggerspecie dan aan de zijkant van het schip wordt verpompt. In 2004 is in de Reegeul bij Ameland in opdracht van Rijkswaterstaat proefgedraaid met sidecasten. De resultaten hiervan zijn opgenomen in een werkdocument van Rijkswaterstaat (Mulder & Rommel, 2004).

met zand uit de buitendelta en de aangrenzende kustgebieden. Indirect heeft de zandwinning in de Waddenzee dus gevolgen voor het kustfundament. Om een eenduidig beleid te voeren rond het behoud van het zandvolume van het kustfundament is door Rijkswaterstaat besloten om in 2022 te stoppen met de zandwinning in de Waddenzee. Deze voorgenomen wijziging in het beheer van de vaargeulen betekent dat gedurende de beschouwde periode in deze Passende beoordeling minder zand aan wal zal worden gebracht en meer zand door onderlossen zal worden verspreid. De eventuele gevolgen hiervan voor de effectbeoordeling zullen bij de verschillende effectketens worden benoemd.

De verschillende baggermethodes zijn niet te combineren met alle verspreidingsmethodes. De mogelijke combinaties zijn opgenomen in Tabel 3-5.

Tabel 3-5 Mogelijke combinaties van bagger- en verspreidingsmethodes (naar Arcadis, 2016).

Verspreidingsmethodes	Baggermethodes		
	Zuiger	Agitatie/ Opwoelen	Kraanschip
Onderlosser	X		X
Op stroom		X	
Aan de wal	X		X

In de Deltaresnotitie “Registratie baggerwerkzaamheden in de Waddenzee” (de Wit & Mastbergen, 2022) zijn aanvullende beschrijvingen opgenomen van verschillende bagger- en verspreidingsmethodes. Ook in verschillende effectbeoordeling (Arcadis, 2011, 2016, 2022; RHDHV, 2021; Witteveen + Bos, 2021) zijn beschrijvingen opgenomen van de toegepaste methodes. Hieronder wordt voor ‘Opwoelen/agiteren’ en het ‘op stroom zetten’ een verduidelijking voor de verschillende technieken opgenomen, omdat de wijze waarop sediment (zand en slib) vrijkomt in de waterkolom per techniek anders is.

Sleephopperzuiger met gebruik van de waterjets op de sleepkop, zonder opzuigen

Beschrijving uit Deltares (de Wit & Mastbergen, 2022): “Agitatiebaggeren [...] met een sleephopperzuiger, waarbij de bodem wordt losgemaakt met waterjets bij de sleepkop die over de bodem wordt getrokken, maar waarbij het mengsel niet wordt opgezogen. Het sediment wordt dichtbij de bodem losgewoeld en vermengd met omgevingswater, waarna het kan afstromen als dichtheidsstroom naar de diepste delen of door het getij kan worden meegenomen (op stroom gezet).” Het opgewoelde sediment bevindt zich door dit proces in de onderste waterlagen.

Sleephopperzuiger: opzuigen en direct overboord over de kant

Hierbij wordt het sediment van de bodem opgezogen. In tegenstelling tot de normale inzet van de sleephopperzuiger wordt het sediment-watmengsel daarna niet in de beun van het schip geborgen, maar gaat het direct over boord. Het sediment-watmengsel komt daarbij in de bovenste waterlaag terecht. Vanwege de hoge dichtheid van het mengsel stroomt dit als een hoge dichtheidsstroom naar de bodem.

Waterinjectiebaggervaartuig (WID: Water Injection Dredge)

Beschrijving van de WID-techniek uit (Witteveen + Bos, 2021): “Het waterinjectiebaggerschip brengt het bodemmateriaal in beweging door water onder lage druk in de bodem te spuiten. [...]”

Het principe van waterinjectiebaggeren berust op het verschijnsel dat een vloeistof, zwaarder dan water, over de bodem als een dichtheidsstroom kan afstromen. Om de bodem te fluidiseren wordt water onder lage druk in de bodem geïnjecteerd.” Figuur 3-11 toont hiervan een schematische dwarsdoorsnede. Het omgewoelde sediment bevindt zich in de onderste waterlagen.



Figuur 3-11 Schematische langsdoorsnede van de drie gebieden die worden onderscheiden rond de dichtheidsstroom, die op gang wordt gebracht door het WID-en (uit Van Dijk & van der Baan, 2021).

Injectiebaggeren met lucht

In aanvulling op de waterstroom kunnen sommige injectiebaggervaartuigen ook lucht in de waterbodem spuiten om het bodemmateriaal los te maken. Door de luchtbelletjes wordt het (fijne) sediment hoger de waterkolom in gebracht.

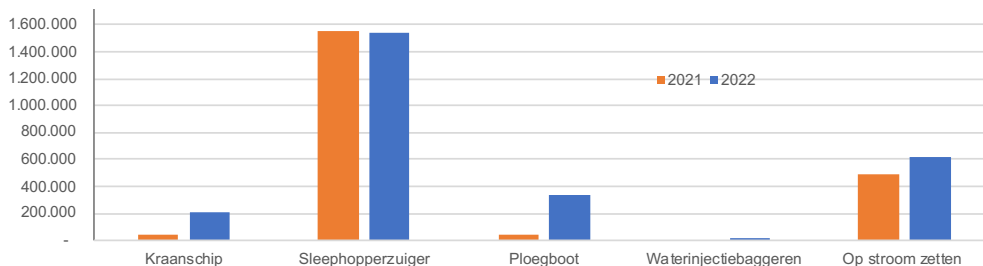
Ploegen

Bij het ploegen wordt het materiaal van of over de bodem getrokken met een bak die achter een schip aan wordt gesleept. Ploegen wordt meestal ingezet voor het lokaal vereffen ('gladstrijken') van de bodem, nadat met een andere techniek (slephopperzuiger, kraanschip) is gebaggerd. Soms wordt de ploeg ingezet om sediment op stroom te zetten. Dit is beschreven voor de verschillende baggerlocaties van Rijkswaterstaat in het Friesche zeegat (Brils & Posthuma, 2023), waar in 2022 de ploeg is ingezet in plaats van een deel van het werk dat in voorgaande jaren door de slephopperzuiger werd uitgevoerd.

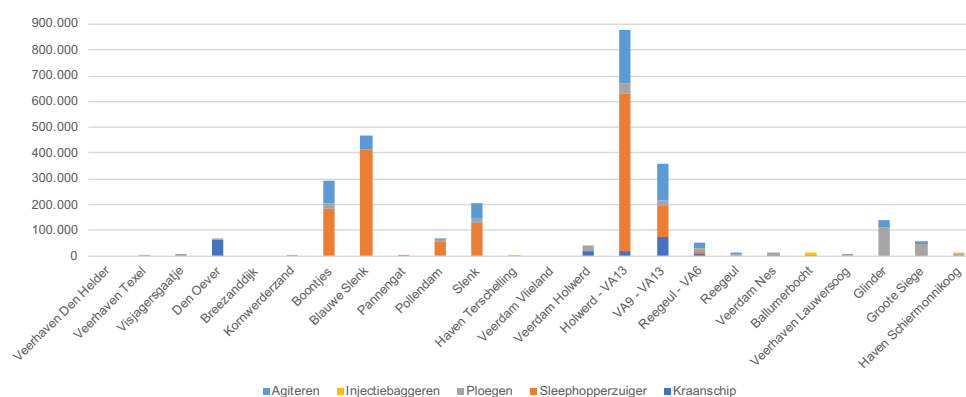
De toepasbaarheid van de verschillende technieken is mede afhankelijk van de samenstelling van het te baggeren materiaal (vooral zand, vooral slib of een mengsel), de consolidatie van het materiaal, maar ook van de vorm van het te baggeren gebied en de aanwezigheid van obstakels. De laatste twee punten hebben vooral betrekking op havens, waar bijvoorbeeld steigers en andere constructies aanwezig zijn en die hoeken hebben waar een slephopperzuiger niet of moeilijk terecht kan. Soms worden technieken gecombineerd. Zo wordt regelmatig een ploegboot gebruikt nadat de slephopperzuiger is ingezet. De sleepkop van de slephopperzuiger laat sporen op de bodem achter, die dan door de ploegboot worden gladgetrokken.

Figuur 3-12 geeft een overzicht van de verschillende baggertechnieken die zijn toegepast in de vaargeulen en delen van de havens die in opdracht van Rijkswaterstaat zijn onderhouden in 2021 & 2022. Figuur 3-13 toont welke techniek is ingezet op de baggerlocatie in de Waddenzee die in opdracht van Rijkswaterstaat wordt onderhouden in de Waddenzee. Bij de technieken slephopper en kraanschip betreft het baggeren en verspreiden op een verspreidingslocatie. Op basis van de verdeling in deze grafiek kan worden vastgesteld dat de inzet van de slephopperzuiger is geconcentreerd op locaties waar veel wordt gebaggerd. Op deze locaties wordt waarschijnlijk voor het agiteren ook voornamelijk gebruik gemaakt van slephopperzuigers.

Figuur 3-12 Grafiek van de verschillende baggertechnieken die in opdracht van Rijkswaterstaat zijn ingezet in de Waddenzee (exclusief de Eems-Dollard), op basis van gegevens van Rijkswaterstaat.



Figuur 3-13 Grafiek met de inzet van de verschillende baggertechnieken in 2022 op de baggerlocaties die worden onderhouden in opdracht van Rijkswaterstaat (exclusief de Eems-Dollard), op basis van gegevens van Rijkswaterstaat.



- › Wat voor vaartuigen worden hiervoor gebruikt (b.v. sleephopperzuiger en capaciteit)?
Welke randvoorwaarden spelen hierbij een rol?

De baggervaartuigen die worden ingezet voor het onderhoudsbaggerwerk in de Waddenzee, met inbegrip van de Eems, omvatten:

- Sleephopperzuigers met verschillende omvang (inhoud van de beun) en diepgang
- Kraanschepen (soms in combinatie met beunbakken)
- Waterinjectiebaggereschepen
- Ploegboten
- Kraanschepen

Welk schip waar wordt ingezet heeft te maken met:

Diepgang & manoeuvreerbaarheid: De actuele diepte en de te bereiken diepte door het baggeren op de specifieke locatie zijn, in combinatie met de baggertechniek, bepalend welk schip ter plaatse het werk kan uitvoeren. Ook is het bepalend voor de tijdsduur die hiervoor nodig is (permanent voldoende diepgang om te werken of alleen tijdens hoogwater). Een sleephopperzuiger baggert al varende, met een sleepbuis die dieper hangt dan het schip. De te baggeren locatie moet daarom op voorhand al voldoende diep zijn voor de inzet van een sleephopperzuiger. Ook voor een WID-schepen en ploegboten moet een te baggeren gebied voldoende diep zijn, maar de diepgang van de WID-schepen en ploegboten die in de Waddenzee werken is minder groot dan die van de sleephopperzuigers. De WID-schepen en ploegboten zijn ook kleiner en wendbaarder dan sleephopperzuigers en dat is praktisch bij het werken in havens met een complexe inrichting. Kraanschepen kunnen naast het te baggeren gebied gaan liggen en creëren hun eigen diepte.

Vereiste/Gewenste baggertechniek: Vanwege verschillende overwegingen kan worden ingezet op een specifieke baggertechniek voor bepaalde locaties. Dit kan te maken hebben met de specifieke morfologie ter plaatse, die bijvoorbeeld de inzet van WID-en wel of juist niet mogelijk maakt, de vorm en aanwezigheid van obstakels in een havenbekken of met voorschriften vanuit vergunningen, die de inzet van specifieke baggertechnieken voorschrijven of uitsluiten.

Beschikbaarheid schepen: Afhankelijk van het contract met één of meerdere aannemers kan het zijn dat een specifiek schip beschikbaar is op een bepaald moment op de betreffende locatie.

Kosten: Voor de opdrachtgever en de uitvoerende baggeraar is het belangrijk dat efficiënt wordt gewerkt, zodat de kosten worden beperkt. De hoeveelheid bagger die kan worden verplaatst binnen een bepaald tijdsbestek, zeg één week, is daarvoor bepalend, in combinatie met de kosten voor personeel, brandstof, afschrijving, mobilisatie en demobilisatie, etc. Dit kan worden uitgedrukt in de gemiddelde prijs per kubieke meter. Merk op dat hierbij allerlei bedrijfsvoeringsaspecten spelen die voor buitenstaanders niet altijd te doorgronden of inzichtelijk zijn.

Veel van de te baggeren vaarwegen en havens in de Waddenzee zijn relatief ondiep, waardoor alleen schepen met een beperkte diepgang de werkzaamheden uit kunnen voeren. De sleephopperzuigers die hier kunnen werken hebben een omvang van minder dan 1000 m³ en een diepgang van maximaal 3 m. Alleen in de grotere geulen (Eems) en havens kunnen grotere schepen worden ingezet.

3.6

Hoeveel (eenheid)?

- › **3.1–10** *Hoeveel zand en slib wordt er gemiddeld van nature aangevoerd vanuit de Noordzee naar de Waddenzee, eventueel ingedeeld per kombergingsgebied of verdeeld over respectievelijk de westelijke en oostelijke Waddenzee?*

Bij de beantwoording van deze vraag is het belangrijk om, op basis van de fysische (en biologische) processen een onderverdeling te maken tussen de bruto transporten – de aanvoer (en afvoer) die ieder getij plaatsvindt – en de netto aanvoer – de optelsom van de kleine verschillen tussen aan- en afvoer tijdens ieder getij over een langere periode (bijvoorbeeld de periode van 6 jaar tussen twee opeenvolgende vaklodingen). De netto aanvoer wordt bepaald door de trend te bepalen in de sedimentinhoud van een reeks opeenvolgende vaklodingen (Elias, 2019).

Voor de bruto transporten van zand en slib zijn schattingen beschikbaar, die zijn gebaseerd op meetwaarden van de sedimentconcentraties en de waterbeweging door het zeegat). In de Integrale Bodemdalingsstudie (Oost et al., 1998) is hier een kader over opgenomen, waarvan hier een deel van de tekst is overgenomen: “De transportcapaciteit van de zeegaten bepaalt de jaarlijkse hoeveelheid sediment die door de zeegaten in- en uitstroomt ofwel de jaarlijkse sedimentflux. Schattingen van de zandflux zijn als volgt gedaan door Eysink (1993): Op grond van metingen blijkt dat door het Vlie onder rustige weerscondities per vloed – eb cyclus gedurende springtij 25–35x10⁶ kg zand en 25–40x10⁶ kg fijner materiaal naar binnen en weer naar buiten wordt gevoerd. Het zandtransport per gemiddelde vloed wordt berekend door de waarde te vermenigvuldigen met een factor 0.75.

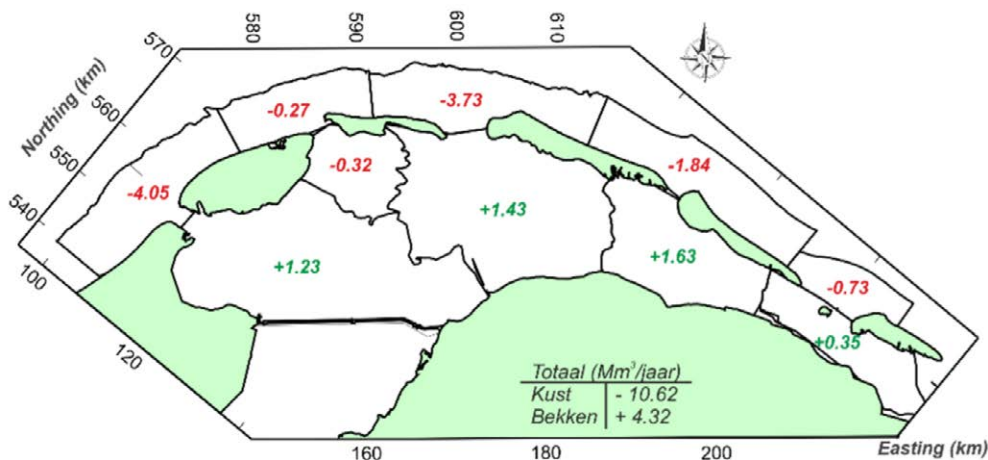
De hoeveelheid zand die over de getijden bruto naar binnen stroomt is voor het Vlie dan $13.5\text{--}18.5 \times 10^6$ ton/jaar. Uitgaande van vrijwel gelijke stroomsnelheden in andere zeegaten kan de jaarlijkse bruto zandinstroom voor andere zeegaten geschat worden (Tabel 3-6).” De transporten in kg zijn omgerekend naar m^3 door een dichtheid van $1,55 \text{ ton}/\text{m}^3$ te hanteren.

Tabel 3-6 De geschatte gemiddelde bruto zandinstroom in de verschillende zeegatsystemen, op basis van de gegevens van Eysink, (1993). De met een * aangeduide maximale sedimentatie is gebaseerd op een meetwaarde (tabel overgenomen uit Oost et al., 1998).

Kombergingsgebied	Geschatte gem. bruto zandinstroom ($10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$)	Gemeten maximale sedimentatie ($10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$) na 1958
Marsdiep	6,1-8,4	7,7
Eijerlandse Gat	3,2-4,5	0,5
Vlie	8,7-11,9	8,6
Zeegat van Ameland (Borndiep)	3,5-4,8	1,5
Pinkegat	1,9-2,6	1,4
Zoutkamperlaag na sluiting	2,9-4,2	3,0
Eilanderbalg	1,5-1,9	1,4*
Lauwers	2,9-3,9	0,8*
Schild	1,3-1,7	0,4*
Wester-Eems	8,4-11,6	-
Totaal	40,6-55,5	

De netto veranderingen die optreden over de langere termijn van tientallen jaren zijn door verschillende onderzoekers berekend, op basis van verschillende gegevenssets en met verschillende methoden voor het bepalen van de sedimentbalansen. Een actuele balans is opgesteld door Elias (2019) en de resultaten hiervan zijn opgenomen in Figuur 3-14. Deze figuur laat de trendmatige toe- en afnames zien van de sedimentvolumes in de kombergingsgebieden en in de aangrenzende buitendelta's en kusten. In vrijwel alle kombergingsgebieden, met uitzondering van het Eierlandse gat, is sprake van een trendmatige toename van de sedimentvolumes. Colina Alonso (2020) geeft inzicht in de bijdragen van slib aan de sedimentatie, die ongeveer 27% is in de Westelijke Waddenzee (Marsdiep, Eierlandse gat en Vlie) en 15% in de Oostelijke Waddenzee (Amelander en Friesche zeegat) voor de periode 1927/1933-2015.

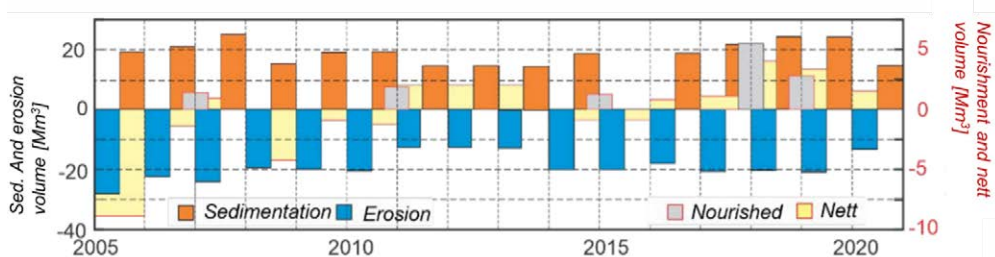
Figuur 3-14 Overzicht van de berekende volumeveranderingen per zeegatsysteem onderverdeeld in kust en bekken voor huidige trend, gecorrigeerd voor ingrepen (overgenomen uit Elias, 2019). De positieve getallen (in groen) wijzen op een toename van de sedimentvolumes en de negatieve getallen (in rood) wijzen op een afname van de sedimentvolumes.



Elias et al. (2021) geven inzicht in de sedimentbalans van de Eems-Dollard en het Groningerwad voor de periode 1990–2019. Elias et al. (2021) laten zien dat in alle deelgebieden van de Eems-Dollard en het Groningerwad samen de totale sedimentinhoud is toegenomen met 90,83 miljoen m³. Dat betekent dat de trendmatige sedimentatie 1,87 miljoen m³/jaar was in de periode 1990–2019. De berekende totale netto sedimentatie van 90,83 miljoen m³ bestaat uit 58% zand en 42% slib.

Er is nog een manier om te kijken naar de bruto versus netto veranderingen, waarbij de totale omvang van de erosie en de sedimentatie wordt beschouwd die van loding op loding optreedt (Elias, 2021). Het verschil tussen totale erosie en sedimentatie is de netto verandering. Voor de buitendelta van Ameland is een voorbeeld beschikbaar en deze waarden zijn weergegeven in Figuur 3-15 (een voorbeeld van een kombergingsgebied is niet aangetroffen in de geraadpleegde literatuur). De oranje en blauwe balken die in deze figuur de erosie en sedimentatie weergeven zijn beduidend groter dan de netto veranderingen in Figuur 3-14. Tussen 2005 en 2011 is sprake van afname van het sedimentvolume van 0,5 miljoen m³/jaar en na 2011 neemt het volume toe met gemiddeld 2,0 miljoen m³/jaar. In de periode 2005–2021 is sprake van een netto volumetoename van ruim 18 miljoen m³. Na correctie voor de aangebrachte zandsuppleties is sprake van een netto volumetoename van ruim 5 miljoen m³ voor deze periode. De jaarlijkse bruto verandering die bestaat uit de som van de absolute waarde van de sedimentatie en erosievolumes bedraagt gemiddeld 47 miljoen m³/jaar.

Figuur 3-15 Volumeveranderingen tussen 2005 en 2021 met de jaarlijkse bruto sedimentatie (oranje) en erosievolumes (blauw) voor de gehele buitendelta. Gele blokken geeft de netto verandering weer en de grijze vlakken de suppleties langs de kust en op de buitendelta (overgenomen uit Elias, 2021).



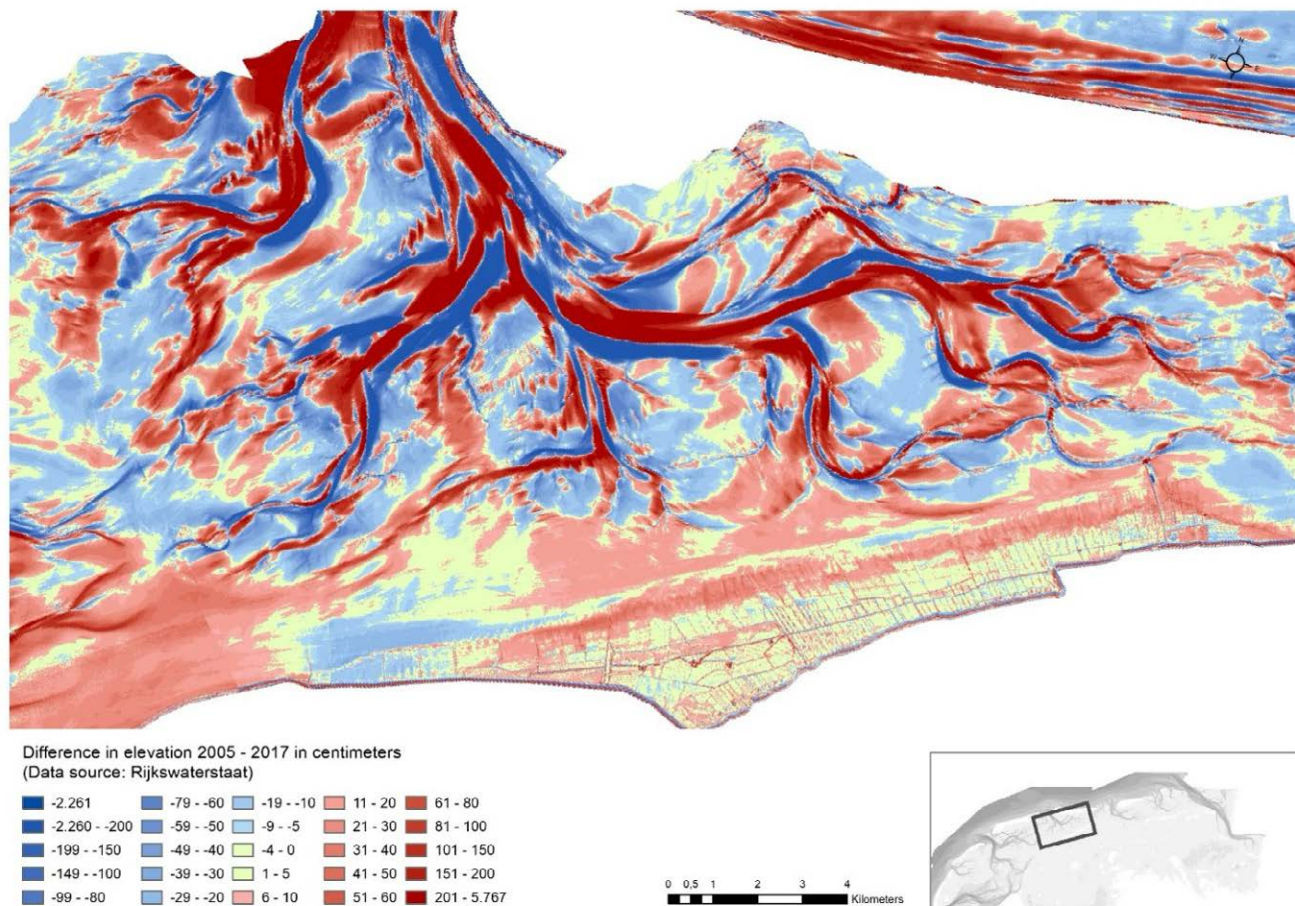
Voor de kombergingsgebieden van de Waddenzee is geen vergelijkbare analyse beschikbaar. Op basis van de kennis van de morfologische veranderingen van de Waddenzee is wel bekend dat de omvang van de morfologische veranderingen in de Waddenzee kleiner is dan op de meer dynamische buitendelta's. Wel is uit de kaarten met de sedimentatie en erosie tussen de verschillende vaklodingen op te maken dat daarin ook veel gebieden met erosie en met sedimentatie zichtbaar zijn. Een voorbeeld is weergegeven in Figuur 3-16. De morfologische veranderingen in dit kombergingsgebied geven een erosie van 83,4 miljoen m³, een sedimentatie van 102,8 miljoen m³ en dit geeft een netto sedimentatie van 19,3 miljoen m³. De netto verandering bedraagt daarmee 10,4% van de totale veranderingen (som van de absolute waarden van de erosie en sedimentatie). Een uitwerking van de bruto volumes die in beweging zijn ten opzichte van de netto veranderingen voor alle kombergingsgebieden op basis van de gedetailleerde vaklodingen (van na halverwege de jaren '80) is gewenst, om inzicht te geven in de relatieve omvang van de bagger- en verspreidingswerkzaamheden.

- › **3.1-12** *Wat is de verhouding tussen de hoeveelheid sediment die per jaar en gebied wordt gebaggerd en verspreid versus de transporten die van nature plaatsvinden in het gebied door b.v. de jaarlijkse migratie van geulen en platen en het effect van storm (menselijke invloed versus autonome werking van het systeem).*

In de meeste kombergingsgebieden is de omvang van de netto sedimentatie (of erosie) van zand kleiner dan de geschatte hoeveelheden zand die bruto door de het zeegat worden getransporteerd, zoals kan worden afgelezen in Tabel 3-7. De omvang van de trendmatige veranderingen over langere periode op basis van Elias (2019) komt overeen met de omvang van de gebaggerde volumes. De geschatte hoeveelheden die in beweging zijn, en de bruto sedimentatie en erosie zijn beduidend groter dan de gebaggerde volumes sediment in kombergingsgebieden. Als voorbeeld kan worden gekeken naar de getallen die horen bij de verschilkaart in Figuur 3-16. De omvang van de erosie van 2005 tot en met 2017 bedraagt daar in totaal $-83,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ en de sedimentatie $103,0 \times 10^6 \text{ m}^3$. Omrekenen naar de verandering per jaar levert erosie van $-6,95 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$ en sedimentatie van $8,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$. Het betekent dat zelfs in het kombergingsgebied waar naar verhouding (ten opzichte van de oppervlakte ervan en in relatie tot de geschatte zandtransporten, zie Tabel 3-7) het meest gebaggerd wordt, de omvang van de erosie en sedimentatie binnen het kombergingsgebied beduidend groter is dan het volume dat wordt gebaggerd.

Kombergingsgebied	1. Totale baggervolume (Tabel 3-3): zand & slib [m ³]	2. Geschatte bruto zandtransporten (Oost et al, 1998; Tabel 3-6): alleen zand				3. Trendmatige sedimentatie (Elias, 2019; Figuur 3-14): zand + slib	
		2a. Min. [m ³]	2b. Max. [m ³]	1/2a	1/2b	[m ³]	1/3
Marsdiep	1,2	6,1	8,4	20%	14%	1,23	97%
Vlie	1,8	8,7	11,9	21%	16%	1,43	129%
Borndiep	1,6	3,5	4,8	46%	34%	1,63	99%
Friesche zeegat	0,4	2,9	4,2	12%	9%	0,35	102%

Tabel 3-7 *Relatieve omvang van de baggervolumes ten opzichte van de geschatte zandtransporten en de trendmatige volumeveranderingen in de kombergingsgebieden (getallen in miljoen kubieke meter).*



Figuur 3-16 Kaart van het kombergingsgebied Borndiep met het hoogteverschil tussen de vaklodingen van 2005 en 2017 (periode van 12 jaar). De rode gebieden zijn hoger geworden (sedimentatie) en de blauwe gebieden zijn lager geworden (erosie). Kaart op basis van de vaklodingsgegevens van Rijkswaterstaat.

- 3.1-11 Gegeven de locaties: hoeveel wordt er gebaggerd per locatie per jaar (met duidelijke vermelding van eenheden: vaste stof, gemeten in de beun, etc.)? Wat is de samenstelling van het gebaggerde sediment: aandeel zand versus slib?

De baggerhoeveelheden per kombergingsgebied zijn opgenomen in Tabel 3-3 en Figuur 3-5 en per locatie in Bijlage A. Deze volumes worden gerapporteerd als kubieke meters in de beun van het baggerschip (zie De Wit & Mastbergen, 2022 voor een definitie en de omrekeningen). Van de samenstelling van de baggerspecie per gebied is een beschrijving beschikbaar. Getalsmatige gegevens hierover zijn schaars (zoals voor de Boontjes, Colina Alonso et al., 2012) of geheel afwezig.

De baggerspecie moet voldoen aan de kwaliteitseisen zoals die van toepassing zijn voor het verspreiden in hetzelfde zoute waterlichaam, conform het Besluit Bodemkwaliteit (Bbk, zie voorwaarde 13b uit het beheerplan, overgenomen in Bijlage C van het voorliggende rapport). Daarvoor wordt het te baggeren sediment bemonsterd en geanalyseerd en dit wordt vastgelegd in het Waterbodemonderzoek. In het Waterbodemonderzoek is altijd een waarde voor het slibgehalte van het bemonsterde sediment opgenomen, zodat deze rapporten inzicht kunnen geven in de samenstelling van de baggerspecie.

3.7

Wat (keuze verspreidingslocaties)?

- › **3.1-14** *Wat bepaalt de keuze van de verspreidingslocaties in de Waddenzee? Welke richtlijnen of protocollen worden hierbij gebruikt? Wat is daarbij de rol van kennis omtrent de natuurlijke dynamiek c.q. autonome ontwikkeling van het desbetreffende gebied?*

In het kader van deze studie is niet gekeken wanneer de verschillende verspreidingslocaties in de Waddenzee in gebruik zijn genomen. Dat betekent dat ook dat de totstandkoming van de oorspronkelijke keuze voor deze verspreidingslocatie in de Waddenzee niet bekend is. Bij latere optimalisatie Mulder (2005) en evaluatie (Witteveen + Bos, 2022a) zijn criteria opgenomen die van toepassing zijn op de verspreidingslocaties.

Deze criteria zijn ontleend aan onderzoek dat in de jaren '90 van de vorige eeuw is uitgevoerd in het BAGHWAD-project van Rijkswaterstaat (Essink, 2005) en de integrale analyse van de stortlocatie bij Kornwerderzand (Mulder, 1999).

Mulder (2005) maakt een duidelijk onderscheid in criteria:

1. Randvoorwaarden: hiermee worden gebieden uitgesloten;
2. Afwegingscriteria: lokale belangen die de stortlocaties niet uitsluiten, maar waarop het effect van de stortlocatie beoordeeld dient worden.

Door Mulder zijn vier randvoorwaarden benoemd:

- a. Bereikbaarheid van de stortlocatie voor het baggervaartuig. Hiervoor kan men een diepte aanhouden van minimaal NAP-3,5 m tot NAP-5 m. Deze bandbreedte komt voort uit wat minimaal vereist is en wat gewenst is;
- b. Niet verspreiden in gesloten gebieden volgens art. 17 van de Nb-wet;
- c. Niet verspreiden in gesloten gebieden t.b.v. militaire schietoefeningen;
- d. Niet verspreiden binnen in het Beheersplan Waddenzee vastgelegde afstanden tot rust- en zooggebieden van zeehonden tijdens werp- en zoogperiodes (1500 m), gebieden met rijke bodemflora en fauna waaronder mosselbanken en -percelen, zeegrasvelden, kokkelbanken (1000 m) en vogelbroedgebieden en hoogwatervluchtplaatsen gedurende broedtijd (500 m).

Daarbij zijn door Mulder de volgende criteria benoemd, waarbij de **vetgedrukte criteria belangrijk** worden geacht en de *cursieve criteria niet belangrijk*:

1. Het **natuurbelang**, waaronder:
 - a. **Ecologie** (flora en fauna), waaronder:
 - i. **Bodemfauna** (kokkels, mosselen etc.)
 - ii. *Vissen*
 - iii. **Zeehonden**
 - iv. *Vogels*
 - v. **Zeegras**
 - vi. *Kwelderflora*
 - b. **Morfologie** en *getij* (fysische processen), waaronder:
 - i. *Morfologische structuur*
 - ii. **Sedimentsamenstelling**
 - iii. *Getij (droogvalduur)*
 - iv. **Verspreiding**, waaronder:
 1. **Sedimentatie/erosie**
 2. **Stroomsnelheid**
 - c. *Kwaliteit*, waaronder:
 - i. *Waterkwaliteit*
 - ii. *Bodemkwaliteit*
 - iii. *Geluidsoverlast*
2. Het **menselijk/economisch belang**, waaronder:
 - a. **Visserij**, waaronder:
 - i. *Garnalen*
 - ii. **Mosselen**
 - iii. *Kokkels*
 - iv. *Platvis*
 - v. *Pieren*
 - b. *Scheepvaart*, waaronder:
 - i. *Intensiteit, drukte*
 - ii. *Gevaarlijke lading*
 - c. *Recreatie*, waaronder:
 - i. *Sportvisserij*
 - ii. *Recreatievaart*
 - iii. *Oeverrecreatie*
 - iv. *Wadlopen*
 - d. **Infrastructuur**, waaronder:
 - i. *Kabels en leidingen*
 - ii. **Havens**
 - iii. **Vaargeulen**
 - iv. *Kunstwerken*
 - e. **Delfstoffen**, waaronder:
 - ii. *Zand*
 - iii. *Gas*
 - f. **Archeologie**, waaronder *scheepswrakken*
 - g. *Kustverdediging* (dijk etc.)
 - h. **Onderzoek**, waaronder *meetgebieden en -opstellingen*

Mulder (2005) geeft een beknopte toelichting op deze uitgebreide lijst van criteria, waaruit ook de motivatie blijkt voor het belangrijk of minder belangrijk zijn van de criteria. De toelichting op de morfologische criteria maakt duidelijk in hoeverre rekening is gehouden met de kennis omtrent de natuurlijke dynamiek: “De hoeveelheid baggerspecie moet zodanig goed verspreid worden dat de structuur van geulen en platen en de waterstanden niet (significant) worden beïnvloed. Wel kan slib op zand of andersom de bodemsamenstelling beïnvloeden. Voor de verspreiding is een erosiegebied en/of hoge stroomsnelheid gunstig.” Hierbij wordt een verband gelegd met de diepte: “Zowel vanuit het oogpunt van geringe aanwezigheid van bodemfauna (criterium 1.a.i) als hoge stroomsnelheden (criterium 1.b.iv.2) gaat de voorkeur uit naar stortlocaties op relatief grote diepte, ook al is een grotere diepte hiervoor geen garantie. De diepte zal dan ook als beoordelingscriterium worden meegenomen.” De autonome ontwikkeling is niet betrokken in deze keuze.

Ten slotte wordt door Mulder (2005) opgemerkt: “Vanuit minimalisatie van effecten dient gestreefd te worden naar zo min mogelijk stortlocaties”.

Het actuele voorwaardenkader dat van toepassing is op de verspreidingslocatie, is opgenomen in het beheerplan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016; bijlage B3.3.1 Voorwaarden baggerwerken (onderhoud)). Dit is als Bijlage C overgenomen in het voorliggende rapport. Hierin staat onder andere:

- “2. Bij verspreiding van baggerspecie die wordt gelost door middel van bodemdeuren of een kraan, moet worden verspreid op de op kaart aangegeven verspreidingslocaties. Dit zijn relatief diepe locaties (geuldelen waar weinig bodemfauna aanwezig is), met relatief hoge stroomsnelheden (voor optimale verspreiding) en waar de speciespreiding niet in conflict komt met ander beheer;
3. Bij verspreiden van de specie zo weinig mogelijk verspreidingslocaties gebruiken om verstoring in ruimtelijke zin te beperken; ”

In de voorwaarden bij het Beheerplan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) staan aan ook de actuele afstanden die moeten worden aangehouden voor mosselbanken, zeehondenrustplaatsen etc.

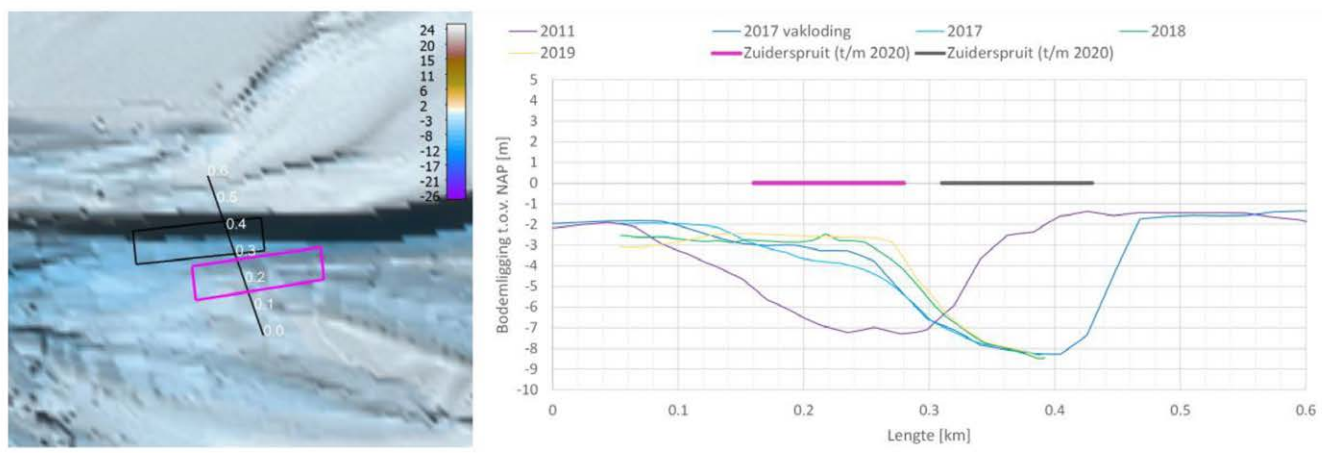
In de tussentijdse evaluatie van de verspreidingslocaties (Witteveen + Bos, 2022a) zijn de morfologische ontwikkelingen bij alle verspreidingslocaties beschouwd en is op basis daarvan een verdiepende analyse uitgevoerd van een aantal locaties. Tabel 3-8 heeft een voorbeeld van de gegevens die zijn gebruikt bij het beschouwen van de morfologische ontwikkelingen van de verspreidingslocatie door Witteveen + Bos (2022a). Bij de verdiepende analyses door Witteveen + Bos (2022a) zijn zowel de waargenomen ontwikkelingen en condities beschouwd, als de verwachte ontwikkelingen. Op basis van deze analyses zijn een aantal wijzigingen voorgesteld van de verspreidingslocaties. In Witteveen + Bos (2022a; 2023a) is ook geanalyseerd in hoeverre de verspreidingslocaties voldoen aan de voorwaarden met betrekking tot de verschillende verstoringsafstanden en andere voorwaarden die zijn opgenomen in het Beheerplan (Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat, 2016).

Verspreidingslocatie	Grootheid	2017	2018	2019	2020	2021
(47.500 m ²)	volumeverandering (m ³)	-	-16.974	-3.596	7.190	2.297
	verspreid beun (m ³)	24.925	19.410	24.210	24.325	21.355
Scheepsgat (137.162 m ²)	diepte (t.o.v. NAP in m)	-4,94	-5,25	-5,47	-5,30	-5,24
	diepteverandering (m)	-	0,29	-0,22	0,17	0,06
	volumeverandering (m ³)	-	32.155	-29.966	23.697	7.734
	verspreid beun (m ³) 6	2180	132.359	44.293	62.687	33.012
Zuiderspruit (54.082 m ²)	diepte (t.o.v. NAP in m)	-4,16	-3,37	-3,38		
	diepteverandering (m)	-	0,80	-0,01		
	volumeverandering (m ³)	-	43.196	-717		
	verspreid beun (m ³)	373.299	456.158	387.596	359.385	316.284

Tabel 3-8 Gegevens over de morfologische ontwikkelingen en de verspreide volumes op twee van de verspreidingslocaties in het Borndiep. Negatieve diepte- veranderingen impliceren een gemiddelde verdieping van de verspreidingslocatie (aangepast uit Witteveen + Bos, 2022a).

Voor het blijvend functioneren van een verspreidingslocatie moet de verspreide baggerspecie door de stroming worden geërodeerd en getransporteerd. Op die manier behoudt de verspreidingslocatie zijn diepte, zodat deze steeds opnieuw kan worden gebruikt. De capaciteit van de verspreidingslocaties voor het transport van zand en slib is niet berekend op basis van metingen aan de bodemhoogte in combinatie met de verspreide volumes. In theorie is dit mogelijk, mits een duidelijk onderscheid kan worden gemaakt tussen de volumeveranderingen die zijn opgetreden door morfologische veranderingen van de hele geul, zoals een verplaatsing of trendmatige verondieping, en de morfologische veranderingen die zijn opgetreden door het verspreiden van de baggerspecie. Om dit te illustreren is Figuur 3-17 overgenomen uit het Witteveen + Bos (2022a), waarin de morfologische ontwikkeling van verspreidingslocatie Zuiderspruit staat. Deze geul is ter plaatse van de verspreidingslocatie naar het zuiden opgeschoven. Op de locatie Zuiderspruit is ieder jaar een aanzienlijk volume baggerspecie verspreid. Een simpele omrekening (waarbij geen rekening wordt gehouden met verschillen en veranderingen in de dichtheid van het sediment en de baggerspecie en ook niet met de evenwichtshelling van de verspreide baggerspecie) laten zien dat de het aanbrengen van 373.299 m³ baggerspecie in 2017 op het oppervlakte van 54.082 m², goed is voor een cumulatieve sedimentatie van 6,90m in dat jaar. De gemiddelde verondieping die is opgetreden bedraagt 80 cm van 2017 naar 2018 en dat is het equivalent van een toename van het sedimentvolume van 43.196 m³. Een groot deel van de verspreide specie is dus geërodeerd en getransporteerd, namelijk tenminste 330.103 m³ (= 373.299 m³ minus 43.196 m³). Het is 'tenminste', omdat het sedimentvolume ondertussen ook toegenomen kan zijn door de verplaatsing van de geul. Terugrekenen van minimale geërodeerde volume per jaar naar het volume per dag levert een gemiddelde erosie van tenminste 904 m³ per dag, oftewel 1,7 cm over het gehele oppervlakte van de verspreidingslocatie. De oorspronkelijke verspreidingslocatie Zuiderspruit was tot 2021 dermate ondiep geworden dat deze niet meer als zodanig te gebruiken was en daarom is een nieuwe meer zuidelijke verspreidingslocatie vastgesteld en in gebruik genomen.

De bovenstaande berekeningen geven een eerste en grove indicatie van de transporten van baggerspecie, waarbij nog geen rekening is gehouden met trendmatige morfologische veranderingen. De indicatie is ook grof omdat wordt gewerkt met jaarwaarden voor de verspreidingsvolumes, van 1 januari tot en met 31 december, terwijl de opnames van de bodemligging met zekerheid niet op 31 december of 1 januari zijn genomen (de opname data zijn niet vermeld). Voor een correcte berekening zou worden gewerkt met de verspreidingsvolumes in de periode tussen de opnames van de bodemligging. Een ander kanttekening betreft de ruimtelijke resolutie van de bodemligging die verschilt (de rasters van 6-jaarlijkse vaklodingen zijn 20 m x 20 m, terwijl de multibeamopnames van tussenliggende jaren vaak een resolutie van 1m x 1m of zelfs 0,5 m x 0,5 m hebben), waardoor de volumebepalingen in tussenliggende jaren nauwkeuriger zijn. En Tabel 3-8 laat ook zien dat niet voor alle jaren de gegevens beschikbaar zijn van de bodemligging (in dit specifieke voorbeeld omdat voor de jaren 2020 en 2021 al was overgestapt op het inmeten van de nieuwe verspreidingsgegevens (Witteveen + Bos, 2022a).



Figuur 3-17 Verspreidingslocatie Zuiderspruit in kaart (links, bodemligging 2017) en in dwarsdoorsnede met de bodemhoogte uit de periode 2011-2019 bodemprofiel. Roze: verspreidingslocatie tot en met 2020. Zwart: verspreidingslocatie 2021. Locatie van de dwarsdoorsnede is aangegeven met de dunne zwarte lijn in de kaart (uit Witteveen + Bos, 2022a).

Samenvattend kan worden gesteld dat gegevens over de snelheid waarmee de baggerspecie wordt geërodeerd en getransporteerd vanaf de verspreidingslocatie niet beschikbaar zijn. De wel beschikbare gegevens laten alleen grove berekeningen toe van die snelheden, waarbij geen rekening wordt gehouden met de lokale morfologische ontwikkelingen. Inzicht in de ontwikkeling en bruikbaarheid stortlocaties in termen van capaciteit als functie van de tijd, inclusief de invloed van morfologische ontwikkelingen is dan ook niet beschikbaar. Ook over de eventuele wijzigingen in bodemsamenstelling die zouden kunnen optreden door het verspreiden zijn geen gegevens beschikbaar.

- › **3.1-16** *Is het in het recente verleden nog aan de orde geweest dat gebaggerd havenslib op basis van waterbodemonderzoek moest worden geclassificeerd als baggerspecie met een verontreinigingsgraad zijnde kenmerkend voor een industriewaarde (= niet te gebruiken voor toepassingen op land)? Indien van toepassing: mag dit sediment dan nog wel (vergund) worden verspreid in de Waddenzee?*

De baggerspecie moet voldoen aan de kwaliteitseisen zoals die van toepassing zijn voor het verspreiden in hetzelfde zoute waterlichaam, conform het Besluit Bodemkwaliteit (Bbk, zie voorwaarde 13b uit het beheerplan, overgenomen in Bijlage C van het voorliggende rapport). Daarvoor wordt het te baggeren sediment bemonsterd, geanalyseerd en getoetst aan de geldende normen en dit wordt vastgelegd in het Waterbodemonderzoek. De normen worden geactualiseerd wanneer daar aanleiding voor is, bijvoorbeeld vanwege de PFAS-problematiek. In het Waterbodemonderzoek is altijd een waarde voor het slibgehalte van het bemonsterde sediment opgenomen, zodat deze rapporten inzicht kunnen geven in de samenstelling van de baggerspecie.

De uitkomsten van de analyses worden in een Waterbodemonderzoek alleen getoetst voor de betreffende toepassing. Dat betekent dat op grond van een Waterbodemonderzoek niet kan worden geconcludeerd of een andere toepassing van de baggerspecie, bijvoorbeeld op land, ook zou zijn toegestaan. De normen voor toepassing in hetzelfde zoute waterlichaam en die voor toepassing op land verschillen. De verschillende normen voor toepassing op land en in zoutwater hebben te maken met de verschillen in het chemische gedrag van de verontreinigingen. Veel van de verontreinigingen in zoute waterbodems zijn gebonden aan fijn sediment. De verontreinigingen ‘plakken’ als het ware aan de slibdeeltjes, zodat deze niet in de waterfase terechtkomen. Bij toepassing op land, of in zoetwater kunnen deze verontreinigingen vrijkomen, waardoor er gevolgen kunnen optreden voor mens, plant en dieren.

3.8

Wanneer (jaar, seizoen, tij)?

- › **3.1-17** *Wat is het effect van weersinvloeden in de verschillende seizoenen van het jaar op sedimentbeweging en depositie en daarmee de noodzaak van baggeren?*

Op basis van gebiedskennis, (model)berekeningen en anekdotische informatie over veron- diepingen na stormen of stormachtige perioden is bekend dat hoge sedimentatiesnelheden met name optreden in de herfst- en wintermaanden. De hoogste sedimentatiesnelheden treden op na stormen. Daadwerkelijke metingen van sedimentatiesnelheden in vaargeulen en havens die dit onderbouwen zijn echter niet beschikbaar. Registratie van bagger- volumes biedt slecht beperkt inzicht in de seizoensvariatie in de sedimentatie, omdat de baggerinspanning ook wordt bepaald door andere praktische zaken.

- › **3.1-18** *In welke mate is baggeren en verspreiden gebonden aan bepaalde seizoenen op basis van wet- en regelgeving en beheerplan(nen)?*

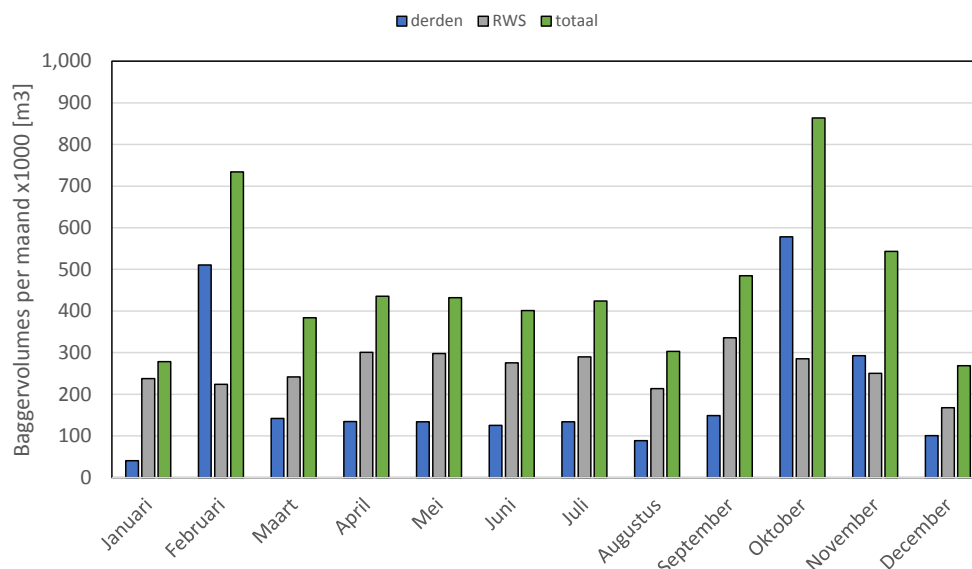
De bagger- en verspreidingsactiviteiten vallen onder verschillende voorwaarden en vergunningenkaders. Het beheerplan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) vormt de basis voor de voorwaarden voor een deel van het baggeren in de vaargeulen en havens en het verspreiden van de baggerspecie, waarbij deze activiteiten onder de vrijgestelde vergunningsplichtige activiteiten met specifieke voorwaarden vallen. Hierin heeft de volgende voorwaarde betrekking op het seizoen:

“Bij slibhoudende baggerspecie (vooral in havens) vindt het baggeren en verspreiden bij voorkeur plaats tijdens de winterperiode (in verband met een lagere primaire productie in deze periode). Wanneer het om nautische- of veiligheidsredenen niet mogelijk is om de werkzaamheden in deze periode uit te voeren kan het werk buiten deze periode uitgevoerd worden. Ook wanneer baggeren, indien geconcentreerd in een (winter)periode, zou leiden tot toename van de hoeveelheid baggerspecie kan van bovenstaande regel worden afgeweken;”

Ook bij vergunningen voor de grote havens (Den Helder, Harlingen) en projecten (versterking Afsluitdijk) is sprake van een voorkeur voor baggeren en verspreiden in de winterperiode, omdat dan de gevolgen voor de primaire productie (groei van algen) worden beperkt. Ook hierbij zijn voorbehouden opgenomen vanwege de nautische veiligheid en het beperken van de baggervolumes.

De essentie van de voorwaarden is dat het baggeren in de winterperiode wordt gestimuleerd, maar dat baggeren en verspreiden niet strikt is gebonden aan seizoenen. In de tussentijdse evaluatie (Witteveen + Bos, 2022a) is de verdeling van de baggerwerkzaamheden over de maanden opgenomen, zie hiervoor Figuur 3-18. In de grafiek is zichtbaar dat met name het baggeren in opdracht van derden, zijnde de havenautoriteiten en gemeenten, plaatsvindt in de wintermaanden (69%). De baggerwerkzaamheden in opdracht van Rijkswaterstaat vinden voor 55% in de zomermaanden plaats, waarbij wordt opgemerkt dat deze baggerwerkzaamheden voornamelijk de vaarwegen betreffen.

Figuur 3-18 Gemiddelde baggervolumes ($\times 1.000$) in m^3 (beunkuubs) per maand tussen 2017 en 2020 onder beheer van RWS (grijs), derden (blauw) en in totaal (groen). Deze grafiek omvat alleen de beschikbare gegevens, zodat de optelsom niet het totale baggervolume in de Waddenzee betreft. Niet alle baggervolumes zijn beschikbaar en van sommige beheerders is geen verdeling over het jaar beschikbaar (grafiek overgenomen uit Witteveen + Bos, 2022a).



3.9

Ervaringen in Duitsland

- › **3.1-19** *Hoe verhouden de baggerinspanningen in Duitse havens (b.v. Emden en Wilhelms-haven) zich tot de Nederlandse Waddenhavens in termen van baggerhoeveelheden, vertroebeling en het verspreiden van sediment? Wat kan er in dit verband worden gemeld over de baggers-inspanningen in Duitse havens zoals Cuxhaven, Bremerhaven en Stade waar klaarblijkelijk in het geheel geen slib wordt verspreid? Welke baggertechnieken worden daar gebruikt, wat is de mate van vertroebeling en wat gebeurt er met het sediment?*

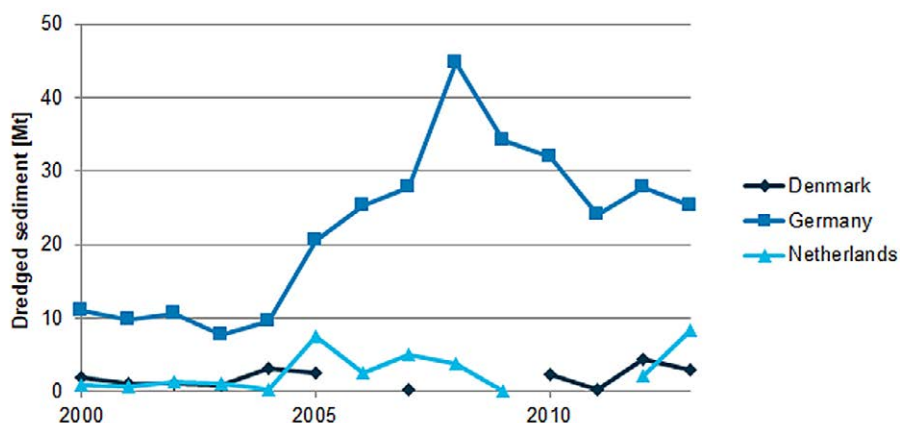
Het is niet eenvoudig om gedetailleerde gegevens te vinden over de gebaggerde hoeveelheden in de verschillende Duitse en Deense havens en vaargeulen. De reden hiervoor is onder andere dat verschillende overheden en havenautoriteiten opdrachtgever zijn voor de baggerwerkzaamheden. Het rapport over baggeren en de winning van oppervlakte delfstoffen van de Trilaterale Waddenzee organisatie (Schultze & Nehls, 2017) geeft een overzicht van de totale baggervolumes in de drie landen, zie Figuur 3-19. De volumes voor de Nederlandse Wadden komen voor 2009 tot 2014 niet overeen met de in Nederland gerapporteerde volumes (zie §3.6), waardoor getwijfeld wordt aan de waarde hiervan. Desalniettemin lijkt het duidelijk dat in Duitsland de grootste hoeveelheden worden gebaggerd. Dit is in lijn met rapportages over bijvoorbeeld het baggeren in de Elbe (Burt, 2006; Iwens & Marušić, 2007). En het is in overeenstemming met de omvang van de vaargeulen die in de grote estuaria (met name de Elbe en de Weser) op diepte worden gehouden. Hiermee lijken deze vaarwegen en hun onderhoud meer op de vaarwegen in Ems en Westerschelde, met overeenkomende onderhoudsbaggervolumes.

Gegevens over de baggerhoeveelheden in de individuele havens en vaargeulen zijn niet gevonden. Wel geeft het rapport van Schultze & Nehls (2017) in een kaart aan dat de baggerhoeveelheden in alle kleinere havens in Nedersachsen optellen tot minder dan 0,1 miljoen ton, terwijl de kleinere havens in Schleswig-Holstein optellen tot 1,7 miljoen ton (gemiddelden per jaar, voor de periode 2006-2013).

Het duurzaamheidsrapport (Schmitz & Wuczkowski, 2023) van de havens van Nedersachsen bevat een beschrijving van de baggerwerkzaamheden in alle 15 havens die onder haar hoede vallen, waaronder de havens van Emden en Cuxhaven. Van twee baggerprocessen, namelijk het onttrekken van sediment (vanwege de milieukwaliteit mag dit materiaal niet worden teruggestort) en het recirculeren via een sleephopperzuiger zijn de volumes genoemd en van het waterinjectiebaggeren zijn de bedrijfsuren opgenomen, zie Tabel 3-9. Het recirculeren vindt plaats in de haven van Emden. Van andere activiteiten is geen verdeling over de locaties opgegeven. Verder ontbreekt een opgave van het baggeren en verspreiden met andere baggerschepen, zoals sleephopperzuigers. Uit de andere rapportages (bijvoorbeeld Burt, 2006) kan worden opgemaakt dat de havens van Cuxhaven voornamelijk op diepte worden gehouden door water-injectiebaggeren. In dat geval is er geen sprake van het verspreiden op een locatie (zie §3.5).

De kleinere hoeveelheden die worden gebaggerd in Denemarken zijn goed te verklaren door de relatief beperkte omvang van de meeste havens en vaarwegen (met uitzondering van de haven van Esbjerg) in vergelijking met de Duitse en Nederlandse Waddenzee. Het is zinvol om meer gedetailleerde gegevens over de baggerhoeveelheden, -samenstelling en -technieken in de Duitse en Deense Waddenzee te verzamelen, met bijbehorende informatie over de setting van baggerlocaties. Vergelijking met de Nederlandse data kan leiden tot meer inzicht in de afwegingen over het baggeren.

Figuur 3-19 Grafiek met de baggervolumes in de Waddenzee, overgenomen uit Schultze & Nehls (2017).



Dredging Measures	2021	2020	2019	2018	2017
Dredging Quantities By storage space volume (in m³)	155,226	218,176	175,286	118,291	155,271
Dredging Quantities through re-circulation processes (in m³)	4,614,144	3,780,116	2,827,516	3,089,251	2,348,234
Deployment Hours During Water Injection Measures	2,693	2,935	2,603	2,216	3,312

Tabel 3-9 Hoeveelheden baggeren in de havens van Niedersachsen door onttrekken (dredging quantities by storage space volume), re-circuleren via de beun van een sleephopper-zuiger (re-circulation processes) en waterinjectiebaggeren (Water Injection Measures), overgenomen uit Schmitz & Wuczkowski (2023).

4

MORFOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN

4.1

Inleiding

De Waddenzee en de Eems-Dollard worden gekenmerkt door de dynamiek van de getijdegeulen en wadplaten. Deze morfodynamiek treedt op allerlei ruimtelijke schalen op, met verschillende tijdschalen. De veranderingen op de verschillende ruimte- en tijdschalen hebben invloed op de bevaarbaarheid van de natuurlijke geulen en op de sedimentatie, met name in de vaargeulen. Daarmee zijn de morfologische ontwikkelingen van invloed op het baggeren in de Waddenzee. In §4.2 wordt ingegaan op de veranderingen die al zijn opgetreden en in §4.4 worden de mogelijke toekomstige ontwikkelingen beschouwd in relatie tot het baggeren. In de tussenliggende §4.3 wordt gekeken naar de invloed van het baggeren op de morfologie.

4.2

Reeds opgetreden morfologische ontwikkelingen

- › **4.1-1** *Hoe heeft de morfologie (platen/geulen) van kombergingsgebieden zich ontwikkeld in de laatste 50 tot 100 jaar? Welke trends zijn daarbij nu aanwezig? Wat betekenen deze trends voor de ontwikkeling van vaargeulen en daarmee de bereikbaarheid van havens?*

De ontwikkeling van de morfologie in de verschillende kombergingsgebieden van de Waddenzee en in de Eems-Dollard is onderwerp van verschillende studies (zie de verschillende kombergingsrapporten; Elias, 2019; Elias et al., 2021). Op de schaal van de kombergingsgebieden van de Waddenzee is meest actuele studie die van Elias (2019), die in de plaats komt van Elias et al. (2012), en voor de Eems-Dollard is dat Elias et al. (2021). Deze analyses hebben overwegend betrekking op de grootschalige kenmerken, zoals de hoeveelheid sediment op de platen, het plaatareaal en de waterinhoud van de geulen. Algemeen toepasbare doorvertalingen van de langjarige ontwikkelingen naar de betekenis hiervan voor de haven en vaargeulen zijn niet beschikbaar. Hierbij moet worden bedacht dat hiervoor niet alleen de trend in de ontwikkeling van belang is, maar ook de uitgangssituatie. Zo is de gemiddelde waterdiepte in het Marsdiep-kombergingsgebied groter dan in het qua omvang vergelijkbare Vlie-kombergingsgebied, waardoor een dezelfde sedimentatie in het Vlie eerder tot knelpunten voor de scheepvaart zal leiden dan in het Marsdiep.

Wel zijn er locatie-specifieke analyses beschikbaar van knelpunten, zoals de Boontjes (Colina Alonso et al., 2021; Arcadis, 2022; Smits et al., 2022a) en de Vaarweg Holwerd-Ameland (Alkyon, 2008; Herman et al., 2016; Rijkswaterstaat, 2019; Grasmeijer, 2021; Van Engelen, 2022; Witteveen + Bos, 2022b), waar de trendmatige langjarige sedimentatie bijdraagt aan de toename van het baggerbezwaar.

De langjarige trends in sedimentatie in de kombergingsgebieden hebben niet alleen gevolgen voor de vaarwegen en havens en het baggerbezwaar, maar ook voor de verspreidingslocaties. Door trendmatige sedimentatie kan de bereikbaarheid van de verspreidingslocaties afnemen, bijvoorbeeld doordat de waterdiepte afneemt op drempels (bij eb- en vloedscharen) in de vaarroute tussen de bagger- en de verspreidingslocatie. Ook kan de herverdeling van de verspreide baggerspecie afnemen, doordat de transportcapaciteit ter plaatse afneemt.

- › **4.2-3** *De mens heeft door het bouwen van dammen en dijken en het realiseren van inpolderingen veel vastgelegd met als resultaat de ingesnoerde Waddenzee en daarmee ook het verlies van komberging en rustige zones met overwegend depositie van slib. Is hierdoor de slibconcentratie in de Waddenzee veranderd? Is er een relatie vast te stellen tussen menselijke ingrepen in het Waddensysteem en de slibconcentratie? Indien deze vragen positief zijn beantwoord, heeft dit dan mogelijk ook gevolgen gehad voor de slibdepositie in vaargeulen en havens?*

De slibconcentratie in de Waddenzee is veranderd door de afdamming van de Zuiderzee, maar dit is niet heel goed gedocumenteerd. Berekeningen aan de slibhuishouding laten zien dat veranderingen in de zoet-zout gradiënt, de waterdieptes bij hoog- en laagwater en de vertroebeling allemaal zijn veranderd (Smits et al, 2023). De toename van de slibconcentratie in met name het stroomopwaartse deel van het Eems-estuarium is goed gedocumenteerd en de waarschijnlijke rol van de verschillende menselijke ingrepen, zoals de verruiming van de hoofdgeul en het afdammen van buitendijkse ondiepe gebeden in het estuarium is daarbij ook vastgesteld (Van Maren et al, 2016; Van Maren et al., 2019). Mogelijk hebben ook de landaanwinningswerken en de afdamming van de Lauwerszee een rol gespeeld in de slibhuishouding en de slibconcentratie in de Waddenzee.

Het is niet uit te sluiten dat veranderingen in de slibconcentraties in de Waddenzee en Eems-Dollard hebben geleid tot veranderingen van de slibsedimentatie in de aanliggende havens en een deel van de vaargeulen (waar slibsedimentatie een rol van betekenis speelt bij het baggerbezwaar. Dit is echter niet gekwantificeerd. Daarbij komt dat deze veranderingen zijn opgetreden over langere perioden (van tientallen jaren), waarbij ook andere veranderingen hebben plaatsgevonden die van invloed zijn geweest op de sedimentatie. De aanpassingen van de havens zijn daar een voorbeeld van, evenals de veranderingen in de baggertechnieken.

4.3

Invloed van baggeren en verspreiden op de morfologie

In deze paragraaf wordt vooruitlopend op Hoofdstuk 5 over de ecologische effecten van baggeren en verspreiden ingegaan op vragen over de invloed van de bagger- en verspreidingswerkzaamheden op de morfologie.

- › **4.3-3** *Wat is de invloed van onnatuurlijke geuldimensies op de hydrodynamische (en ecologische processen) in het watersysteem, zoals stroming en golfwerking, sedimentconcentraties en troebelheid?*

Een algemeen geldend antwoord op deze vraag kan niet worden gegeven, enerzijds omdat de dimensies van de onnatuurlijke geuldimensies per baggerlocatie verschillen en anderzijds omdat de abiotische condities ter plaatse van de baggerwerkzaamheden verschillen. In de Waddenzee is op de meeste plekken waar gebaggerd wordt sprake van een lokale afwijking van de natuurlijke geuldimensies, bijvoorbeeld op een drempel bij een eb- of vloodschaar. Ter plaatse van de baggerlocaties is sprake van lagere stroomsnelheden dan in de autonome omstandigheden en daardoor zal sedimentatie optreden, waardoor de autonome diepte opnieuw wordt bereikt. Het sediment dat hiermee is gemoeid zal uit de omgeving worden aangevoerd, zodat daar minder sedimentatie optreedt of enige verdieping plaatsvindt. Opgemerkt kan worden dat voor de verspreidingslocaties in de Waddenzee in principe een vergelijkbare redenering opgaat.

Op één locatie vindt het baggeren over een groter gebied plaats, waardoor de waterbeweging en het sediment-transport in de ruimere omgeving wordt beïnvloed, namelijk bij het meest landwaartse deel van de vaarweg Holwerd-Ameland, nabij de veersteiger. Hier lijken de omstandigheden in termen van stroomsnelheden gedomineerd te worden door de gevolgen van het baggeren (Herman et al., 2016; Grasmeijer & Van Weerdenburg, 2021).

In het Eems-estuarium is sprake van een andere situatie, omdat het baggeren daar plaatsvindt in de hoofdgeul van het estuarium en niet in een van de aftakkingen van het vertakende geulennetwerk dat de kombergingsgebieden van de Waddenzee kenmerkt. Daarbij is in de Eems de hoofdgeul structureel verdiept over een lange afstand. Het gevolg hiervan is dat door het baggeren van de Eems de voorplanting van het getij en de waterbeweging (estuariene circulatie) grootschalig is veranderd. Deze verandering is een van de oorzaken van de sterke toename van de slibconcentraties in het stroomopwaarts deel van het estuarium (Van Maren et al, 2019).

- › **5.2-2** *Wat zou de troebelheid van de vaargeulen in de Eems worden wanneer deze op een minder grote diepte worden onderhouden dan thans het geval is?*

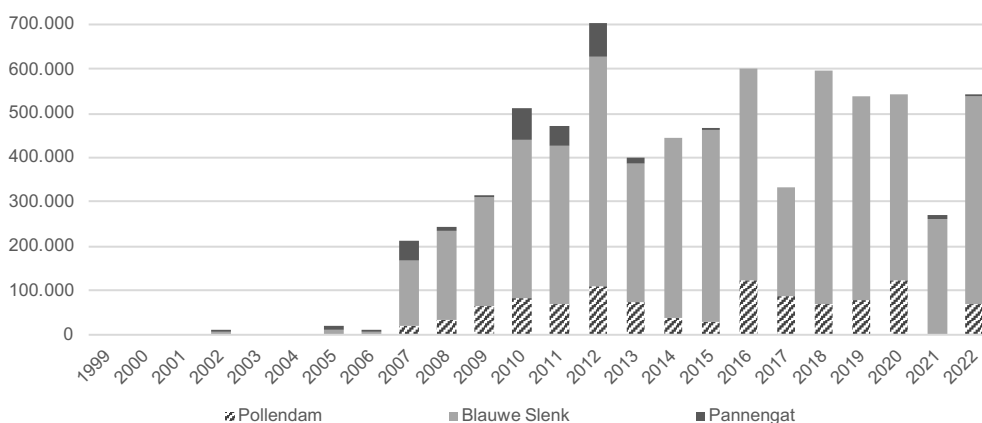
De beschrijving van de morfologische ontwikkelingen van het Eems-estuarium onder invloed van het structureel verdiepen van de hoofdgeul is opgenomen in de voorgaande paragraaf. Deze legt een oorzakelijk verband tussen de verruiming van de hoofdgeul en de toename van de sedimentconcentraties, via veranderingen in de voortplanting van het getij. De verwachting is dat een omgekeerde ontwikkeling, waarbij de omvang van de hoofdvaarweg wordt beperkt, betekent dat de vertroebeling afneemt. Overigens hebben er ook andere ontwikkelingen plaatsgevonden die van invloed zijn op de getijvoortplanting en de troebelheid, zoals verandering in de omvang van de intergetijdegebieden. Een verondieping van de hoofdgeul heeft geen invloed op de gevolgen van deze veranderingen.

- › **5.2-4** *Wat is de invloed van baggeren op het systeem van eb- en vloedscharen in de Waddenzee (indien van toepassing)?*
- › **5.1-2** *In hoeverre heeft baggeren invloed op het 'autonoom' geulgedrag, b.v. in relatie tot meanderen van de geul, de vorming van drempels of de mate van stabiliteit van de geul (doordat deze meer stroom zou kunnen trekken)?*

Op verschillende plekken in de Waddenzee bestaan de knelpunten in de vaarwegen uit drempels die onderdeel zijn van eb- en vloedscharsystemen (zie §2.2.2). In de meeste gevallen is het gebaggerde knelpunt een klein deel van het drempelgebied. Verondersteld wordt dat de dynamiek van de eb- en vloedscharen in dergelijke situaties niet of nauwelijks worden beïnvloed door het baggeren. Het door het baggeren verplaatste sedimentvolume is in deze situaties klein ten opzichte van de sedimentvolumes die door de autonome drempeldynamiek in beweging zijn. Dit lijkt bijvoorbeeld te gelden voor het drempelgebied bij VA9-VA13 van de vaargeul Holwerd-Ameland. Op een andere plek bij de vaarweg Holwerd-Ameland heeft het baggeren waarschijnlijk wel de autonome ontwikkeling van de geulbocht en van de eb- en vloedschaar beïnvloed (Van Til, 2018). De geulbocht is hier steeds verder gaan uitbochten. De eb- en vloedschaar die normaal gesproken na verloop van tijd de functie van de geulbocht had overgenomen, is niet doorontwikkeld, waarschijnlijk omdat de stroming via de relatief ruime, gebaggerde geul efficiënter plaats kon vinden dan via de eb- en vloedschaar. Door een doorsteek te baggeren door de eb- en vloedschaar is de normale ontwikkeling geforceerd (Grasmeijer & Van Weerdenburg, 2021).

In de vaarweg Harlingen-Noordzee zijn in 2007 de drempels in de Blauwe Slenk, het Pannengat en de Pollendam verruimt (locaties in Figuur 4-2). Het doel hiervan was om de toegankelijkheid van de haven van Harlingen voor zeeschepen te verbeteren (Mulder et al., 2005). Beide drempels zijn onderdeel van een eb- en vloed-schaar complex in deze geulen. De ondiepte bij de Pollendam is niet gekoppeld aan een eb- en vloed-schaar. Door het baggeren zijn deze drempels in het Pannengat en de Blauwe Slenk niet verdwenen of duidelijk van vorm veranderd. Wel is blijvend onderhoudsbaggerwerk noodzakelijk gebleken om met name de drempel in de Blauwe Slenk op diepte te houden. Voorafgaand aan de verdieping van deze drempels in de eb- en vloed-scharen werd vrijwel niet gebaggerd op deze drempels en dit is opgelopen na afloop van de verdieping. De drempel in de Blauwe Slenk ligt meer landwaarts dan de drempel in het Pannengat en de natuurlijke diepte van de drempel in de Blauwe Slenk is kleiner dan die in het Pannengat. Daarom is de omvang van het onderhoudsbaggerwerk in de Blauwe Slenk veel groter dan die in het Pannengat.

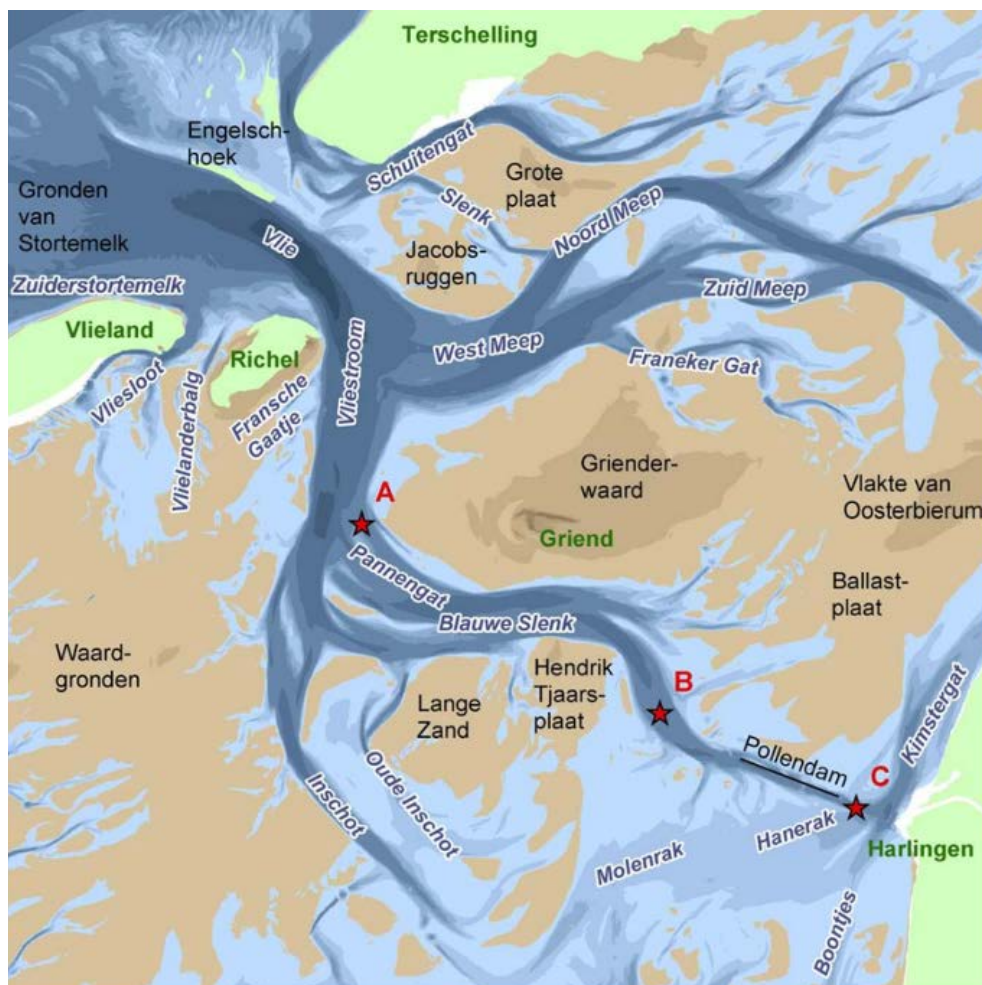
Figuur 4-1 Grafiek met de baggervolumes 1999-2021 van de baggervakken Pollendam, Blauwe Slenk en Pannengat in het kombergingsgebied Vlie (bron: Rijkswaterstaat; Mulder, 2021), locaties in Figuur 4-2.



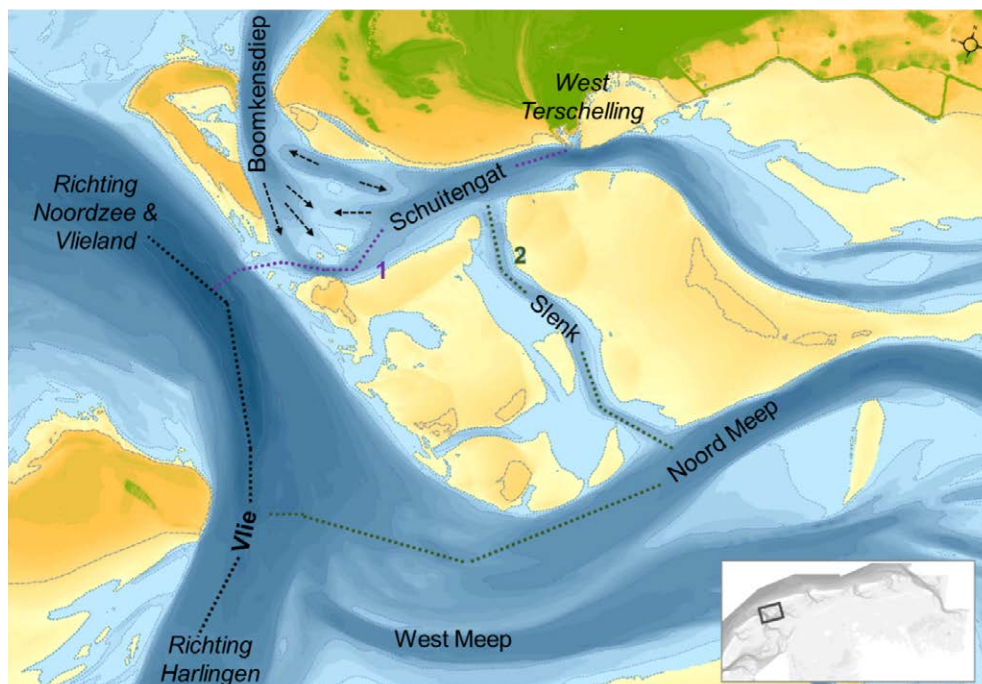
Een vaarwegverbinding waar de morfologische dynamiek van complexe eb- en vloed-scharen een belangrijke rol heeft gespeeld bij het verplaatsen van de vaarweg en bagger-onderhoud is die vanaf de veerhaven Terschelling naar het Vlie. De twee routes tussen het Vlie en de haven van Terschelling lopen via het Schuitengat en Slenk-Noord Meep - West Meep, zoals is aangegeven in Figuur 4-3. De vaargeul door Slenk is tot stand gebracht ter vervanging van de verbinding via het Schuitengat. Vanwege morfologische veranderingen op de drempel van het Schuitengat en het Boomkensdiep en de aangrenzende ondiepte, bleek de verbinding via het Schuitengat alleen in stand gehouden te kunnen worden door het uitvoeren van een steeds grotere baggerinspanning. In de grafiek in Figuur 4-4 is zichtbaar dat baggerinspanning opliep in de richting van 900.000 m³ in 1992. Dit illustreert dat de dynamiek van eb- en vloed-scharen dermate groot kan zijn dat deze de morfologische veranderingen domineert, ondanks het leveren van een grote baggerinspanning.

In 1995 en 1996 is de verbinding via Slenk verdiept, waarvoor initieel een grote baggerinspanning is geleverd. Daarna is de baggerinspanning gestabiliseerd. In 2018 is gekeken of de morfologische ontwikkelingen van het Schuitengat, waar opnieuw een verbinding met het Vlie is ontstaan, opnieuw in gebruik kan worden genomen (Van Til & Cleveringa, 2018). De conclusie was tot nu toe dat de voorspelbaarheid van de verbinding en van het baggerbezwaar op de drempel van het Schuitengat te beperkt is om in te zetten op het in gebruik nemen van het Schuitengat ter vervanging van Slenk.

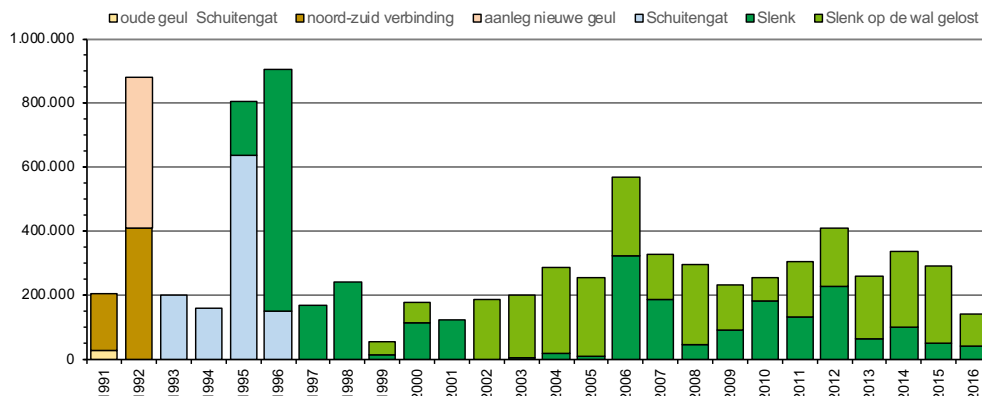
Figuur 4-2 Zeegat van het Vlie met de locaties van de te verwijderen ondiepten/drempels: A = drempel Pannengat, B = drempel Blauwe Slenk 18-20, C = drempel Pollendam (Uit Mulder et al, 2005).



Figuur 4-3 Kaart met de twee vaarverbindingen van de haven van Terschelling naar de geul het Vlie. De stippellijnen geven een indicatie van de vaarverbindingen. De pijltjes geven een indicatie van de eb- en vloedscharen in het Schuitengat. De route via het Schuitengat is gemarkeerd met 1 en de route via Slenk met 2 (bodempligging 2016, bron vaklodingen Rijkswaterstaat).



Figuur 4-4 Grafiek met de baggervolumes (m^3 in beem) tussen 1991 en 2016 in Schuitengat en Slenk. De data is afkomstig van Rijkswaterstaat Noord-Nederland (H. Mulder en E. Lofvers). De figuur is naar Terwisscha van Scheltinga (2012), aangevuld met data van 2012-2016. Figuur uit Van Til & Cleveringa (2018)



In de route van de vaarweg Holwerd-Ameland zijn in de jaren '50 van de vorige eeuw twee doorsteken tussen natuurlijke geulen aangelegd, die respectievelijk Suezkanaal en Panamakanaal werden genoemd. Deze gebaggerde geulen lijken ten minste deels autonoom in stand gebleven, doordat deze verbindingen 'stroom zijn gaan trekken'. In de jaren '70 heeft ook baggeronderhoud plaatsgevonden (Historische case 2 in het Kombergingsrapport Borndiep, Cleveringa & Oost, 2017). Het zijn de enige voorbeelden van succesvolle gebaggerde verbindingen die (grotendeels) uit zichzelf op diepte bleven. Voorafgaand aan het baggeren van de Boontjes was de verwachting, op basis van model-simulaties, dat deze geul ook stroom zou gaan trekken, waardoor het baggerbezwaar beperkt zou blijven (Ouwerkerk & Vuik, 2012). De ontwikkeling van het baggerbezwaar wijst op een minder grote bijdrage van het stroom trekken in de praktijk.

- › *Wat is de relatie tussen de baggerinspanningen en de veranderingen in de breedte en diepte van geulen? Verschilt dit in ruimte (b.v. afstand tot het zeegeat) en tijd (b.v. seizoen)?*

In principe leidt elke baggerinspanning waarbij een kubieke meter sediment wordt verplaatst tot een verandering van de geul waar dezelfde hoeveelheid sediment mee is gemoeid. Afhankelijk van de werkzaamheden betekent het baggeren dat er een verdieping, verbreding, of een combinatie van beide plaatsvindt. Hoe de verandering er aan de bodem exact uitziet hangt af van de ingezette baggertechniek en van de samenstelling van de bodem. In een bodem met enige stevigheid (zand met slib, geconsolideerd slib en geconsolideerde slib-zandmengsel) zijn de gevolgen van het baggeren op de bodem direct zichtbaar. Baggeren levert in dergelijke bodem op de plek van het baggeren direct een lokale verdieping van de bodem. In een bodem die uit niet-geconsolideerd slib of los gepakt zand bestaat, of waar een laag fluid mud de bovenzijde van de bodem vormt, stroomt materiaal naar de plek waar is gebaggerd, zodat geen baggersporen zichtbaar zijn. Het baggeren levert in dergelijke bodems een kleine verdieping over een groter gebied van waaruit het niet-geconsolideerde bodemmateriaal is toegestroomd. In alle gevallen wordt door het doorgaand baggeren de gewenste verdieping en verbreding bereikt. De verschillen in de samenstelling van het bodemsediment en daarmee in de stevigheid ervan zijn gekoppeld aan de locatie in het kombergingsgebied (zie §2.3) en dat kan ook in de tijd variëren.

- › **5.1-5** Heeft baggeren van geulen invloed op het gedrag en de dimensies van aanliggende platen?

Invloed van het baggeren (of storten) op aanliggende platen is niet beschreven in het Waddengebied, inclusief de Eems-Dollard. Ook aanleidingen, bijvoorbeeld in de vorm van waarnemingen aan platen die (lokaal) afwijkende ontwikkelingen vertonen, zijn niet bekend. Omgekeerd zijn wel ontwikkelingen beschreven van platen met gevolgen voor de vaargeul, zoals bij de vaargeul Holwerd-Ameland (Alkyon, 2008).

4.4

Toekomstige morfologische ontwikkelingen

- › **4.1-2** *Op korte termijn wordt het wadsysteem vooral gekenmerkt door aanzanding en verondieping doordat de depositiesnelheden op kombergingsniveau de snelheid van zeespiegelstijging overtreffen. Hoe gaan de baggerhoeveelheden in de Waddenzee en Eems-Dollard zich de komende tijd ontwikkelen, als de vaargeuldieptes gelijk blijven? Zal het baggeren (en daarmee ook verspreiden) in omvang gaan toenemen? Is er in dit kader een verschil tussen het onderhoud van vaargeulen en de havens?*
- › **4.1-7** *Heeft versnelde zeespiegelstijging ook invloed op de werking van de hydrodynamische- en sedimenttransport processen in de Waddenzee door veranderingen in getij- en golfwerking? Wat is dan naar verwachting het effect op de geul- en kombergingsdynamiek en wat betekent dit voor de bagger- en verspreidingsinspanningen op termijn? Is het mogelijk (als er onvoldoende informatie beschikbaar is voor een toekomstbeeld) om hiervoor tenminste een aantal scenario's te schetsen op basis van bestaande IPCC- en/of KNMI-scenario's?*

De response van de Waddenzee en de Eems-Dollard op de stijgende zeespiegel en eventuele versnelling daarvan is onderwerp van verschillende studies. Het denkmodel en het rekenmodel voor de response van de Waddenzee is anders dan dat voor de Eems-Dollard vandaar dat de gebieden afzonderlijk van elkaar worden beschouwd.

In vraag 4.1-2 over ontwikkelingen van de baggervolumes is al een beschrijving opgenomen van de grootschalige ontwikkelingen die de afgelopen tientallen jaren hebben plaatsgevonden, onder invloed van de grotere aanvoer van sediment naar de kombergingsgebieden dan nodig is om de zeespiegelstijging te volgen. Deze netto aanzanding (of juist sedimentatie, het betreft naast zand ook slib) heeft voor sommige vaargeulen en geulen met verspreidingslocaties geresulteerd in een afname van hun omvang. Deze trendmatige ontwikkeling verandert niet direct als gevolg van versnelde zeespiegelstijging. Enerzijds is in veel kombergingsgebieden de aanvoer van sediment dermate groot dat ook bij een versnelde zeespiegelstijging sprake is van een grotere aanvoer dan nodig voor het bijhouden van de zeespiegelstijging, anderzijds omdat de response op de versnelling met enige vertraging optreedt (zie bijvoorbeeld Lodder et al., 2022). Op de termijn van tientallen jaren zal de beschreven ontwikkeling van 'aanzanding en verondieping' domineren. En daarom wordt op die termijn verwacht dat de baggerinspanning nog zal moeten toenemen, indien wordt uitgegaan van de vigerende dimensies van vaargeulen en havens.

Voor de ontwikkelingen op de langere termijn is inzicht nodig in het denkmodel dat is ontwikkeld om de reactie van de morfologie op versnelde zeespiegelstijging te beschrijven. Het denkmodel voor de response van de kombergingsgebieden in de Waddenzee op de (versneld) stijgende zeespiegel is dat van het sedimentdelende systeem (zie onder andere Louters & Gerritsen, 1994; Ministerie van Economische Zaken, 2006; Janssen et al., 2017; Wang & Nederhoff, 2018, Van der Spek, 2018). De essentie van het denkmodel is dat de waterbeweging in de Waddenzee niet wezenlijk verandert als gevolg van zeespiegel-

stijging, maar dat geleidelijke verandering van de watervolumes leidt tot een geleidelijke verandering van de omvang van de wadplaten, de getijdegeulen en de buitendelta. Dit denkmodel is verwerkt in het ASMITA-model (Wang et al., 2018; Huismans et al., 2022; Witteveen + Bos, 2022b), waarmee voorspellingen zijn uitgevoerd voor de response van de kombergingsgebieden op zeespiegelstijging (Buijsman, 1997; Van Goor, 2003; Kragtwijk et al., 2004; Van Geer, 2007; Cleveringa & Grasmeyer, 2010; Wang et al., 2018; Lodder et al., 2022; Huismans et al., 2022). Het denkmodel en de voorspellingen hebben betrekking op de response van alle gecombineerde wadplaten, gecombineerde getijdegeulen en het sedimentvolume van de buitendelta per kombergingsgebied. Het denkmodel en het ASMITA-model werken met geaggregeerde eenheden per komberging en kennen geen ruimtelijke differentiatie. De ontwikkeling van individuele geulen, zoals die van belang is voor het bepalen van veranderingen in de omvang en de sedimentatie vanwege het baggeren, zijn hiermee niet direct te bepalen.

Voor de toekomstscenario's voor de verbinding tussen Ameland en het vasteland zijn wel berekeningen uitgevoerd waarbij de trends op kombergingsschaal zijn vertaald naar de ontwikkelingen van individuele geulen (Van Engelen, 2022; Witteveen + Bos, 2022b). Hierbij is gebruik gemaakt van de lokale relaties tussen de omvang van de vaargeul (de doorstroomoppervlakte), de autonome omvang van de getijdegeul en het baggerbezwaar om daarmee het toekomstige baggerbezwaar bij verschillende scenario's te berekenen (Van Engelen, 2022). Omdat hierbij sprake is van verschillende onbekenden waarmee lokaal rekening moet worden gehouden, zoals de verplaatsing van het wantij, de ontwikkeling van het areaal van de kwelders en de lokale sedimentatie op de wadplaten onder invloed van de (versneld) stijgende zeespiegel is de bandbreedte in deze voorspellingen groot.

Het is niet mogelijk om een algemeen antwoord te geven op de vraag hoe de vaargeulen zullen reageren op de ontwikkelingen bij verschillende zeespiegelstijgingsscenario's. Dit heeft zowel te maken met de verschillen tussen de kombergingsgebieden en hun response op zeespiegelstijging, als met het verschil in de ligging van de vaargeulen. De voorspellingen van de response van kombergingsgebieden laten een verschil zien tussen de grote (Vlie, Marsdiep), middelgrootte (Borndiep, Zoutkamperlaag) en kleine kombergingsgebieden (Pinkegat). De overgang van de huidige trend, waarbij in vrijwel alle kombergingsgebieden de omvang van geulen afneemt, naar een trend waarbij de omvang van de geulen toeneemt, vindt bij grote kombergingsgebieden plaats bij lagere snelheden van zeespiegelstijging dan bij kleine bekkens. Voor de vaargeulen is de omvang van getijdegeulen belangrijk. Het kan betekenen dat bij de grote bekkens een versnelde zeespiegelstijging eerder leidt tot een positieve ontwikkeling en minder baggerbezwaar dan bij kleinere kombergingsgebieden. De belangrijke disclaimer hierbij is dat de ontwikkelingen van de omvang van gecombineerde getijdegeulen in het kombergingsgebied niet de enige factor is die bepalend is voor de omvang van een individuele (vaar)geul (zie hiervoor ook het voorbeeld van de vaargeul Holwerd-Ameland in Van Engelen, 2022). Het kan ook dat in een situatie met een toenemend volume van de getijdegeulen in een kombergingsgebied, de lokale omstandigheden (zoals het uitbreiden van een kwelder, of het overnemen van het debiet van de geul door andere geul in de nabijheid) leiden tot een afname van de omvang van de vaargeul.

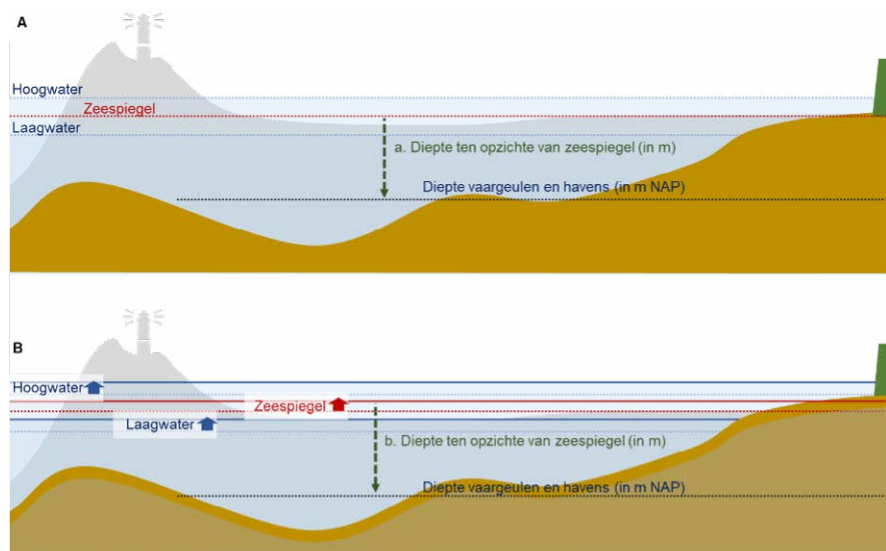
Voor de havens is de grootschalige ontwikkeling van de Waddenzee waarschijnlijk van minder belang voor de sedimentatie en daarmee voor het baggerbezwaar, dan bij de vaargeulen. Voor de havens is concentratie van het sediment in het water dat de haven instroomt bepalend voor de sedimentatiesnelheden. Grootschalige veranderingen van de sedimentconcentratie in de Waddenzee worden in eerste instantie niet verwacht als

gevolg van grootschalige ontwikkelingen in de Waddenzee. Indien de kenmerken van het Waddengebied grootschalige zouden veranderen, bijvoorbeeld doordat het sublitorale areaal sterk toeneemt en het litorale areaal afneemt, met gevolgen voor de (variatie van de) sedimentconcentraties, dan kan dit van invloed zijn op de sedimentatie in de havens. Ook veranderingen in het grootschalige stromingspatroon onder invloed van klimaatverandering kunnen van invloed zijn op de sedimentimport en – concentraties in de Westelijke Waddenzee (Van der Molen et al., 2022). Voor Waddenzeehavens achterin de kombergingsgebieden (met name aan de vastelandskust, zoals Harlingen) kan de grootschalige ontwikkeling van de Waddenzee wel als gevolg hebben dat beschikbaarheid van verspreidingslocaties in de directe omgeving afneemt.

Voor de langjarige en grootschalige ontwikkeling van het Eems-estuarium is geen vergelijkbaar denkmodel beschikbaar als voor de Waddenzee. Van Maren et al. (2019) hebben gemodelleerd aan de toekomstige ontwikkeling van het Eems-estuarium, waarbij ook is gekeken naar scenario's met versnelde zeespiegelstijging. De voorspellingen laten zien dat bij versnelde zeespiegelstijging vrijwel geen extra zand naar het estuarium wordt getransporteerd. Omdat wel slib tot afzetting kan komen, worden de platen dan slibrijker. Het is niet mogelijk om een directe vertaling te maken van deze modelvoorspellingen naar het baggeren.

Ten slotte is het belangrijk om op te merken dat de dieptes voor de vaargeulen en havens in de Waddenzee zijn vastgelegd ten opzichte van NAP. Bij een (versneld) stijgende zeespiegel nemen de waterstanden (hoogwater, laagwater en het middenstandvlak) in de Waddenzee toe. Dit betekent dat bij zeespiegelstijging en het aanhouden van bestaande dieptes ten opzichte van NAP de beschikbare diepte in de vaargeulen en havens toeneemt. Deze situatie is schematisch weergegeven in Figuur 4-5. Indien de bodemligging in de Waddenzee de zeespiegel volgt, zoals wordt verondersteld in het denkmodel voor de morfologische ontwikkeling, neemt bij een stijgende zeespiegel de diepte van natuurlijke geulen af ten opzichte van NAP. Ook dit is weergegeven in Figuur 4-5. Het consequent handhaven van dezelfde diepte ten opzichte van NAP van de vaargeulen en in mindere mate van de havens, leidt bij een (versneld) stijgende zeespiegel tot een toename van het baggerbezuur. De effectief beschikbare waterdiepte van de vaarweg (ten opzichte van de waterstanden) neemt dan toe. Internationaal is afgesproken om de diepte van vaargeulen uit te drukken ten opzichte van het Lowest Astronomical Tide (LAT). In tegenstelling tot het NAP verandert het LAT in principe met veranderingen in de waterstanden.

Figuur 4-5 Schematische weergave van het effect van zeespiegelstijging op de beschikbare waterdiepte. A. Situatie voorafgaand aan zeespiegelstijging en B. situatie na zeespiegelstijging.



5

ECOLOGISCHE EFFECTEN VAN BAGGEREN EN VERSPREIDEN

5.1

Inleiding

Het baggeren en verspreiden van baggerspecie heeft gevolgen voor de ecologie. Voor ecologische effecten zijn zowel de directe effecten op bijvoorbeeld het bodemleven relevant, als indirecte effecten doordat bijvoorbeeld de concentratie nutriënten in het water en de troebelheid van het water veranderen. Dit wordt nader toegelicht en uitgewerkt aan de hand van effectenketens in §5.2. Er zijn ook economische gevolgen (kosten en baten) en het baggeren kan doorwerken op andere functies in het Waddengebied, maar hier zijn geen directe vragen over gesteld en daarom worden deze aspecten niet nader beschouwd.

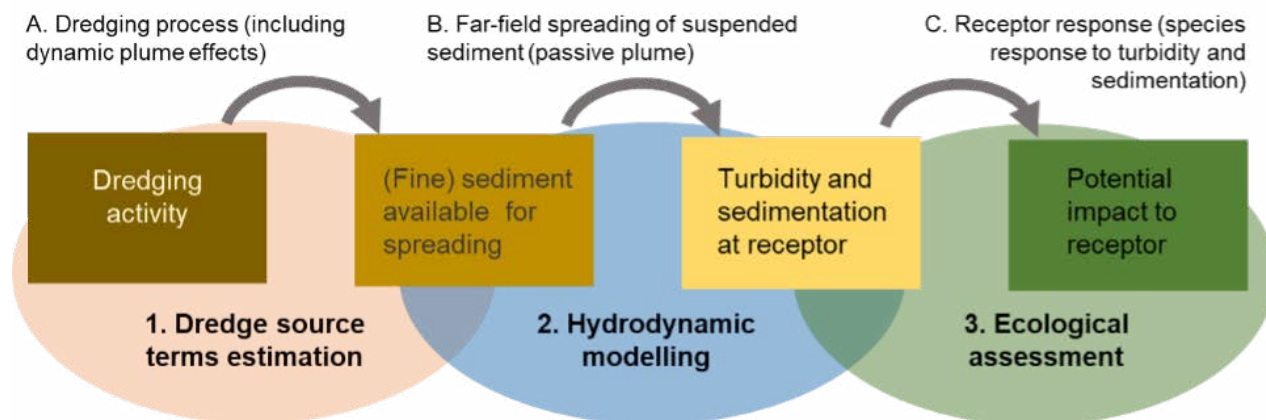
De kennisvragen die in de volgende paragrafen worden beschouwd zijn de volgende:

- › **5.1-11** *Wat is het effect van bodemverstoring/beroering op het vrijkomen van nutriënten uit de bodem naar de waterkolom en welke invloed heeft de verstoring op de afbraak van organisch materiaal?*
- › **5.1-18** *Wat is het effect van bodemberoering door baggeren op het bodemleven in geulen? En welke andere menselijke activiteiten zullen van invloed zijn op dit bodemleven?*
- › **5.1-19** *Wat is het effect van storting en verspreiding van sediment op het bodemleven (o.a. door bedekking van b.v. schelpdieren)?*
- › **5.1-20** *Wat is het effect van bedekking en vertroebeling op de primaire productie voor respectievelijk microfytobenthos (bodemalgen) en zeegras. Wat is het effect van vertroebeling op respectievelijk fyto- en zoöplankton en garnalen? Wat betekent dit voor de vangbaarheid van deze garnalen?*
- › **5.1-21** *Wat is de invloed van verspreiden, bedekking met sediment en vertroebeling op (zichtjagende) vogels in de Waddenzee?*
- › **5.1-23** *Wat is de invloed van baggeren en verspreiden op vissen in de Waddenzee?*
- › **5.1-24** *In welke mate en op welke wijze worden zeezoogdieren beïnvloed door de effecten van baggeren, verspreiden en vertroebeling?*
- › **5.1-25** *Hoe schadelijk is (onder)watergeluid door baggeren voor de verschillende organismen in de Waddenzee? Hoe schadelijk is overlast door lichtvervuiling in dit verband?*
- › **5.1-26** *Hoe schadelijk zijn emissies door baggerschepen en b.v., het gebruik van PFAS (in vetten voor smering van schroefassen) voor de waterkwaliteit?*

5.2

Effectenketens

Bij het beschouwen van de effecten van het baggeren en verspreiden wordt gewerkt met effectketens. In de effectketens wordt beschreven op welke wijze de activiteit doorwerkt op de ecologie. Een deel van de effecten op de ecologie treedt op als een direct gevolg van de activiteit, denk daarbij aan de verschillende vormen van verstoring (visueel, licht, geluid) die optreden door de aanwezigheid van een baggerschip, het verstoren van de bodem tijdens het baggeren en het bedekken van de bodem bij het verspreiden van baggerspecie. Andere effecten werken indirect door op de ecologie. De gevolgen van verhoogde concentraties slib in de waterkolom kunnen bijvoorbeeld gevolgen hebben voor de primaire productie door fytoplankton, op filterfeedende schelpdieren, op zicht jagende vogels, zoals sterns, en op vissen. Een voorbeeld van zo'n effectketen is weergegeven in Figuur 5-1. De ecologische gevolgen die dan optreden kunnen vervolgens weer doorwerken in het ecologisch systeem, bijvoorbeeld doordat de groei van schelpdieren wordt beïnvloed, waardoor de beschikbaarheid van voedsel voor vogels verandert. Een vergelijkbare aanpak is gehanteerd in de recente 'beoordeling van ecologische effecten van garnalenvisserij op bodem en biota' (Eijsackers et al., 2023). Het is niet mogelijk om de bevindingen van Eijsackers et al. (2023) met betrekking tot de effecten op het sediment, primaire productie en biogeochemische processen door de bodemberoering die optreedt bij garnalenvisserij direct te vertalen naar de effecten van het baggeren en verspreiden, omdat de aard van de activiteiten daarvoor te veel verschilt.



Figuur 5-1 Schematische weergave van de effectketen van baggeren ("dredging activity") tot het potentiële effect op een ecologische factor ("potential impact to receptor"), met daarbij een beschrijving van de processen (A, B, C) en de stappen in de ecologische beoordeling (1,2,3), overgenomen in iets aangepaste vorm uit Van Eekelen et al. (2015)

In verschillende effectanalyses en Passende beoordelingen (onder andere RHDHV, 2021; Witteveen + Bos, 2021; Arcadis, 2022) zijn de verschillende effectketens opgenomen die optreden bij het baggeren en verspreiden in de Nederlandse getijdewateren. Niet voor elke techniek treden de verschillende effecten op dezelfde wijze op, hierop wordt nader ingegaan in §5.3. In Tabel 5-1 is een overzicht opgenomen van de verschillende effecten die kunnen optreden bij het baggeren en verspreiden. Onder de tabel is een toelichting opgenomen op de verschillende effecten.

Tabel 5-1 Effecten van werkzaamheden (aangepast naar Baptist, 2015, op basis van Jonker en Koolstra, 2011).

	Effect door	Andere benaming	Gevolgen door sediment
1a	Aanwezigheid schip (schaduw, beweging)	Verstoring door aanwezigheid schip; Visuele verstoring	Nee
1b	Geluid onderwater	Verstoring door geluid onderwater	Nee
1c	Geluid bovenwater	Verstoring door geluid bovenwater	Nee
1d	Licht	Verstoring door licht	Nee
2	Beroering waterkolom		Nee
3	Verwijdering bodemmateriaal	Verstoring van de bodem	Ja
4a	Sediment in de waterkolom		Ja
4b	Vertroebeling		Ja
5	Bedekking		Ja
6	Sedimentatie		Ja
7a	Verrijking nutriënten en organische stof		Ja
7b	Verlaging zuurstofconcentratie		Ja
7c	Verontreiniging toxische stoffen		Ja
8	Uitstoot NOx		Nee
9	Bijvangst	Opgezogen vissen	Nee

Bij het beschouwen van verschillende van de effecten in Tabel 5-1, zoals vertroebeling en bedekking, wordt in studies onderscheid gemaakt in de “near-field” en “far-field” effecten (Witteveen + Bos, 2021; Dankers, 2022). De near-field effecten zijn de gevolgen zoals die vrijwel direct tijdens de werkzaamheden optreden rond het baggerschip of rond de verspreidingslocatie. De far-field effecten zijn de gevolgen zoals die optreden door de herverdeling van de baggerspecie door de stroming. De near-field effecten zijn vaak de meest herkenbare gevolgen, omdat deze direct gekoppeld zijn aan de werkzaamheden. Het ruimtelijke bereik ervan is over het algemeen beperkt tot de omgeving van het baggerschip en de duur ervan is ook beperkt. De near-field effecten treden op tijdens en kort na (ordegrootte uren) de werkzaamheden. De far-field effecten hebben een veel groter ruimtelijk bereik, omdat zand en slib tot kilometers ver door de stroming kunnen worden getransporteerd. De far-field effecten hebben een tijdsduur van weken tot maanden, afhankelijk van de omvang van de werkzaamheden.

1. Verstoring door aanwezigheid schip (1a), geluid onderwater (1b), geluid bovenwater (1c) en door licht (1d)

De aanwezigheid en activiteit van het baggerschip kan op verschillende manieren gevolgen hebben voor dieren die hier gevoelig voor zijn. Witteveen + Bos (2023) geven een overzicht van de verschillende soortgroepen die gevolgen kunnen ondervinden. Op de baggerlocaties vindt per definitie ook andere scheepvaart plaats en dat geldt ook voor vrijwel alle transportroutes en verspreidingslocaties. De aanwezigheid van andere scheepvaart betekent dat de verstoring van de invloed van de extra scheepsbewegingen vanwege het baggeren veelal als beperkt worden beoordeeld. Desalniettemin is de mogelijke verstoring van scheepvaart op ruiende, rustende en foeragerende watervogels aangemerkt als kennisleemte door Witteveen + Bos (2023). De voortplanting van geluid onder water wordt in het ondiepe water van de Waddenzee beperkt door de waterdiepte en door de variatie in de waterdiepte. Toch is dit onderwerp aangemerkt als kennisleemte vanwege gevolgen voor zeezoogdieren en vissen (Witteveen + Bos, 2023a).

2. Beroering waterkolom

De beroering van de waterkolom betreft de stroming en turbulentie die wordt opgewekt door het schip. De stroming en turbulentie kunnen gevolgen hebben voor bijvoorbeeld vissen. De effecten op de baggerlocatie en op verspreidingslocatie zijn altijd beperkt ten opzichte van die van het baggeren en verspreiden zelf. De effecten tijdens het transport zullen beperkt zijn ten opzichte van de getijdestroming in de voor het transport gebruikte geulen, zodat het niet waarschijnlijk wordt geacht dat dit effect optreedt (Jonker & Koolstra, 2011).

3. Verwijdering van de bodem: Verstoring van de bodem

Bij alle baggertechnieken wordt op de plaats waar wordt gebaggerd de bodem dermate verstoord, dat ervan kan uit worden gegaan dat er (vrijwel) geen sprake meer is van (sessiel) bodemleven (voor zover daar in de uitgangssituatie voorafgaand aan het baggeren sprake was van bodemleven). Bij de inzet van een sleeophopperzuiger of kraanschip wordt met het opbaggeren van het sediment van de bodem ook het bodemleven meegenomen. Bij de technieken waarbij opwoeling plaatsvindt kan (een deel) van het bodemleven het baggerproces overleven, zodat deze dieren de bodem kunnen rekoloniseren.

4. Sediment in de waterkolom (4a), vertroebeling (4b)

Near field

Bij alle baggertechnieken komt lokaal, ter plaatse van de werkzaamheden, fijn sediment in de waterkolom vrij (de “dynamic plume” in Figuur 5-1). Het zand dat vrijkomt, zal vrijwel ter plaatse weer op de bodem terecht komen. Slib blijft, vanwege de lagere valsnelheid van de kleine en lichte deeltjes langer in de waterkolom aanwezig. Op vrijwel alle locaties in de Waddenzee is wel enig slib in de bodem aanwezig, zelfs in de bodem van de drempels van de grotere geulen. Waar het slib vrijkomt in de waterkolom is afhankelijk van de toegepaste baggertechniek. Bij het gebruik van een sleeophopperzuiger komt zowel fijn sediment in de waterkolom nabij de bodem rondom de zuigkop als aan het oppervlak door de overflow van productiewater. Bij waterinjectiebaggeren komt het slib vrij bij de waterbodem, met een hoge dichtheid. Bij het gebruik van lucht bij het baggeren met de airset kan het fijne sediment tot boven in de waterkolom komen. Bij ploegen blijft het sediment vrij dicht bij de bodem.

De ecologische gevolgen van slib in de waterkolom zijn divers (Van Duren et al., 2015; Eijsackers et al., 2023). Dieren die nutriënten uit de waterkolom filteren, dus organismen zoals mosselen, kunnen minder efficiënt foerageren, omdat meer slib moet worden uitgefilterd en afgevoerd (Witteveen + Bos, 2021). Voor vissen kunnen hogere concentraties sediment problemen opleveren voor de kieuwen. Door de vertroebeling kan de primaire productie afnemen door alle organismen die van licht afhankelijk zijn, zoals fytoplankton en zeegras. Zichtjagende visetende vogels, zoals sterns zijn voor hun vangstsucces afhankelijk van het doorzicht. De afhankelijkheid van het doorzicht voor het jachtsucces is complex, zowel bij heldere condities, als bij zeer troebele condities neemt het vangstsucces af (Baptist & Leopold, 2007). Witteveen + Bos (2023) geven een overzicht van verschillende vogelsoorten en de habitatgeschiktheid in relatie tot het doorzicht.

Door Deltares (Smits et al., 2022b) is een overzicht gegeven van de beschikbare kennis over vertroebeling in de Waddenzee in relatie tot het fytoplankton, de algen die in de waterkolom leven. De conclusies uit deze studie zijn hier opgenomen: “Concluderend verwachten we dat een daling van de concentratie zwevend stof een beperkt positief effect zal hebben op de primaire productie en de biomassa van het fytoplankton. Zelfs bij een forse toename van de lichtdoordringing, verwachten we niet dat het effect groter wordt dan ongeveer 5-10%” en “De belangrijkste reden hiervoor is dat de

limitering snel verschuift naar nutriëntenbeperking, die in de huidige toestand van de Waddenzee ook al de dominante factor is. Een preciezere schatting van dit mogelijke effect zou kunnen worden berekend met ecosysteemmodellering, maar gezien de grote inspanning die daarvoor noodzakelijk is, en het verwachte geringe effect, heeft het onderwerp geen hoge prioriteit.”

Het microfytobenthos betreft de algen die bovenop sedimenten groeien. In de Waddenzee wordt microfytobenthos alleen op de intergetijdeplaten aangetroffen en niet in het sublitoraal (de niet-droogvallende delen), omdat de lichtindringing daarvoor te gering is (Smits et al., 2022b). Daarbij wordt opgemerkt dat voor het voorkomen van microfytobenthos in het sublitoraal van de Waddenzee de concentraties zwevend stof zeer sterk zouden moeten afnemen. De aanwezigheid van microfytobenthos op de wadplaten is sterk gecorreleerd aan het slibgehalte van de bodem. Observaties laten zien dat hoge slibgehalten samen op gaan met grote dichtheden van microfytobenthos (Van der Wal et al., 2010). Indien het slibgehalte zou veranderen (in Smits et al., 2022b is dat gekoppeld aan onttrekkingen van slib, maar dit geldt in principe voor alle activiteiten die leiden tot een verandering in het slibgehalte), dan kan dit invloed hebben op het microfytobenthos.

Far field

De baggerspecie die op de verspreidingslocatie terecht is gekomen wordt daar geërodeerd door de stroming. Daarbij komt fijn sediment in de waterkolom, dat door de stroming verder wordt verplaatst. Omdat op de meeste verspreidingslocaties zowel de eb- als vloedstroming zorgt voor erosie en transport van het fijne sediment is sprake van een ruime “vlek” met concentratieverhoging rondom de verspreidingslocatie. De ecologische gevolgen van het sediment in waterkolom zijn hetzelfde als de effecten die zijn beschreven bij de near-field effecten.

5. Bedekking van de bodem- Near field ter plaatse van de verspreidingslocatie

Indien sprake is van verspreiding van de baggerspecie, dan zal op de verspreidingslocatie bedekking plaatsvinden van het aanwezige bodemleven (voor zover daar in de uitgangssituatie voorafgaand aan het verspreiden sprake van was). De ecologische gevolgen hiervan zijn afhankelijk van de laagdikte en van de snelheid waarmee de bedekking plaatsvindt. Bij beperkte laagdiktes en/of lage snelheden zijn bodemdieren in staat om omhoog te graven. De kritische snelheden waarbij dieren dit niet meer kunnen en sterven is afhankelijk van de soort (Bijkerk, 1988; Witteveen + Bos, 2021). Tabel 5-2 geeft een overzicht van drempelwaarden waarbij sterfte optreedt voor aantal soorten schelpdieren die in de Waddenzee leven.

6. Sedimentatie op de bodem- far field in de ruime omgeving van de baggerlocatie en de verspreidingslocatie

Het sediment dat in de waterkolom terecht is gekomen, zal na verloop van tijd weer op de bodem terechtkomen. De tijdsduur voor het bezinken van het sediment is afhankelijk van de valsnelheid van het sediment, de stromingscondities en de waterdiepte. Zand komt al snel en dicht bij de herkomstlocatie tot afzetting op de bodem, omdat het zand een hoge valsnelheid heeft. Het bezinken van slib duurt langer, zodat het slib over een groter gebied sedimenteert. De laagdikte en afzettingssnelheid van zand is hoger dan van het slib. De ecologische effecten die hierdoor optreden zijn vergelijkbaar met de near-field effecten door bedekking. Over mogelijke veranderingen in korrelgrootteverdeling en slibgehalten rond verspreidingslocaties, die in potentie ook gevolgen kunnen hebben voor het bodemleven, is geen informatie beschikbaar.

Tabel 5-2 Drempelwaarden die leiden tot sterfte als deze worden overschreden, uitgesplitst naar vertroebeling en bedekking. Bedekking wordt gegeven als een sedimentatiesnelheid (centimeter per tijdseenheid) of een instantane bedekking (centimeter) overgenomen uit Witteveen + Bos, 2023a, met een enkele aanpassing).

Soort	Mate van vertroebeling / sedimentatie	Effect	Opmerkingen	Bronnen
Wadkreeftje (<i>Corophium volutator</i>)	2,3 cm/maand	44 % sterfte		Birklund & Wijsman, 2005
	7 cm/maand	82 % sterfte		
	10,2 cm/maand	99,6 % sterfte		
Nonnetje (<i>Macoma balthica</i>)	7 cm/maand	~0 % sterfte		Birklund & Wijsman, 2005
	10,2 cm/maand	~80 % sterfte		
Gewone mossel (<i>Mytilus edulis</i>)	250 mg/L (kleine mosselen)	mosselen stoppen met filteren		Hutchinson et al., 2016
	350 mg/L (grotere mosselen)			
	>2 cm op bovenkant schelp	4 % sterfte na 2 dagen	fijn sediment: 28 % sterfte	Hutchinson et al., 2016
		44 % sterfte na 32 dagen	grof sediment: 2 % sterfte	
Alikruik (<i>Littorina littorea</i>)	5 cm	fataal na 1 dag		Chandrasekara & Frid, 1998
Amerikaanse zwaardschede (<i>Ensis directus</i>)	tot ~260 mg/L	geen effect		Witbaard et al., 2015

7. Vrijkomen van stoffen

Verrijking nutriënten (7a)

Het gaat bij dit effect om de nutriënten die (chemisch) gebonden zijn aan fijn sediment. Zandig bodemmateriaal bevat vrijwel geen nutriënten. Bij het baggeren van slibrijke baggerspecie kunnen de chemische condities veranderen van zuurstofarm in de bodem naar relatief zuurstofrijk in de bagger. Door het veranderen van de chemische condities kan de binding van de nutriënten worden verbroken, zodat het vrijkomt in het water. Door het vrijkomen van nutriënten zijn deze beschikbaar voor organismen en dit kan de primaire productie beïnvloeden.

Vrijkomen en organische stof en verlaging zuurstofconcentratie (7b)

Indien bij het baggeren organisch materiaal vrijkomt dat oorspronkelijk onder anoxische omstandigheden in de bodem aanwezig was, dan kan dit gaan oxideren wanneer het in relatief zuurstofrijk water terecht komt. Overigens geldt dit niet voor al het organische materiaal in de bodem, alleen de makkelijke afbreekbare (labiele) fractie zal snel oxideren. Voor de stabiele fractie, zoals houtresten en veen, geldt dit niet. Door het oxideren van de labiele organische fractie kan het zuurstofgehalte in het water afnemen. Het afnemen van het zuurstofgehalte kan gevolgen hebben voor de organismen die afhankelijk zijn van het zuurstofgehalte van het water, zoals vissen. Het risico dat dergelijke processen daadwerkelijk leiden tot lagere zuurstofgehalten is in de Waddenzee in de getijdegeulen en havens waar wordt gebaggerd niet zo groot, omdat door de dagelijks optredende getijdestroming, in combinatie met de waterbeweging door wind en golven, veel menging en verversing optreedt van het water. Dit is een wezenlijk verschil met andere waterlichamen, zoals diepere delen van de Noordzee en meren waar weinig uitwisseling en menging van watermassa's optreedt.

Verontreiniging toxische stoffen (7c)

Indien verontreinigingen aanwezig zijn in de bodem, dan zijn deze over het algemeen gebonden aan fijn sediment. Bij het baggeren kunnen de condities veranderen, waardoor de verontreinigingen vrijkomen in het water. De verontreinigingen kunnen gevolgen hebben voor organismen die hieraan worden blootgesteld.

8. Uitstoot NO_x

De schepen die worden ingezet voor het baggeren hebben tot nu toe altijd verbrandingsmotoren, waardoor tijdens de werkzaamheden emissie van NO_x plaatsvindt. De ecologische gevolgen hiervan treden op door depositie van de NO_x op habitattypen die hier gevoelig voor zijn, dit is bekend als de stikstofproblematiek.

9. Bijvangst door opgezogen vissen

Bij baggerwerkzaamheden met sleeppopperzuigers kan bij het opzuigen van het sediment van de bodem ook sprake zijn van het opzuigen van vissen die op of nabij de bodem leven. De meeste vissoorten zullen worden opgeschrikt door de zuigkop die over de bodem wordt gesleept, of door het geluid van het baggerschip (zie verstoring hierboven) en dan wegzwemmen. Soorten die niet snel zwemmen lopen de kans om opgezogen te worden en dan in de beun van het schip te belanden, of via de overflow weer overboord te spoelen. Vanwege de omstandigheden tijdens het verpompen en in de beun van het schip is het niet waarschijnlijk dat de vissen dit overleven.

5.3

Bagger- en verspreidingstechnieken en hun effecten

- › **5.1-10** *In welke mate (kwantitatief) is de bodemverstoring afhankelijk van de gebruikte baggertechnologie zoals de sleeppopperzuiger, het kraanschip, de cutterzuiger (indien van toepassing in gebied), agitatiebaggeren of water-injectie methoden?*
- › **5.1-12** *Wat is het effect van de verschillende methoden voor vertroebeling tijdens het baggeren?*
- › **5.1-13** *Wat is het effect van de verschillende verspreidingstechnieken voor de ruimtelijke en temporele patronen van vertroebeling?*

Bij de verschillende bagger- en verspreidingstechnieken die worden ingezet in het waddengebied treden verschillende gevolgen op en daarom worden de effectketens daarop aangepast. Zo treden bij de inzet van een sleeppopperzuiger gevolgen op tijdens het baggeren op de baggerlocatie, wordt gevaren naar de verspreidingslocatie en treden gevolgen op bij de verspreidingslocatie. Bij de inzet van de verschillende agitatie-technieken wordt het materiaal ter plaatse van de baggerlocatie verspreid en is geen sprake van een separate verspreidingslocatie waar gevolgen optreden. Bij het gebruik van waterinjectiebaggeren (WID-en) stroomt het losgemaakte sediment weg, zodat het op een andere plek vrijkomt dan waar wordt gebaggerd. Daarbij is ook het type gevolgen dat optreedt gekoppeld aan de baggertechniek en het eventuele transport en verspreiden. In Tabel 5-3 staan de verschillende bagger- en verspreidingsmethoden, zoals die kunnen worden toegepast in de Waddenzee, en de bijbehorende effecten samengevat.

Uit Tabel 5-3 wordt duidelijk dat de verschillende baggertechnieken, in combinatie met de verschillende mogelijkheden voor verspreiden, leiden tot een grote variatie in effecten. Ook de locaties waar effecten optreden verschillen duidelijk, omdat bij alle technieken waarbij baggerspecie naar een verspreidingslocatie wordt gevaren, ook langs de transportroute en bij de verspreidingslocatie effecten optreden. Bij het op stroom zetten van het sediment zijn de gevolgen beperkt tot de baggerlocatie.

Ten slotte is het belangrijk om op te merken dat regelmatig combinaties van bagger-technieken worden ingezet voor het baggeronderhoud. Dat betekent niet persé dat bij beide technieken dan alle effecten optreden. Een bekende combinatie is de inzet van een ploegboot voor het afvlakken van de bodem, nadat met een sleephopperzuiger is gebaggerd. De sleephopperzuiger laat een onregelmatige bodem achter, doordat het sediment wordt opgezogen met de sleepkop en het praktisch niet mogelijk is om dit in perfect aansluitende banen te doen. De bodem is dan al verstoord door het werken met de sleephopperzuiger, waarbij het sediment van de bodem is opgezogen. Het aansluitend ploegen levert dan geen extra verstoring van de bodem meer op.

Baggermethoden	Verspreidingsmethode	Baggerlocatie	Transport	Verspreidingslocatie
Sleephopperzuiger	Onderlossen	1,2,3,4,6,7,8	1,2,8	1,2,4,5,6,7,8
	Op stroom ter plaatse van baggeren	1,2,3,4,5,6,7,8		
	Op stroom na transport	1,2,3,4,6,7,8	1,2,8	1,2,4,5,6,7,8
	Aan de wal	1,2,3,4,6,7,8	1,2,8	1,8 (aanlandingslocatie)
Agitatie met Water-injectiebaggeren	Niet van toepassing: bagger stroomt weg als hoge dichtheidsstroming	1,2,3,4,6,7,8		4,5,6,7
Agitatie met AirSet	Op stroom ter plaatse van baggeren	1,2,3,4,5,6,7,8		
Opwoelen met ploegboot	Op stroom ter plaatse van baggeren	1,2,3,4,5,6,7,8		
Kraanschip	Onderlossen	1,2,3,4,6,7,8	1,2,8	1,2,4,5,6,7,8
	Aan de wal	1,2,3,4,6,7,8	1,2,8	1,8 (aanlandingslocatie)

Tabel 5-3 Mogelijke combinaties van bagger- en verspreidingsmethoden en de effecten die optreden bij de verschillende locaties. Onder de tabel staat de verklaring van de nummers van de verschillende effecten.

- 1 Verstoring, visueel, geluid onder- en bovenwater, licht
- 2 Beroering waterkolom
- 3 Verstoring van de bodem door verwijderen bodemmateriaal
- 4 Sediment in de waterkolom & Vertroebeling
- 5 Bedekking
- 6 Sedimentatie
- 7 Verrijking nutriënten en organische stof, verlaging zuurstofconcentratie en verontreiniging toxische stoffen
- 8 Uitstoot NO_x

5.4 Omvang van effecten

De omvang van de ecologische effecten wordt in de eerste plaats bepaald door de omvang van de baggerwerkzaamheden: bij het baggeren van grote hoeveelheden zijn de werkzaamheden en effecten omvangrijker. In de Waddenzee betekent een groter baggervolume meestal dat de duur van de werkzaamheden toeneemt. In sommige gevallen worden bij een groter baggervolume meerdere baggerschepen ingezet. De inzet van grotere baggerschepen vindt zelden plaats, omdat op de meeste baggerlocaties de waterdiepte beperkingen oplegt aan de diepgang en daarmee de omvang van de in te zetten baggerschepen. Een langere duur van de werkzaamheden betekent ook dat alle effecten langer duren.

Een tweede factor die bepalend is voor de omvang van de effecten die samenhangen met het sediment, is de verhouding tussen de zand- en de slibfractie van de baggerspecie. Baggerspecie met veel slib zal grotere gevolgen hebben voor de vertroebeling dan eenzelfde hoeveelheid zandige baggerspecie. Grotere gebaggerde hoeveelheden slib en grotere hoeveelheden slib die worden verspreid hebben tot gevolg dat de far-field effecten van vertroebeling en sedimentatie toenemen in ruimte en tijd. Zowel de omvang van het gebied waar vertroebeling en bedekking optreden neemt toe, als de tijdsduur waarop sprake is van vertroebeling en bedekking. Voor sedimentatie geldt dat deze bij slibrijke baggerspecie over een beduidend groter gebied zal optreden dan bij zand, waarbij de laagdikte en sedimentatie-snelheden wel lager zijn dan bij zand. Ook voor de gevolgen via aan slib gebonden nutriënten en verontreinigingen en de gevolgen voor de zuurstofhuishouding, geldt dat het slibgehalte sterk bepalend is voor het optreden van dergelijke effecten. Bij baggerspecie die vooral uit zand bestaat kan het gevolg zijn dat het materiaal maar in beperkte mate wordt verspreid, zeker als het in natuurlijke depressies zoals (oude) geulen wordt gestort. Dit kan leiden tot morfologisch gevolgen zoals permanent verondieping, waardoor de abiotische omstandigheden veranderen en bijvoorbeeld de bodemdiergemeenschap van samenstelling verandert.

Een factor die medebepalend is voor de omvang van de effecten door verstoring van de bodem door het baggeren en door bedekking door verspreiding, is de frequentie waarmee het wordt uitgevoerd. Indien na de verstoring of bedekking voldoende tijd is voor rekolonisatie, dan kan het bodemleven zich herstellen. De tijdsduur voor rekolonisatie verschilt per soort, van maanden tot meerdere jaren. Bij een herhaaltijd van baggeren en verspreiden die korter is dan de hersteltijd, dan kan geen herstel optreden van het bodemleven.

5.4.1

Omvang van de effecten in relatie tot de locatie en de seizoenen

De schematische ecotopenkaart in Figuur 2-9 en de schematische dwarsdoorsnede in Figuur 2-10 geven een eerste en zeer globale indicatie van de verschillen in de omvang van effecten die kunnen optreden bij het baggeren op verschillende locaties in een kombergingsgebied.

- › *Baggeren in een vaargeul (geulstaart, zie §2.2.3) nabij de vastelandskust zal over het algemeen plaatsvinden direct nabij laagdynamische wadplaten, waarbij het slibgehalte toeneemt naarmate je dichterbij de kust komt. De nabijheid van de wadplaten is een direct gevolg van de beperkte omvang van de geul. De mogelijke ecologische waarden van de nabijgelegen wadplaten staan in Figuur 2-10. Voor vogelsoorten die tijdens laagwater foerageren op de wadplaten kan de nabijheid van het baggerschip verstoring veroorzaken. Over het algemeen zijn geen grote concentraties rustende zeehonden aanwezig in deze omgeving, zodat daarop geen sprake zal zijn van uitgebreide verstoring. De baggerspecie is relatief slibrijk op dit soort locatie. De gevolgen van de slibrijkdom van de baggerspecie is sterk afhankelijk van de baggermethodes die optreden en, bij de baggertechnieken met verspreiding, ook van de locatie waar die verspreiding plaatsvindt. Bedacht moet worden dat de slibconcentraties in het water in de geulstaarten van nature al hoog zijn, zodat de relatieve toename door het baggeren en verspreiden beperkt kan zijn.*
- › *Baggeren op de drempels in de geulen in de grotere geulen die verder van het vasteland en meer in de richting van het zeegat liggen betekent dat verder van de droogvallende wadplaten wordt gewerkt. De gevolgen door verstoring op foeragerende vogels op het wad zullen daardoor beperkter zijn. Ook de afstand tot eventuele rustende zeehonden is groter, zodat de eventuele verstoring beperkt blijft. Het slibgehalte van de baggerspecie zal beduidend kleiner zijn. Omdat de concentratie slib in het water ook kleiner is, kan nog steeds sprake zijn van een relatief grote toename van het slibgehalte door het baggeren en verspreiden.*

Bovenstaande beschouwing van de gevolgen van het baggeren en verspreiden is dermate generiek dat deze nergens direct van toepassing zal zijn. Locatie specifieke omstandigheden van bodemligging, sedimentsamenstelling en de ecologische kenmerken zijn bepalend voor de gevolgen die optreden door de verschillende baggertechnieken.

Bij het beschouwen van de effecten is niet alleen de absolute omvang daarvan bepalend, maar ook de relatieve omvang. De relatieve omvang wordt voor een deel bepaald door de locatie waar de effecten optreden. Een voorbeeld hiervan betreft het transport tussen de bagger- en verspreidingslocatie. In sommige gevallen vindt het transport plaats via een relatief drukke scheepvaartroute, zodat de extra scheepsbewegingen wegvallen tegen de rest van het scheepvaartverkeer. Op andere plekken vindt weinig scheepvaartverkeer plaats, zodat de extra scheepsbewegingen voor het transport van de baggerspecie duidelijker merkbaar is, waardoor de kans op het optreden van verstoring groter is.

Specifiek voor de vertroebeling geldt dat de effecten altijd worden beschouwd ten opzichte van de autonoom aanwezige achtergrondconcentratie. Hierover zijn aantal specifieke vragen gesteld:

- › **5.1-7** *Wat is de relatie tussen baggeren en verspreiden en de mate van bodemberoering (verstoring) en de vertroebeling van de waterkolom? Verschilt dit in ruimte (b.v. afstand tot het zeegat) en tijd (b.v. seizoen)?*
- › **5.1-16** *Hoe staat de bodemberoering door baggeren (b.v. in oppervlak en frequentie) in verhouding tot de autonome dynamiek van sediment door natuurlijke processen? Wat is het aandeel van de in de Waddenzee gestorte baggerspecie ten opzichte van de natuurlijke transportfluxen onder verschillende condities?*

- › **5.1-9** *In relatie tot het effect van vertroebeling in de Waddenzee rijst de vraag in hoeverre de primaire productie in de Waddenzee wordt gelimiteerd door gebrek aan licht en/of nutriënten? Waar, wanneer en in welke mate speelt dit een rol? In dit kader speelt ook de vraag wat de bijdrage is van kiezelwieren aan de primaire productie in de Waddenzee?*
- › **5.1-15** *Wat is het effect van baggeronttrekking uit de geulen en havens in de Waddenzee en het verspreiden dicht bij het zeegat dan wel op de Noordzee, onder meer voor wat betreft (de mogelijke frequentie en intensiteit waarmee moet worden gebaggerd- red: dit deel van de vraag wordt beantwoord in §7.2) en de mate van vertroebeling die (lokaal) kan optreden?*

In de kombergingsgebieden is een gradiënt aanwezig in de slibconcentratie (zie §2.3), dus de achtergrondconcentratie verschilt voor de verschillende bagger- en verspreidingslocaties. De relatieve toename van vertroebeling zal over het algemeen groter zijn nabij het zeegat, waar het water van nature helderder is, dan achter in de kombergingsgebieden, waar het water troebeler is. In de Noordzee is het water gemiddeld nog helderder dan in het zeegat, zodat de relatieve effecten op de vertroebeling daar nog groter zijn.

Dat de relatieve toename van de vertroebeling groter is nabij de zeegaten en in de Noordzee betekent overigens niet noodzakelijkerwijs dat de ecologische impact daar groter is. Die impact hangt af van het soort ecologische effecten waarnaar wordt gekeken en ook van andere factoren. Zo is het bijvoorbeeld voor de gevolgen voor de primaire productie door planktonische algen niet alleen belangrijk wat het doorzicht is, maar ook in hoeverre de primaire productie wordt beperkt door licht of nutriënten (Colijn & Cadée, 2003). De hoeveelheid nutriënten in de Waddenzee is afgenomen in vergelijking met de jaren '70 en '80 van de vorige eeuw (Beusekom et al. (2019). Zie ook §2.4 voor de schets van de ruimtelijke verdeling van de sedimentconcentratie en de relatie met de primaire productie door planktonische algen. Brinkman & Jacobs (2023) geven inzicht in de veranderingen die op de lange termijn zijn opgetreden in de primaire productie door planktonische algen in het Eems-estuarium en de rol die veranderingen in de vertroebeling en de nutriëntenbeschikbaarheid daarin spelen.

De concentratie van fijn sediment in de Waddenzee varieert over de seizoenen, met gemiddeld de hoogste concentraties in de wintermaanden en laagste waarden in de zomermaanden (De Vries et al, 2018; Herman et al, 2018 & 2020 en zie Figuur 2-7). De relatieve toename als gevolg van dezelfde verhoging van de concentratie is daarom groter in de zomermaanden dan in de wintermaanden. Hoe zo'n toename van de vertroebeling doorwerkt op de ecologie is daarbij afhankelijk van het specifieke effect dat wordt beschouwd. Zo zijn het voorjaar- en het begin van de zomerperiode de periodes met hoogste primaire productie, maar hangt de impact van een toename van de concentratie van slib door baggeren en verspreiden ook af van de beschikbaarheid van nutriënten.

- › **5.1-14** *Hoe groot is de extra vertroebeling door baggeren ten opzichte van de minimale, gemiddelde en maximale waarden van de natuurlijke troebelheid in de Waddenzee? Wat zijn de belangrijkste natuurlijke processen en factoren die verantwoordelijk zijn voor vertroebeling?*
- › **5.1-8** *Wat zou een realistische referentiesituatie kunnen zijn (b.v. in relatie tot vertroebeling) gegeven het feit dat de Waddenzee bijvoorbeeld al vele jaren bloot staat aan de (dagelijkse) effecten van baggeractiviteiten?*

Het vaststellen van de achtergrondconcentraties in de Waddenzee en de Eems-Dollard is geen eenvoudige zaak, waarbij een aantal aspecten een rol speelt:

- › *Natuurlijke processen zijn zeer dynamisch in ruimte en tijd en dat geeft een sterke variatie in de autonome optredende concentraties;*
- › *Gevolgen van antropogene ingrepen, zoals bedijkingen, afsluitingen, de aanleg en aanwezigheid van havenbekkens, kwelderwerken en het baggeren en verspreiden voegen variatie en structurele veranderingen aan toe. In de Eems-Dollard zijn ook de structurele verdiepingen van de hoofdvaartgeul van invloed op de slibconcentraties.*

Metingen van een natuurlijke situatie, dat wil zeggen, zonder de invloed van menselijke ingrepen zijn niet beschikbaar, omdat de eerste ingrepen hebben plaatsgevonden ruim voordat metingen zijn uitgevoerd. Dit betekent dat meetresultaten van de slibconcentraties altijd worden beïnvloed door menselijke activiteiten en ingrepen.

Computermodellen van de waterbeweging en het slibtransport bieden de mogelijkheid om in de berekeningen de menselijke activiteiten aan en uit te schakelen (van Maren et al, 2019), om daarmee inzicht te geven in de slibconcentraties met en zonder deze invloeden. De getoonde slibconcentraties in Figuur 2-7 zijn bijvoorbeeld berekend zonder daarin menselijke activiteiten mee te nemen. In de praktijk blijkt het complex om dit soort berekeningen uit te voeren en voldoende zekerheid te krijgen over de resultaten, omdat voldoende uitgebreide systematische tijdseries van metingen van slibconcentraties en andere relevante parameters maar beperkt voorhanden zijn voor het Waddengebied. De input, kalibratie en validatie van modellen kan daardoor lastig zijn. Ervaring heeft geleerd dat een sterke interactie nodig is tussen metingen en modelberekeningen. Voor het interpreteren van meetreeksen is modelgebruik vaak onontbeerlijk en omgekeerd kan het werken met alleen modellen leiden tot onjuiste schematisaties en interpretaties door gebrek aan data. De minimale, gemiddelde en maximale waarden van de *natuurlijke* troebelheid in de Waddenzee en de Eems-Dollard zijn daarom niet zonder meer te geven.

5.4.2

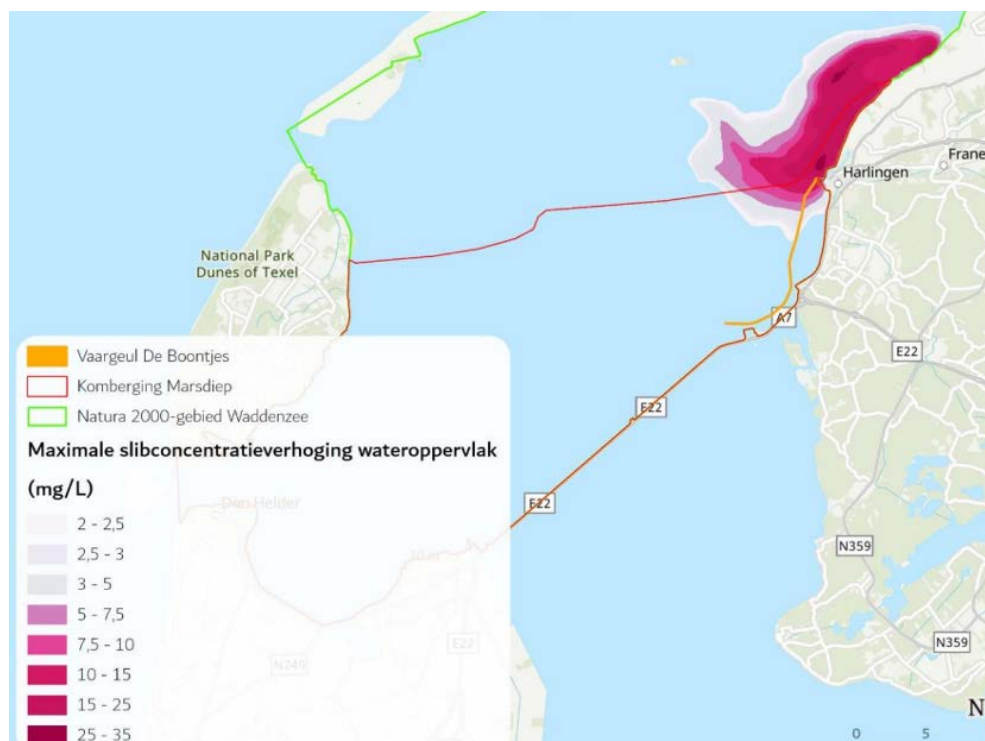
Modellering van sedimentconcentratie in de waterkolom en sedimentatie

Voor het bepalen van de omvang van toename van de sedimentconcentratie in de waterkolom en de sedimentatie op de bodem voor effectenstudies wordt sinds ruim 15 jaar gebruik gemaakt van computermodellen. In de computermodellen wordt het vrijkomen van zand en/of slib berekend. De randvoorwaarden worden specifiek voor de toegepaste baggertechniek en de baggerspecie op de betreffende locatie opgelegd (dit is aangegeven met 1 in Figuur 5-1). Hierbij wordt ook rekening gehouden met waar in de waterkolom het sediment vrijkomt. Verschillende meetcampagnes die zijn uitgevoerd naar de wijze waarop zand en slib in het water komen bij het baggeren en het verspreiden geven de bandbreedte in de verschillende brongetallen. Dit betreft informatie over het vrijkomen van slib bij:

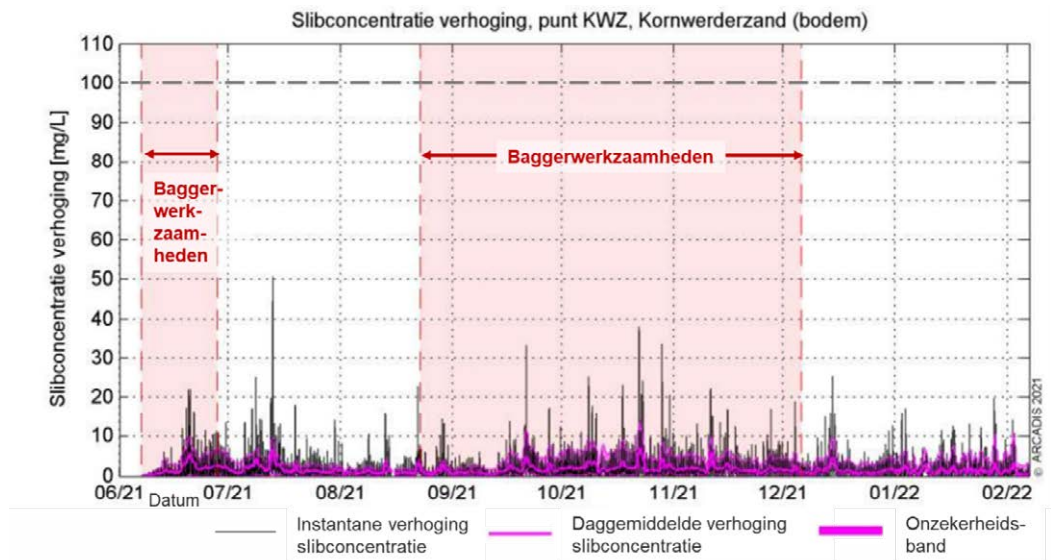
- **Alle technieken** (Becker et al, 2015; Van Eekelen et al., 2015);
- **Waterinjectiebaggeren (WID-en)** onder andere beschikbaar in Aquatic Services Unit (2011); Marsh et al (2012); PIANC, 2013; Kirichek et al. (2021); Kirichek & Rutgers (2020);
- **Sleephopperzuigers** onder andere beschikbaar in Deanalay et al. (1999); Winterwerp (2002); Spearman et al. (2011); Van Rijn (2019);
- **Kraanschepen** onder andere beschikbaar in Van Rijn (2019).

De modelberekeningen van waterbeweging (dit is aangegeven met 2 in Figuur 5-1) worden gebruikt om het transport van zand en/of slib vanaf de bron (baggerlocatie, verspreidingslocatie) te berekenen. Afhankelijk van de modelopzet bestaan de resultaten van de simulaties uit de concentratie van slib in het water en de sedimentatie van slib of zand op de bodem gedurende de periode die wordt doorgerekend. Omdat de resultaten van de modelsimulaties in veel gevallen worden gebruikt voor analyse van de ecologische effecten, wordt meestal een keuze gemaakt in de weergave die aansluit op de verschillende effectketens. Voor de invloed van vertroebeling op de primaire productie door fytoplankton wordt gekeken naar de slibconcentratie in de bovenste waterlaag, direct onder het wateroppervlak. Hierbij kan de hele berekende tijdreeks worden getoond, of wordt een kaart gemaakt met de maximale verhoging gedurende de hele gemodelleerde periode, zoals het voorbeeld getoond in Figuur 5-2. Voor de gevolgen voor filterfeedende organismen die op of in de bodem leven, zoals verschillende schelpdieren (mosselen, kokkels) wordt juist gekeken naar de slibconcentraties aan de bodem, in de onderste waterlaag van het model (Figuur 5-3). In andere gevallen wordt een analyse uitgevoerd naar de gemiddelde slibconcentraties in de hele waterkolom. Voor het effect van sedimentatie is vooral van belang wat de maximale laagdikte is die wordt afgezet en met welke snelheid de sedimentatie plaatsvindt. Figuur 5-4 toont een ander berekeningsresultaat, namelijk de laagdikte na 10 dagen continue verspreiding van sediment, omdat dit modelresultaat is vergeleken met metingen en niet is gebruikt voor een effectanalyse. De modellen zijn ook ingezet om te berekenen wat de gevolgen zijn van de sedimentatie in de havenbekkens voor de slibconcentratie in de Waddenzee (van Kessel, 2015; Kuijper & Brinkman, 2015).

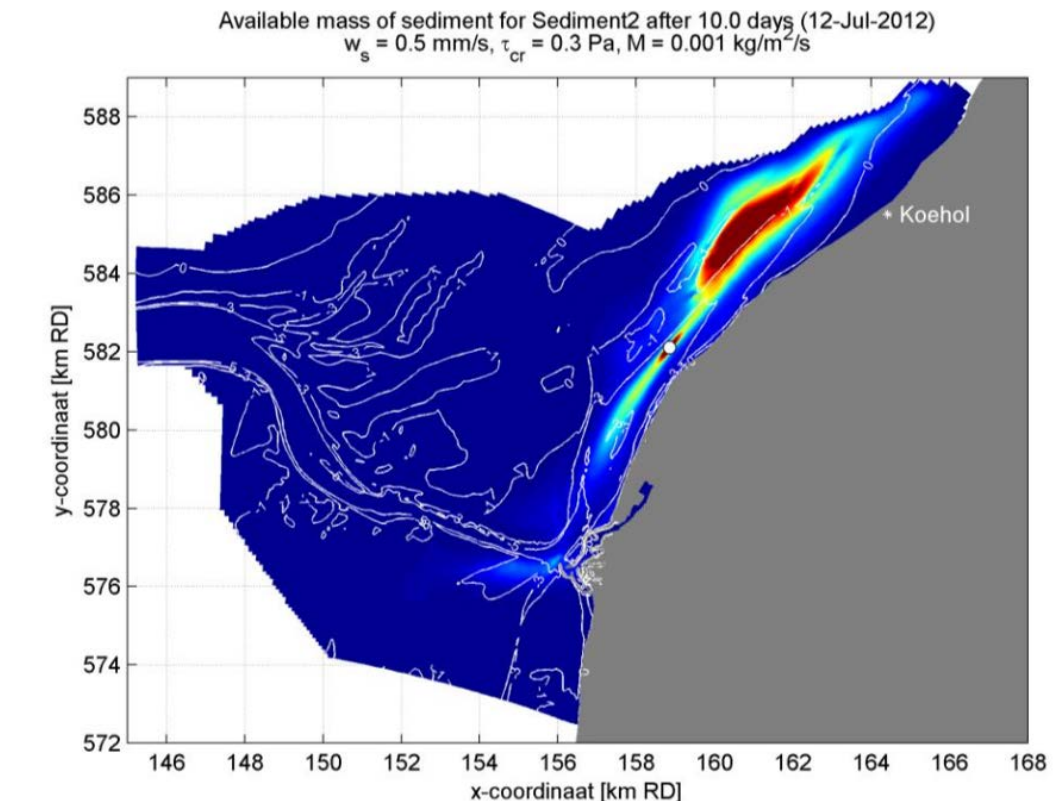
Figuur 5-2 Maximale toename van de slibconcentratie aan het wateroppervlak bij het verdiepen van de Vaarweg Boontjes (naar NAP -4,7 m), uit Arcadis (2022).



Figuur 5-3 Voorbeeld van de berekende slibconcentratieverhoging in de tijd op locatie Kornwerderzand door het uitvoeren van WID (Water Injection Dredge) baggerwerkzaamheden voor de aanleg van de werkgeul langs de Afsluitdijk, aangepast op basis van Van Dijk & van der Baan (2021).



Figuur 5-4 Patroon in de berekende sedimentatie na 10 dagen continue loslaten van sediment vanaf de locatie die is aangegeven met de stip, uit Vroom et al. (2017).



5.5

Beoordeling van de effecten op de ecologie

Voorafgaand aan de beantwoording van de vragen over de beoordeling van de effecten op de ecologie wordt stilgestaan bij de ecologische effectketens, zoals die in §5.2 zijn opgenomen. Tabel 5-4 geeft de effectketens met een zeer beknopte weergave van de beschikbare kennis en of er eventueel sprake is van een kennisleemte. In aanvulling op de effectketens in Tabel 5-1 is door Witteveen + Bos (2023) aangegeven dat er ook een kennisleemte bestaat over de invloed van het baggeren en verspreiden op de morfologie en de waterbeweging in de Waddenzee. Dit punt sluit aan bij de kennisvragen die in het voorgaande hoofdstuk zijn opgenomen. Dit punt is toegevoegd aan Tabel 5-4.

Tabel 5-4 Overzicht van de kennis over de beoordeling van de ecologische effecten van werkzaamheden (Tabel 5-4).

	Effect door	Beschikbare kennis	Kennisleemte
1a	Aanwezigheid schip (schaduw, beweging)	Baggerlocaties zijn per definitie ook plekken waar andere scheepvaart plaatsvindt. Dat geldt vrijwel altijd ook voor de transportroutes en verspreidingslocaties. Vanwege de aanwezigheid van andere scheepvaart wordt gesteld dat geen extra verstoring door de baggeractiviteit optreedt	Aangemerkt als kennisleemte vanwege mogelijke verstoring van scheepvaart op ruiende, rustende en foeragerende watervogels (Witteveen + Bos, 2023a)
1b	Geluid onderwater	Voortplanting van geluid onder water wordt in het ondiepe water van de Waddenzee beperkt door de waterdiepte en door de variatie in de waterdiepte.	Aangemerkt als kennisleemte vanwege gevolgen voor zeezoogdieren en vissen (Witteveen + Bos, 2023a)
1c	Geluid bovenwater	Zie 1a	Zie 1a
1d	Licht	Zie 1a	Zie 1a
2	Beroering waterkolom	De extra beweging van de waterkolom door de baggeractiviteiten zal veel kleinere waterbewegingen tot gevolg hebben dan de getijdebewegingen en waterbewegingen ten gevolge van golven (Jonker & Koolstra, 2011)	Geen kennisleemte
3	Verwijdering bodem-materiaal	De aanname in de beoordelingen is dat ter plaatse van de baggerlocatie al het bodemleven afsterft, voor zover er al sprake is van bodemleven.	Aangemerkt als kennisleemte in Witteveen + Bos (2023), omdat de aanname mogelijk te negatief is. Bij sommige technieken, zoals waterinjectie-baggeren, overleeft mogelijk een deel van het bodemleven.
4a	Sediment in de waterkolom	Voor de verschillende baggeren verspreidingstechnieken is voldoende kennis beschikbaar voor het uitvoeren van beoordelingen, op basis van veldmetingen, laboratoriumstudies en numerieke modelsimulaties. Veldmetingen uit de Waddenzee en Eems-Dollard zijn schaars.	Kennisleemte wat betreft validatie modeluitkomsten met veldmetingen

4b	Vertroebeling	De far-field effecten van baggeren en verspreiden door het vrijkomen van slib in de waterkolom worden met numerieke modelsimulaties bepaald. Dit heeft niet voor alle locaties in de Waddenzee plaatsgevonden. Ook ontbreekt kennis van de achtergrondconcentraties van het slib in de waterkolom, die nodig zijn om de effecten te beoordelen.	De far-field effecten door vertroebeling in de Waddenzee zijn in Witteveen + Bos (2023) aangemerkt als kennisleemte.
5	Bedekking	De aanname in de beoordelingen is dat ter plaatse van de verspreidingslocatie al het bodemleven afsterft, voor zover er al sprake is van bodemleven. Op sommige locatie, met een lange herhaaltijd tussen het verspreiden kan mogelijk vestiging van bodemleven plaatsvinden.	Kennisleemte in kwetsbaarheid en hersteltijd.
6	Sedimentatie	De far-field effecten van baggeren en verspreiden door sedimentatie van zand en slib worden met numerieke modelsimulaties bepaald. Dit heeft niet voor alle locaties in de Waddenzee plaatsgevonden.	In samenhang met vertroebeling (punt 4b) zijn de far-field effecten door sedimentatie en veranderingen in sedimentsamenstelling in de Waddenzee zijn in Witteveen + Bos (2023) aangemerkt als kennisleemte.
7a	Verrijking nutriënten en organische stof	Bij het baggeren en verspreiden komen beperkte hoeveelheden nutriënten vrij en eventuele verhogingen worden snel verdund (Jonker & Koolstra, 2011).	Geen kennisleemte
7b	Verlaging zuurstofconcentratie	De toename van de zuurstofvraag door het vrijkomen van het bodemmateriaal is beperkt en er vindt door de getijdestroming veel menging plaats met zuurstofrijk water (Jonker & Koolstra, 2011).	Geen kennisleemte
7c	Verontreiniging toxische stoffen	Omdat bemonstering, analyse en toetsing plaatsvindt, treden geen effecten op door verontreinigingen.	Geen kennisleemte
8	Uitstoot NOx	Voor het beoordelen van de gevolgen van de uitstoot en depositie van NOx is een eigenstandig model (Aerius) en beoordelingskader beschikbaar.	Geen kennisleemte
	Fysieke aanpassingen aan het geulenstelsel en veranderingen in waterbeweging	Lokale kennis is beschikbaar voor knelpunten Boontjes (Colina Alonso, 2021; Smit 2022b) en de Vaarweg Ameland op het gebied van de waterbeweging en morfologie. De doorvertaling naar de ecologische gevolgen heeft niet of beperkt plaatsgevonden.	Door Witteveen + Bos (2023) aangemerkt als kennisleemte.

Vanwege de beschermde status van de Waddenzee, die is aangewezen als een Natura 2000-gebied, moet worden vastgesteld of de bagger- en verspreidingswerkzaamheden niet leiden tot significant negatieve effecten op de instandhoudingsdoelstellingen. Dit wordt vastgesteld in Passende beoordelingen, die voor projecten (aanlegbaggerwerk) en activiteiten (onderhoudsbaggerwerk) worden opgesteld. Hierin wordt ook vastgesteld in hoeverre cumulatie van effecten optreedt met andere projecten of activiteiten en, indien dit het geval is, of vanwege de cumulatie sprake is van significante negatieve effecten op de instandhoudingsdoelstellingen. Indien met zekerheid wordt vastgesteld dat significant negatieve effecten, met inbegrip van cumulatieve effecten, kunnen worden uitgesloten, dan wordt door het bevoegde gezag een vergunning verleend vanwege de Wet natuurbescherming. Voor het onderhoudsbaggerwerk van de vaargeulen en een aantal kleinere havens aan de Waddenzee is de toestemming geregeld via het Beheerplan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016).

- › **5.1-6** *Heeft het totaal van huidige baggeractiviteiten in de Waddenzee en de Eems significante effecten op bijv. habitattypen H1110 (permanent overstroomde zandbanken) en H1130 (estuaria)?*

Alle bagger- en verspreidingsactiviteiten die zijn of worden uitgevoerd in het wadden-gebied hebben een Wnb vergunning, of zijn toegestaan onder het Beheerplan. In principe betekent dit dat geen sprake is van significant negatieve effecten op de instandhoudingsdoelstellingen in de Waddenzee, waaronder de habitattypen H1110 permanent overstroomde zandbanken en H1130 estuaria. Het begrip “significant” heeft hierbij een strikt juridische betekenis, zoals bedoeld in de Wet natuurbescherming (nu onderdeel van de Omgevingswet). Voor het Eems-estuarium (H1130 estuaria) vastgesteld dat niet kan worden uitgesloten dat door de cumulatie sprake is van significant negatieve effecten (Dankers et al., 2022). Hierbij past de opmerkingen dat in de Eems-sprake is van verschillende grootschalige ingrepen waardoor de waterbeweging en de slibhuishouding in het estuarium wezenlijk zijn veranderd. De slibconcentraties zijn hierdoor toegenomen in de Eems, met name in het stroomopwaartse deel van het estuarium. Daarbij is in het verleden veel sediment aan het estuarium onttrokken en vond sedimentatie plaats in kwelders en andere buitendijkse gebieden, waardoor destijds de slibconcentraties in het estuarium werden verlaagd.

Dat significante gevolgen zijn uitgesloten voor het baggeren en verspreiden in de Waddenzee betekent overigens niet dat er bij baggeren geen ecologische effecten optreden. De ecologische effecten zijn in dit hoofdstuk beschreven (zie Tabel 5-1). De beoordeling van de ecologische effecten vindt plaats op de instandhoudingsdoelstellingen zoals die zijn vastgelegd voor het Natura 2000-gebied Waddenzee en andere Natura 2000-gebieden tot waar gevolgen zich uitstrekken. En daarbij worden ook de cumulatieve effecten beoordeeld. Bij het beschouwen van die cumulatieve effecten wordt rekening gehouden met activiteiten, projecten en plannen die worden uitgevoerd of die met zekerheid uitgevoerd zullen gaan worden. Beschouwingen van de gevolgen zoals die optreden samen met andere drukfactoren, zoals klimaatverandering en zeespiegelstijging vinden over het algemeen niet plaats (uitzondering zijn de beschouwingen van de gevolgen van zeespiegelstijging in combinatie met bodemdaling door de winning van diepe delfstoffen, zie bijvoorbeeld Ministerie van Economische Zaken, 2006). Het optreden van gecombineerde gevolgen van verschillende drukfactoren en de beoordeling daarvan is een kennisleemte (Witteveen + Bos, 2023a).

- › **5.1-27** *Hoe wordt er omgegaan met de huidige kaders van de natuurbeschermingswet vergunning c.q. de regels voor baggeren in het Beheerplan N2000 Waddenzee in relatie tot het baggerbezwaar?*

Een van de voorwaarden in het Beheerplan N2000 Waddenzee is het uitvoeren van een evaluatie om de drie jaar (voorwaarde 12, zie bijlage B). Deze evaluatie heeft geresulteerd in het rapport “3-jaarlijkse tussenevaluatie verspreidingslocaties Waddenzee 2017-2019 (inclusief 2020 en 2021)” (Witteveen + Bos, 2022a). In aanvulling hierop heeft ook een analyse plaatsgevonden van de ecologische aspecten die onderzocht moeten worden om in de volgende beheerplanperiode tot een effectief en uitvoerbaar voorwaardenkader te komen, om op die manier significant negatieve effecten van de verspreiding van baggerspecie op de instandhoudingsdoelen en beschermde soorten te voorkomen (Witteveen + Bos, 2023a). De benodigde onderzoeken omvatten de invloed van vertroebeling op de zeegras(herstel), de gevolgen voor bodemdieren via verschillende effectketens (opwoelen bodemmateriaal, slibconcentratie en de gevolgen voor voedselopname en slibconcentratie en de gevolgen voor vestiging jonge bodemdieren), en de laatste twee aspecten ook voor schelpdierbanken, vissen in relatie tot vertroebeling en onderwatergeluid, verstoring en ruiende, rustende en foeragerende watervogels en geluidsverstoring en zeezoogdieren. De aanbeveling hebben vooral betrekking op het uitvoeren van onderzoek naar wat ‘de basis’ wordt genoemd: de reikwijdte en omvang van abiotische effecten.

- › **6.2-3** *Hoe kan Rijkswaterstaat flexibeler en sneller handelen m.b.t. het verleggen van de route Holwerd-Ameland? (Toelichting: Discussie hierover neemt nu maanden in beslag, in de tussentijd blijft de impact. Nu moet er van alles aangetoond worden d.m.v. een voortoets, e.d.).*

Deze kennisvraag is hier opgenomen, omdat de toelichting door het gebruik van het woord ‘voortoets’ er op wijst dat wordt verondersteld dat de ecologische beoordeling van het verleggen van de route beperkend is voor de flexibiliteit en snelheid van handelen. Voor kleine aanpassingen aan de vaarroute, waarmee ook de te baggeren knelpunten verschuiven, bieden de beleidsmatige en vergunningenkaders voldoende helderheid, zodat deze direct kunnen worden doorgevoerd. Voor grotere aanpassingen, zoals het verleggen van een doorsteek, geldt dit niet. Zelfs wanneer duidelijk is dat het aanpassen van de route niet zal leiden tot een afname van de ecologische effecten, doordat het baggerbezwaar afneemt, zal moeten worden aangetoond dat het geval is. Het betekent dat hiervoor in principe een regulier proces van vergunningaanvraag voor nodig is, die een doorlooptijd kent van tenminste een halfjaar. Alternatieve procedures zijn hiervoor niet beschikbaar.

5.5.1

Veranderingen in beoordelingen

Vanwege veranderende beleidskaders, veranderende interpretaties van bestaande kaders en de doorwerking van juridische uitspraken veranderen de beoordelingskaders voor activiteiten, projecten en plannen regelmatig. Denk hierbij aan het stikstofdossier. Voor de beoordeling van activiteiten op de waterkwaliteit zijn aanpassingen doorgevoerd naar aanleiding van het Wezer-arrest. Hierover zijn twee vragen gesteld:

- › **4.1-5** *Wat voor invloed heeft het moeten voldoen aan de Europese resultaatverplichtingen in 2027 voor de Kaderrichtlijn Water en Natura 2000 op baggerwerkzaamheden (denk aan definitie van waterkwaliteit, effect van lozingen, e.d.)?*

- › **6.1-28** *Op basis van Europese wet- en regelgeving zoals de Kader Richtlijn Water (KRW) en Natura 2000 moeten er op relatief korte termijn door Nederland stappen worden gezet om de waterkwaliteit in de Waddenzee te verbeteren. Welke van de hierboven genoemde oplossingsrichtingen bieden op korte termijn kansen om de negatieve effecten van baggeren te reduceren en bij te dragen aan de verbetering van de waterkwaliteit?*

De factsheet van de Waddenacademie (2022) geeft toegankelijk de knelpunten weer, zoals die optreden in de chemische waterkwaliteit in de Waddenzee. Bij de bronnen van de verontreinigen en bij de voorgestelde maatregelen voor het terugdringen van verontreinigingen in het oppervlaktewater wordt het baggeren en verspreiden niet genoemd. Dat is niet vreemd, want het reguliere baggeren en verspreiden betreft onderhoudsbaggerwerk van sediment dat relatief recent op de bodem is afgezet. Recent afgezet sediment bevat over het algemeen weinig tot geen verontreinigingen, in tegenstelling tot sediment dat is afgezet tot in de jaren '80 van de vorige eeuw. Voordat het sediment wordt gebaggerd, wordt de waterbodem bemonsterd en vindt een analyse plaats, conform het Besluit Bodemkwaliteit. Zo wordt voorkomen dat bodemmateriaal met verontreinigingen kan leiden tot afname van de chemische waterkwaliteit. Het betekent dat met het moeten voldoen aan de Europese resultaatsverplichting voor wat betreft chemische kwaliteit volgens de KRW, dit waarschijnlijk geen invloed heeft op de baggerwerkzaamheden.

In de evaluatie van het beheerplan Natura 2000-gebied Waddenzee (Heidinga, 2023) is geconstateerd dat bodemberoerende activiteiten het herstel van de kwaliteit van H1110A in de weg staan. En naast aanbevelingen over bodemberoerende mosselzaadvisserij en de intensiteit van de garnalenvisserij, wordt opgemerkt dat optimalisatie en verminderen van baggeren ook aan de orde is, door met name in de Boontjes en de vaargeul Ameland het baggeren te reduceren.

Voor de ecologische component van de waterkwaliteit zijn voor de Eems-Dollard in het Eems-Dollard 2050-programma afspraken gemaakt om de slibconcentratie in het water te reduceren door het uitvoeren van een maatregelenpakket (ED2050, 2021; 2022). In dat licht worden ook de conclusies van Dankers et al., (2022) beschouwd, die cumulatieve effecten van baggeren en verspreiden op de estuariene natuur niet kunnen uitsluiten. Baggeren en verspreiden is een van de factoren die bijdraagt aan de hoge slibconcentraties in het estuarium, naast structurele veranderingen in de morfologie van het estuarium (Dankers et al., 2022). De structurele veranderingen in de morfologie hebben ingrijpende gevolgen gehad voor waterbeweging en de slibdynamiek. In het ED2050 programma zijn verschillende maatregelen opgenomen die zijn gericht op de toepassing van slib, bijvoorbeeld voor het ophogen van landbouwgronden en het versterken van de Dollarddijk. Grootschalige toepassing van slib betekent een reductie van het verspreiden van baggerspecie in het estuarium. Daarmee bieden deze projecten zicht op de verbetering van de ecologische waterkwaliteit van het estuarium. Voor de rest van de Waddenzee (buiten de Waddenzee) is geen aanleiding om te veronderstellen dat baggeren en verspreiden negatieve gevolgen heeft voor de ecologische waterkwaliteit door verhoogde achtergrondconcentratie (Herman et al., 2018 & 2020).

Het onttrekken van slib aan de Waddenzee en de gevolgen daarvan voor de korte en lange termijn zijn actuele vraagstukken. Daarom heeft Rijkswaterstaat Deltares in 2022 gevraagd om een analyse uit te voeren naar de gevolgen van het onttrekken van slib (Smits et al., 2022b). Op dit moment wordt op kleinschalige wijze baggerspecie aan land gebracht bij Lauwersoog. En bij de Eems-Dollard zijn in het kader van het programma Eems-Dollard 2050 (ED2050, 2021; 2022) verschillende proeven uitgevoerd voor het onttrekken aan en het gebruik van slib uit het Eems-estuarium. Het onttrekken van slib is op dit moment geen onderdeel van het regulier beheer van havens en vaargeulen.

6

ONTTREKKEN VAN SLIB AAN DE WADDENZEE

6.1

Inleiding

Het onttrekken van slib aan de Waddenzee, zoals dat in het voorliggende rapport wordt beschouwd heeft betrekking op het onttrekken van baggerspecie. Onttrekking door permanente sedimentatie in een slibvang, bijvoorbeeld in een binnendijks gebied dat in verbinding staat met de Waddenzee wordt hier niet beschouwd.

Het is zinvol om in ogenschouw te nemen wat de verschillende doelstellingen zijn van het onttrekken van slib en hoe deze doelstellingen verschillen voor de kombergingsgebieden in de Waddenzee en het Eems-estuarium. De doelstellingen zijn:

1. Het verlagen van de achtergrondconcentratie van slib in de waterkolom, waarmee de ecologische kwaliteit wordt verbeterd (of minder slecht wordt);
2. Het beperken van de gevolgen van het verspreiden van baggerspecie;
3. Het benutten van slib voor andere doelstellingen, zoals het ophogen van landbouwgrond, een dijkversterking en het verbeteren van landbouwgrond;
4. Het reduceren van het baggerbezwaar in de havens en vaargeulen (als gevolg van punt 1).

Voor de Eems-Dollard is de eerste doelstelling de reden om in te zetten op een structurele onttrekking van 1 miljoen ton slib per jaar, met na 5-10 jaar een evaluatie van de omvang van de onttrekking, zoals geformuleerd in het Eems-Dollard 2050 programma (Programma Eems-Dollard 2050, 2021). De derde doelstelling is daarbij belangrijk, omdat het onttrekken van het slib alleen kan worden gerealiseerd wanneer er toepassing worden gevonden voor het onttrokken slib. Voor de kombergingsgebieden in de Waddenzee is er geen aanleiding om te veronderstellen dat de ecologische kwaliteit onder druk staat door verhoogde achtergrondconcentraties (Herman et al., 2018 & 2020). Daarmee is de eerste doelstelling niet van toepassing op deze kombergingsgebieden. Hier spelen de doelstellingen 2, 3 en 4.

In de Eems-Dollard zijn pilots (ED2050, 2022) uitgevoerd met het onttrekken van slib voor het toepassen in een dijkversterking (Pilot Kleirijperij (zie <https://eemsdollard2050.nl/project/pilot-kleirijperij/> en Ecoshape, 2023) en de Brede Groene Dijk (<https://eemsdollard2050.nl/project/brede-groene-dijk/>) en het ophogen van landbouwgrond (POL: Pilot Ophogen Landbouwgronden: <https://eemsdollard2050.nl/project/ophogen-landbouwgrond-programma-eems-dollard-2050/>). Ook wordt gekeken naar andere toepassingen slib, bijvoorbeeld in blokken voor de bouw (<https://eemsdollard2050.nl/project/pilot-persen-bouwelementen/>) en in keramiek. In de haven van Lauwersoog is de Slib-hub Lauwersoog (<https://qop.nl/slibhub/>) ingericht als een pilot voor het rijpen van havenslib voor toepassing in dijkversterking en voor het verbeteren van de kwaliteit van landbouwgronden. In het verleden is de baggerspecie uit de jachthaven van Schiermonnikoog gebruikt voor het uitbreiden van de kwelder ten oosten van de haven.

Het toepassen van baggerspecie voor nuttige toepassingen heeft een brede internationale aandacht (“beneficial use of dredged sediments”), vanwege de wens om te komen tot nature-based solutions (zie bijvoorbeeld STOWA, 2014; CEDA, 2019). In dit kader zijn experimenten uitgevoerd met het verder wegbrengen van baggerspecie voor het stimuleren van kwelder aangroei (de Slibmotor Harlingen: Baptist et al., 2019b) en zijn kwelders aangelegd bij Delfzijl (het Marconi-project: Baptist et al., 2021).

6.2

Reductie van de sedimentatie

In de voorgaande paragraaf is uitgelegd dat het reduceren van het baggerbezwaar door het onttrekken van slib aan de Waddenzee een van de doelen is. Dit levert de onderstaande vragen op:

- › **6.1-18** *Zal het structureel onttrekken van slib uit de havens daadwerkelijk bijdragen aan het verminderen van de baggerinspanningen in de havens? Of zal door de ongewijzigde werking van de transportprocessen in combinatie met het aanbod van slib de depositie gewoon doorgaan?*

De bijdrage van het structureel onttrekken van slib uit havens aan de reductie van het baggerbezwaar is indirect. Het is niet zo dat als het slib uit de Waddenzee is gehaald, er geen slib meer beschikbaar is voor sedimentatie in de haven, zodat niet meer hoeft te worden gebaggerd. Het indirecte effect van het onttrekken op het baggeren loopt via het slibgehalte in het water van de Waddenzee en het Eems-estuarium. Het structureel onttrekken van slib uit de havens leidt tot een reductie van het slibgehalte van de aangrenzende Waddenzee of het Eems-estuarium, gesteld dat de omvang van de onttrekkingen voldoende groot is. Als gevolg van de verlaagde concentratie van het slib zal de sedimentatiesnelheid van slib afnemen en dat betekent dat er minder gebaggerd hoeft te worden.

In de Waddenzee en de Eems-Dollard is een veel grotere voorraad slib aanwezig dan de hoeveelheid die in de havens sedimenteert en wordt opgebaggerd (Oost et al, 2020). Het onttrekken van slib heeft geen gevolgen voor de transportprocessen die leiden tot de aanvoer van het slib naar de havens en de afzetting van slib op de havenbodems. Vanuit de voorraad slib in de Waddenzee en de Eems-Dollard blijft aanvoer naar de havens plaatsvinden, waarna sedimentatie plaatsvindt, zodat opnieuw gebaggerd moet worden.

De omvang van de structurele onttrekkingen is bepalend voor de afname van de slibconcentratie en daarmee voor de eventuele afname van het baggeren. Indien de omvang van de structurele onttrekkingen voldoende groot is, dan kan een merkbare afname van de slibconcentratie worden verwacht. Dit is berekend voor de Eems-Dollard (van Maren et al., 2017), omdat het doel van de structurele slibonttrekkingen is gericht op het verlagen van de slibconcentratie. Bij het structureel onttrekken van relatief kleine volumes slib, ten opzichte van de autonoom optredende slibfluxen, zal geen sprake zijn van een merkbare reductie van de sedimentatie in de havens en dus ook niet van het baggerbezwaar. In Smits et al. (2022) is gerekend aan de concentratieverlagingen die optreden door verschillende vormen en omvang van onttrekkingen.

6.3

Gevolgen van het onttrekken van slib voor de ecologie en de morfologie

- › **6.3-19** *Slib is belangrijk voor de ecologie van de Waddenzee, b.v. in de vorm van substraat voor organismen en door de aanvoer van nutriënten. Wat betekent in dit verband slibonttrekking voor de Waddenzee (op niveau van kombergingsgebied, NL Waddenzee en Trilateraal)?*

De invloed van het onttrekken van slib op de abiotische condities voor de ecologie is mede-afhankelijk van de cumulatieve omvang daarvan. Indien gedurende langere tijd (tientallen jaren) een grote hoeveelheid slib wordt onttrokken, dan wordt een merkbare slibflux uit het systeem geïntroduceerd die gevolgen heeft voor de slibconcentraties in het water en bodem. Een structurele onttrekking van slib heeft dan zowel gevolgen op de schaal van het kombergingsgebied, als 'stroomafwaarts' en in minder mate 'stroomopwaarts'. De invloeden op de ecologie lopen dan via alle effectketens waarin slib een rol speelt, zoals de slibconcentratie in het water (troebelheid), de slibconcentratie in de bodem (substraat) en de beschikbaarheid van nutriënten. Een afname van de beschikbaarheid van slib kan ook gevolgen hebben voor de opslibbingssnelheid op de kwelders en de daarmee samenhangende ecologische ontwikkelingen. Merk hierbij op dat de waardering van de ecologische gevolgen van slibonttrekkingen zowel positief (in totaal minder negatieve ecologische gevolgen) als negatief (in totaal meer negatieve ecologische gevolgen) kunnen uitpakken.

- › **6.1-20** *Slib speelt ook een rol bij de morfologische dynamiek van het systeem en de aanpassing van het gebied onder invloed van zeespiegelstijging. Wat zijn de gevolgen van slibonttrekking voor de morfologie van het systeem (idem verschillende ruimte- en tijdschalen)?*

Het structureel onttrekken van slib betekent dat er gedurende de periode dat de onttrekking plaatsvindt, minder slib beschikbaar is voor de sedimentatie op de wadplaten en kwelders in de Waddenzee. Op basis van actuele sedimentbalansen (Elias, 2019; Colina Alonso, 2020) en metingen aan de sedimentatiesnelheid op kwelders (Cleveringa, 2018) is vastgesteld dat meer sedimentatie plaatsvindt dan nodig is voor het bijhouden van de huidige snelheid van zeespiegelstijging. De sedimentatie langs de vastelandskust van met name Friesland (van ten zuiden van Harlingen tot Holwerd) zorgt voor een toename van de hoogte van wadplaten en afname van de getijdegeulen. In de westelijke Waddenzee is de omvang van de sedimentatie in periode 1991-2015 kleiner dan in de periode 1933-1991. De grote omvang van de sedimentatie na 1933 hangt samen met de grootschalige veranderingen die zijn opgetreden na de aanleg van de Afsluitdijk (Elias, 2019). De afname van de sedimentatie na 1991 bestaat voornamelijk uit een afname van de sedimentatie van zand, waardoor de relatieve bijdrage van slib aan de sedimentatie is toegenomen (Colina Alonso, 2020).

Een fictief rekenvoorbeeld helpt om te verduidelijken wat de impact kan zijn van het onttrekken van slib voor de beschikbaarheid in de Waddenzee. Stel dat aan de haven van Harlingen $300.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$ aan slib wordt onttrokken, dan betreft dat $0,3 \text{ Mm}^3 / 2,7 \text{ Mm}^3 = 11\%$ van de jaarlijkse netto sedimentatie op dit moment. De $2,7 \text{ Mm}^3$ is de sedimentatie in Marsdiep en Vlie uit Elias (2019; zie Figuur 3-14). De bijdrage van slib aan de jaarlijkse sedimentatie in de Westelijke Waddenzee is tegenwoordig rond de 30% (Colina Alonso, 2020). Uitgaande van de netto sedimentatie van $2,7 \text{ Mm}^3$ zou dan jaarlijks $0,8 \text{ Mm}^3$ slib worden afgezet in de Westelijke Waddenzee. Colina Alonso (2020) geeft aan dat in periode 1933 – 2015 een totaal volume van $3,5 \times 10^8 \text{ m}^3$ aan sediment is afgezet waarvan $1,1 \times 10^8 \text{ m}^3$ bestaat uit slib. Dat betekent dat per jaar gemiddeld $1,3 \text{ Mm}^3$ slib is afgezet (uitgaande van een gelijke verdeling van de slibsedimentatie over de hele periode). Het uit het systeem halen van $0,3 \text{ Mm}^3$ slib is dan 22-38% van de jaarlijkse

netto sedimentatie in de Westelijke Waddenzee. Daarmee is deze op het oog relatief kleinschalige onttrekking relatief omvangrijk.

Bij een versnelde stijging van de zeespiegelstijging verandert de balans tussen de ruimte voor de sedimentatie in het waddengebied (de accommodatieruimte) en het aanbod van sediment (zand en slib). Bij het structureel onttrekken van slib verandert de aanbodzijde van deze balans. Dat betekent dat het moment dat de toename van accommodatieruimte groter wordt dan het aanbod, eerder zal optreden als structureel slib onttrokken wordt.

Het denkmodel (Janssen et al., 2017) gaat er van uit dat een afname van het aanbod van slib niet leidt tot een toenemende vraag van zand, omdat de fysische (en biologische) processen bij het transport en de sedimentatie van slib en zand verschillen. Indien deze aanname niet juist is, en een afname van het aanbod slib een verschuiving oplevert naar de sedimentatie van zand, dan is de impact van het structureel onttrekken van slib op de balans tussen accommodatieruimte en aanbod anders.

In termen van de impact op de verschillende tijdschalen geldt dat op de korte tijdschaal, waarbij de snelheid van zeespiegelstijging beperkt verandert, de gevolgen van het structureel onttrekken van slib beperkt blijven tot een afnemende sedimentatiesnelheid op de slibrijke wadplaten en kwelders. Op middellange en lange termijn kan het structureel onttrekken van slib betekenen dat de sedimentatiesnelheid eerder lager wordt dan de snelheid van zeespiegelstijging. Dat laatste betekent dat de hoogte van de wadplaten en kwelders zal afnemen ten opzichte van de waterstanden.

Wat betreft de ruimteschaal geldt dat sprake is van een belangrijk verschil tussen zand en slib. De impact van veranderingen in de balans tussen accommodatieruimte en aanbod van zand wordt beschouwd op de ruimtelijke schaal van kombergingsgebieden, omdat de uitwisseling van zand over de grenzen van de kombergingsgebieden en langs de kust relatief klein is. Voor het slib geldt dat niet, omdat daarbij sprake is van een doorgaande flux door en langs de Waddenzee. Structurele onttrekkingen van slib hebben daarom gevolgen buiten het kombergingsgebied waar de onttrekkingen plaatsvinden.

6.4

Maximering van onttrekkingen van slib

- › **6.1-21** *Hoe kan worden bepaald of we slib structureel kunnen onttrekken aan het systeem en welke hoeveelheden hierbij (maximaal) mogelijk zijn? Zijn er wat dat betreft beperkingen in relatie tot factoren als ruimte en tijd: kan het overal en gedurende een langere periode? Wat zijn daarbij relevante criteria?*
- › **6.1-25** *Welke criteria kunnen gebruikt worden en hoe dienen deze vervolgens gewogen worden als er beperkingen zijn aan de hoeveelheden slib die aan het systeem kunnen worden onttrokken? Denk hierbij b.v. aan:*
 - *Urgentie van probleem dat (lokaal) moet worden opgelost*
 - *Wijze van hergebruik in kader van duurzaamheid*
 - *Mogelijke winst voor natuur*
 - *Economische kosten-baten analyse*

Slib is niet in ongelimiteerde hoeveelheden beschikbaar in de Waddenzee (Oost et al, 2020) en het is daarom logisch om uit te gaan van maxima voor onttrekkingen. Een eenduidig criterium, of criteria voor het toestaan van het structureel onttrekken van (specifieke, of gemaximeerde hoeveelheden) slib zijn op dit moment niet beschikbaar.

Criteria voor het beoordelen van de eventuele beperkingen aan het onttrekken, of aan de hoeveelheid te onttrekken sediment kunnen worden ontleend aan de baten en lasten van het structureel onttrekken. Baten betreffen de reductie van de ecologische effecten, doordat het onttrekken slib niet wordt verspreid en de structurele verlaging van slibconcentraties. Dit zijn baten in de Waddenzee. Baten buiten de Waddenzee betreffen de toepassing van het slib, bijvoorbeeld omdat dan minder of geen klei van ver hoeft te worden aangevoerd (Koenders, 2023). De lasten in de Waddenzee betreffen onder andere de reductie van de sedimentatiesnelheid, wat ongunstig is met oog op (versnelde) zeespiegelstijging. Buiten de Waddenzee zijn onder andere de hogere kosten ten opzichte van reguliere vormen van verspreiden onderdeel van de lasten. Op het criterium dat het structureel onttrekken van slib koppelt aan de snelheid van zeespiegelstijging wordt hieronder ingegaan.

- › **6.1-23** *Er zijn andere economische activiteiten in het Waddengebied zoals gas- en zoutwinning waarbij het “hand aan de kraan” principe wordt toegepast en gebruik wordt gemaakt van het zogenaamde “meegroeivermogen” van het kombergingsgebied. Wat betekent de structurele onttrekking van sediment/slib voor dit meegroeivermogen?*

Bij de MER-procedure voor de gaswinning Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen (MLV) is het begrip meegroeivermogen geïntroduceerd. Het begrip meegroeivermogen van een getijdenbekken of kombergingsgebied is gedefinieerd als “het natuurlijke vermogen van dat gebied, uitgedrukt in mm/jaar over het hele gebied, om de relatieve zeespiegelstijging op lange termijn bij te houden terwijl het geomorfologische evenwicht en de sedimentbalans in stand blijven” (Ministerie van Economische Zaken, 2006, zie ook Wang & van der Spek, 2021). Het begrip is gebaseerd op het denkmodel van het sedimentdelende systeem en onderbouwd met verschillende berekeningen. De populaire uitleg is dat totdat de snelheid van zeespiegelstijging het meegroeivermogen bereikt, het kombergingsgebied kan meegroeien met de zeespiegelstijging. Bij een hogere snelheid van zeespiegelstijging dan het meegroeivermogen, kan het areaal en de hoogte van de wadplaten in de kombergingsgebieden gaan afnemen. Het meegroeivermogen van de kombergingsgebieden is afhankelijk van hun omvang: het meegroeivermogen van kleine kombergingsgebieden is groter dan dat van grote kombergingsgebieden. In de vergunningen (onder de Wet natuurbescherming en de Mijnbouwwet) is vastgesteld dat de gaswinning MLV en de zoutwinning onder de Waddenzee (bij Harlingen) moeten worden uitgevoerd volgens het Hand-aan-de-Kraan principe. Dat betekent onder andere dat door de bodemdaling door deze delfstoffenwinning, in combinatie met de zeespiegelstijging, het meegroeivermogen niet mag worden overschreden.

Het denkmodel van het sedimentdelende systeem, dat ten grondslag ligt aan het meegroeivermogen, maakt geen onderscheid tussen de verschillende manieren waarop een kombergingsgebied sedimentvolume kwijtraakt. Het maakt in de redeneringen en berekeningen niet uit of het sedimentverlies het gevolg is van bodemdaling door de delfstoffenwinning, of door het onttrekken van sediment. Onttrekkingen van sediment, ongeacht of dit zand of slib betreft, zorgen ervoor dat de omslag naar een afname van areaal en hoogte van wadplaten in de kombergingsgebieden eerder wordt bereikt. Dat betekent overigens ook dat bij toepassing van het hand-aan-de-kraan-principe voor de winning van diepe delfstoffen, zoals gas en zout, ook de hoeveelheid sediment die structureel aan het systeem wordt onttrokken moet worden meegenomen. Het onttrekkingsvolume kan daarvoor worden omgerekend naar een “equivalente bodemdaling” (in mm/jaar) door het onttrekkingsvolume per jaar te delen door de oppervlakte van het kombergingsgebied. Zeespiegelstijging, bodemdaling door gas- of zoutwinning en de equivalente bodemdaling door onttrekkingen moet dan binnen het meegroeivermogen van het betreffende kombergingsgebied blijven.

Voor alle duidelijkheid wordt hierbij opgemerkt dat het begrip meegroeivermogen en de wijze waarop wordt gekeken naar het bereiken daarvan steeds betrekking heeft op de situatie in een specifiek jaar. Een verlies aan sedimentvolume in bijvoorbeeld het jaar 2030 wordt beschouwd tezamen met de snelheid van zeespiegelstijging in jaar 2030 ten opzichte van het meegroeivermogen. Onttrekkingen die in eerdere jaren hebben plaatsgevonden (bijvoorbeeld in 2025 ten opzichte van 2030) hebben geen gevolgen voor het meegroeivermogen. Oftewel, wanneer nu slib wordt onttrokken aan een kombergingsgebied, waarbij het meegroeivermogen niet wordt overschreden, dan heeft dat geen gevolgen voor het vermogen van het kombergingsgebied om de stijgende zeespiegel te volgen.

Zandwinning

De basis voor de introductie van het denkmodel voor het sedimentdelende systeem en daarmee voor het begrip ‘meegroeivermogen’ is gelegd in het interdisciplinaire onderzoek naar de gevolgen van zandwinning in de Waddenzee, dat eind jaren '70 is uitgevoerd (Werkgroep 1; Stuurgroep hydrografisch-sedimentologisch en biologisch ecologisch onderzoek met betrekking tot de winning van zand in de Waddenzee, 1981). Dit onderzoek is uitgevoerd omdat er destijds vragen werden gesteld over de korte en lange termijn gevolgen van de zandwinning, die destijds zeer omvangrijk was. Die grote omvang was mede het gevolg van de toepassing van het zand in dijkversterkingen naar aanleiding van de Deltawet. Op basis van het onderzoek is vastgesteld dat ongebreidelde zandwinning niet gewenst was, vanwege de lange termijn gevolgen voor de Waddenzee. De maximale zandwinvolumes per kombergingsgebied zijn beperkt (contingentering) en zandwinning is beperkt tot geulen. In de Structuurvisie (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012) is vastgelegd dat zandwinning alleen was toegestaan ten bate van het onderhoud van vaargeulen.

In 2018 is door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat in de Beleidsregels ontgrondingen in Rijkswateren vastgelegd dat de zandwinning in de Waddenzee stapsgewijs zou worden afgebouwd tot 2022. Tegenwoordig is zandwinning in de Waddenzee niet meer toegestaan. De afbouw van de zandwinning is ingegeven door de gevolgen van de zandwinning in de Waddenzee voor de kust van de Waddeneilanden (Rijkswaterstaat, 2005). Deze kustgebieden leveren het zand dat wordt afgezet in de Waddenzee. En dat betekent dat het zand dat wordt onttrokken aan de Waddenzee, ten bate van het beheer van de vaargeulen, weer moet worden aangevuld door het uitvoeren van zandsuppleties bij de Waddeneilanden. Het stopzetten van zandwinning is dus niet ingegeven door de gevolgen voor de Waddenzee, maar door de gevolgen voor de Noordzeekust van de eilanden.

Voor de volledigheid wordt ook vermeld dat in de Waddenzee schelpenwinning plaatsvindt. Het betreft de winning van leeg (dood) schelpmateriaal. Het gaat hierbij dus niet om de winning van (levende) schelpen, zoals kokkels, voor consumptie. De toegestane omvang van de schelpenwinning in de Waddenzee is kleiner dan de natuurlijke aanwas van schelpen (Reingoud et al., 2001; Arcadis, 2019). Binnen de Waddenzee is het toegestaan om ieder jaar 90.000 m³ schelpen te winnen (<https://www.waddenzee.nl/thema/zand-schelpenwinning/schelpenwinning/>).

6.5

Andere aspecten

- › **6.1-24** *Welke partij heeft het primaat als er beperkingen zijn aan de hoeveelheden slib die aan het systeem kunnen worden onttrokken?*

Op basis van de ervaringen met winning van gas en zout onder de Waddenzee kan worden geconcludeerd dat in relatie tot de ecologische gevolgen van onttrekkingen voor de Waddenzee het Ministerie van LNV via de vergunningverlening vanwege de Wnb het bevoegd gezag is. Bij het onderzoek naar en vaststellen van het meegroei-vermogen is het Ministerie van I&W (destijds V&W) betrokken geweest, samen met de Ministeries van EZK (destijds EZ) en LNV. Op basis van de ervaringen met de zandwinning in de Waddenzee kan worden geconcludeerd dat het Ministerie van I&W een doorslaggevende rol speelt. Instrumenten die hierbij een rol kunnen spelen zijn de Ontgrondingenwet en de Waterwet. Een eenduidig antwoord op de vraag wie het primaat heeft, is hiermee niet te geven.

- › **6.1-27** *Moet er op basis van wet- en regelgeving voor de verwerking en vermarkting van havenslib omschreven worden wat de eigenschappen zijn van het slib (klei/lutum fracties, mineralen)?*

Vanuit de wet- en regelgeving worden eisen gesteld aan de kwaliteit van het slib, in termen van verontreinigen. De verschillende toepassingen voor het gerijpte/verwerkte havenslib stellen eigen eisen of wensen aan de grondstromen. Bij de toepassing als dijkklei komen bijvoorbeeld eisen voort uit de erosiebestendigheid. Deze eisen hebben onder ander betrekking op het gehalte organische stof. Andere eisen hebben betrekking op het zoutgehalte.

- › **6.1-26** *Hoe wordt het slib aan het systeem onttrokken (baggeren versus natuurlijke depositie)? Wat zijn voor- en nadelen van de methodieken?*

In Hoofdstuk 6 is alleen ingegaan op het onttrekken van baggerspecie aan de Waddenzee en niet aan de gevolgen van natuurlijke depositie. De reden hiervoor is de koppeling met het hoofdvraagstuk van dit literatuuronderzoek, namelijk de vragen rond ecologisch gericht baggeren. Het onttrekken van baggerspecie leidt in potentie tot een reductie van de ecologische effecten in de Waddenzee ten opzichte van de reguliere methoden, omdat bij het onttrekken de gevolgen van het verspreiden niet optreden. Bij natuurlijke depositie is er geen sprake van een directe relatie met baggeren en verspreiden en de ecologische effecten daarvan. Mogelijk is sprake van een reductie van de sedimentatie, als de slibconcentraties merkbaar afnemen door natuurlijke depositie. Omdat dit een indirect effect is, is dit niet nader beschouwd in de voorliggende studie.

- › *Voor de aanvoer van slib is de Waddenkust sterk afhankelijk van slibaanvoer uit de Zuidelijke Noordzee c.q. de Engelse kustwateren. Daarbij zijn twee belangrijke slibstromen te onderscheiden: één die direct langs de Nederlandse kust stroomt en een tweede stroom van de kust van East Anglia in NO richting over de Noordzee naar Denemarken. Is deze tweede stroom nog van belang voor het Waddengebied in Schleswig-Holstein of voor het Deense Waddengebied?*

Oost et al., (2021) gaan uitgebreid in op de omvang van de “East Anglia Plume”. Het is niet helemaal uitgesloten dat slib dat via de “East Anglia Plume” wordt getransporteerd onder specifieke condities het Waddengebied bereikt. Maar het meeste slib dat via de “East Anglia Plume” de Noordzee oversteekt wordt direct naar de belangrijke “sinks” Skagerrak en “Norwegian Channel” getransporteerd. In de sedimentbalans (figuur 6.14 in het rapport van Oost) is voor deze mogelijke aanvoer van slib een vraagteken genoteerd.

7

REDUCTIE VAN HET BAGGERBEZWAAR EN MITIGATIE VAN DE EFFECTEN

7.1

Inleiding

De twee vragen die centraal staan in dit hoofdstuk zijn: (1) of het mogelijk is om de omvang van het baggeren en verspreiden te verminderen, dan wel (2) of het mogelijk is om de effecten te verminderen. Dit is ingegeven door de wens tot een reductie van de gevolgen van het baggerbezwaar, zoals geformuleerd in onderstaande vraag:

- › **6.1-12** *Hoe kan er door anders te baggeren minder druk op het hele systeem komen? Hoe kan dit zo optimaal mogelijk?*

Het antwoord op deze vraag omvat drie elementen waarop in de volgende paragrafen ingegaan wordt. In de eerste plaats is er de vraag in hoeverre er minder gebaggerd kan worden (kleinere hoeveelheden, minder vaak). In de tweede plaats is er de vraag in hoeverre de gevolgen van het baggeren en het verspreiden beperkt kunnen worden. Dit gaat om het beperken of mitigeren van de gevolgen. Een van de mogelijke mitigerende maatregelen is al besproken in het voorgaande hoofdstuk, namelijk het structureel onttrekken van slib dat in de Waddenzee wordt gebaggerd.

Een van de mogelijkheden om het baggerbezwaar te beperken, is het aanpassen van de dimensies van vaargeulen en havens. Een dergelijke aanpak brengt beperkingen mee voor het gebruik van de vaargeulen en dat levert de volgende vragen op:

- › **6.1-2** *In hoeverre is het mogelijk om met kleinere schepen te gaan varen zodat een beter gebruik kan worden gemaakt van de natuurlijke dimensies van geulen en de baggerinspanning kan worden verminderd?*
- › **4.1-4** *Voor de veerbootconcessies wordt uitgegaan van een bepaalde diepte en breedte van vaargeulen op basis van een bepaald type schip. Schepen zelf zijn mogelijk ook van invloed op de aanslibbing van geulen door hun aanzuigende werking. In hoeverre kunnen bagger- en verspreidingshoeveelheden worden gereduceerd door met een ander type schepen te varen (b.v. qua afmetingen, diepgang en voortstuwing)?*

De tweede vraag bevat de vraag of de voorstuwing van invloed is op de sedimentatie in de vaargeul. Bij de vaargeul Holwerd-Ameland is gesuggereerd dat de overgang naar andere veerboten, met een ander type aandrijving heeft geleid tot een toename van de sedimentatie (Alkyon, 2008). Beschouwing van de verschillen in aandrijving hebben niet geleid tot een eensluidend antwoord op deze vraag.

Het andere deel van de vragen heeft betrekking op het gebruik van de vaargeul en de mogelijkheden om met kleinere schepen te voorzien in de maatschappelijke behoeften op de Waddeneilanden. Deze vraag is beschouwd voor de vaarweg Holwerd-Ameland en blijkt zeer complex (Gemeente Ameland, Gemeente Noardeast-Fryslân, Provincie Fryslân & Rijkswaterstaat, 2019). Hierbij past de opmerking dat de veerboten die de verbinding met Ameland en Schiermonnikoog onderhouden al relatief ondiep steken in verhouding tot hun laadvermogen. Minder diep stekende schepen kunnen veel minder lading meenemen en dat kan bijvoorbeeld beperkingen opleveren voor het meenemen van auto's door eilandgasten. Hieruit komen allerhande vervolgvragen over de aanpassingen die dan

nodig zijn om het toerisme te faciliteren. Een kleinere omvang van de vaargeul (minder diep en minder breed) zal naar verwachting leiden tot minder baggerbezwaar, maar heeft wel een grote maatschappelijke impact. Omgekeerd is de bereikbaarheid van de haven van Harlingen vanuit de Noordzee voor grotere zeeschepen, met alle daaraan gekoppelde economische en maatschappelijke consequenties, aanleiding geweest voor het verdiepen van de drempels in de vaarweg in de Waddenzee (Mulder et al., 2005).

7.2

Reductie van de sedimentatie

Uitgaande van het handhaven van de huidige dieptes, zijn er op hoofdlijnen de volgende mogelijkheden om de sedimentatie bij de baggerlocaties te reduceren voor havens:

- a. Aanpassingen aan het havenbekken (omvang) en de haveningang (geometrie);
- b. Verplaatsen van spuilocaties van binnen de haven naar buiten het havenbekken;
- c. Gebruik van de verspreidingslocatie(s) op grotere afstand van de haven.

Voor het reduceren van de sedimentatie in vaargeulen zijn de opties:

- a. Toevoegen kombergingsvolume;
- b. Plaatsen van de verspreidingslocatie(s) op grotere afstand van de baggerlocaties (alleen bij baggervakken met slibrijke baggerspecie);
- c. Reduceren van de omvang (breedte, diepte, lengte) van de vaargeul.

Hieronder wordt nader ingegaan op deze opties aan de hand van de vragen die hierover zijn gesteld.

- › **6.1-1** *Het ontwerp en de inrichting van havens kan een factor van betekenis zijn bij de import en depositie van slib in havens. Dit leidt tot een aantal deelvragen:*
 - *In hoeverre speelt dit in het Waddengebied?*

De huidige vorm van havenbekkens en de havenmondingen is meestal het resultaat van een stapsgewijze ontwikkeling, die in verschillende gevallen (Den Helder, Harlingen, West-Terschelling) al honderden jaren geleden is begonnen. Bij het ontwerpen is met verschillende factoren rekening gehouden, waaronder de bestaande inrichting, de kadelengete en de benutting daarvan, de nautische veiligheid en de veiligheid tegen overstromingen. De sedimentatie kan ook bij het ontwerp worden betrokken, maar is dus zeker niet de enige factor. Eysink (2003) heeft voor de havens rond de Westelijke Waddenzee de sedimentatie berekend en in deze berekeningen zijn factoren opgenomen die kenmerkend zijn voor elk van deze havens. Dit betreft voor het model de invloed van zoet-zout uitwisseling via de haven en vorm en omvang van de havenmonding, mede vanwege de aan-of afwezigheid van een stroomwervel (neer) in de havenmonding.

- *Wat is hierbij de rol van de lay-out van de havenmonding en de mate van expositie van de haven?*

De omvang en de vorm van de havenmonding zijn factoren die medebepalend zijn voor de omvang van de sedimentatie, zoals blijkt uit het opnemen van een factoren hiervoor in geparametriseerde modellen voor havensedimentatie (Eysink, 1988). De blootstelling van de haven aan golven en wind is in iedere geval indirect van invloed op de sedimentatie, omdat deze medebepalend is voor de sedimentconcentratie buiten de haven. Binnen havens is het ontwerp gericht op het beperken van de gevolgen van wind en goven voor de schepen, vanwege de nautische veiligheid. Daarom zijn naar verwachting de mogelijkheden om te sturen op de sedimentatie binnen de haven beperkt.

- *Wat is de mogelijke rol van grote zoetwaterfluxen richting Waddenzee (effect schut- en spuisluisen) op de slibimport in havens door het ontstaan van dichtheidsgedreven stromingen?*

In de havens van Den Helder, Harlingen en Delfzijl worden, afhankelijk van de noodzaak om water af te voeren uit de boezemsystemen, relatief grote volumes zoetwater gespuid. Door de aanvoer van zoetwater ontstaat een dichtheidsgedreven stroming (ook wel aangeduid als estuariene circulatie), waarbij aan het wateroppervlak het zoete water naar de Waddenzee stroomt en bij de bodem een tegengestelde stroming op gang komt vanuit de Waddenzee de haven in. Door de stroming bij de bodem wordt sediment meegevoerd naar de haven, zodat de sedimentatiesnelheid in de haven toeneemt. Voor de havens van Den Helder, Harlingen (de Boer en Hasselaar, 2013) en Delfzijl (Verhoogt et al., 2014) zijn berekeningen uitgevoerd naar de bijdrage van de dichtheidsgedreven stroming aan de sedimentatie in de haven. Voor de haven van Delfzijl is een betrekkelijk geringe (<10%) afname berekend van de slibsedimentatie en daarmee van het onderhoudsbaggerwerk als gevolg van het verplaatsen van het spuien naar buitende haven (Verhoogt et al., 2014). De bijdrage van het spuien in de haven is door de Boer en Hasselaar (2013) voor Harlingen berekend op 25-50% van de totale aanslibbing.

Ten aanzien van het ontwerp en de inrichting van de vaargeulen kan eveneens een aantal deelvragen worden gesteld:

- › **6.1-3** *In hoeverre is het mogelijk om vaargeulen te ontwikkelen die qua dimensies sterk afwijken van de natuurlijke dimensies zonder dat dit gepaard zal gaan met grote baggerinspanningen?*

In de Waddenzee, met inbegrip van de Eems-Dollard is het niet mogelijk om geulen te overdimensioneren (dieper en of breder) ten opzichte van de autonome situatie, zonder dat dit resulteert in extra sedimentatie. Door de toegenomen omvang nemen de stroomsnelheden af, zodat sedimentatie zal plaatsvinden. Een sterke afwijking van de natuurlijke dimensies zal vrijwel altijd leiden tot hogere sedimentatiesnelheden en grote bagger-volumes.

- › **6.1-4** *Wordt bij het baggeren en verspreiden van sediment voldoende gebruik gemaakt van de hydrodynamische en morfologische kennis van het systeem?*

Bij het baggeren en verspreiden wordt gebruik gemaakt van kennis van het systeem, in termen van waterbeweging, sedimenttransport en morfologische veranderingen. Of er voldoende gebruik wordt gemaakt van de kennis is niet objectief vast te stellen. In het algemeen geldt dat voor waargenomen of verwachte knelpunten in de vaargeulen meer toegepast onderzoek wordt uitgevoerd, beginnend met gedetailleerde morfologische analyses (zie bijvoorbeeld Van Til & Cleveringa, 2018 voor een morfologische analyse van het Schuitengat en Slenk), gevolgd door numerieke modelsimulaties (zoals in Smits et al., 2022 voor de Boontjes) en in sommige gevallen wordt dit nog uitgebreid met metingen en/of praktijkproeven (zoals gebruikt in Grasmeijer et al., 2021 voor de Vaarweg Holwerd-Ameland).

- › **6.1-4 Deelvragen:**

- *Wordt b.v. bij het baggeren rekening gehouden met de mate van meanderen van de geulen? (NB de indruk bestaat dat het baggeren van meandergeulen het systeem alleen maar sterker laat meanderen waardoor de baggerinspanningen worden vergroot)*

Bij het aanpassen van de ligging van de vaargeulen en bij het baggeren wordt rekening gehouden met de natuurlijke ontwikkelingen, conform het beleid. Ook wordt het baggeren gericht op het beperken van de te baggeren volumes. Bij een buitenbocht kan dat betekenen dat er wordt gebaggerd rond de diepste delen, bij de buitenbocht. Als

de sedimentatiesnelheden hoger zijn bij de binnenbocht, dan zal daar bij voorkeur niet worden gebaggerd. Door deze wijze van baggeren kan de autonoom optredende uitbocht worden versterkt (Van Til, 2018). Daarbij komt dat in de situatie zonder baggeren de autonome ontwikkeling van vloed- en ebcharen voor nieuwe kortere geulverbindingen zou zorgen. Maar door het baggeren van de vaargeul wordt deze autonome ontwikkeling van kortere verbindingen beperkt. Dat betekent dat het uitbochten verder doorgaat in de situatie waarin wordt gebaggerd, dan in de situatie waar niet wordt gebaggerd. Dit is de ontwikkeling die bij de vaarweg Holwerd-Ameland is opgetreden (Van Til, 2018). Of een grotere meanderbocht leidt een toename van het baggerbezwaar is afhankelijk van de autonome omvang van de geul in verhouding tot de gewenste omvang van de vaargeul. Dit kan zo zijn, want op theoretische gronden leidt een toename van de lengte van geul tot een afname van de stroomsnelheden, maar het is niet bekend in hoeverre dit in de praktijk bijdraagt aan het toenemen van het baggerbezwaar.

- *Wordt bij het baggeren en verspreiden van sediment optimaal gebruik gemaakt van de getijstrooming?*

De keuze voor de wijze van verspreiden (op stroom zetten, of naar de verspreidingslocatie brengen) wordt medebepaald door de (richting van de) getijstrooming. Ook bij de keuze voor de verspreidingslocatie wordt in die gevallen waar sprake is van een eb- en vloedlocatie, rekening gehouden met het getij. Daarnaast zijn er andere voorwaarden waar de verspreidingslocaties aan moeten voldoen. Of daarmee optimaal gebruik wordt gemaakt van de getijstrooming, is alleen vast te stellen wanneer wordt verduidelijkt wat onder “optimaal” wordt verstaan.

- › **6.1-5** *Leidt het kiezen van verspreidingslocaties op grotere afstand van de haven tot een reductie van de depositie in havens en dus een vermindering van het baggeren?*
- › **5.5-15** *Wat is het effect van baggeronttrekking uit de geulen en havens in de Waddenzee en het verspreiden dicht bij het zee gat dan wel op de Noordzee, onder meer voor wat betreft de mogelijke frequentie en intensiteit waarmee moet worden gebaggerd (en de mate van vertroebeling die lokaal) kan optreden? - red: dit deel van de vraag is beantwoord in §7.2)*

In veel gevallen zal een grotere afstand tussen de haven en de verspreidingslocatie leiden tot een lager retourtransport van de verspreide specie naar de haven. Maar dat hoeft niet te betekenen dat de sedimentatie in de haven dezelfde afname kent. Daarvoor is het bepalend in hoeverre de slibconcentratie in de omgeving van de haven afneemt. Omdat de slibconcentratie nabij de haven wordt bepaald door een combinatie van verschillende fysische en ecologische processen, waarbij stortingen in veel gevallen een beperkte bijdrage leveren, is de afname van de sedimentatie in de haven veelal beperkt. De impact op het baggerbezwaar van het vergroten van de afstand tussen de haven en de verspreidingslocatie is daardoor veelal beperkt. Daarbij moet worden bedacht dat de effecten van het baggeren en verspreiden in de vorm van verstoring en uitstoot toenemen bij het vergroten van de afstand.

- › **6.1-6** *Is het mogelijk om te komen tot een economische en ecologische optimalisatie van de processen van baggeren en verspreiden door het sediment verder van het probleemgebied te verspreiden (met meer kosten voor transport) en daardoor het volume en de intensiteit van het baggeren lokaal te verminderen (met reductie van kosten)?*

Het is mogelijk om de ecologische effecten van baggeren en verspreiden voor verschillende technieken te vergelijken (zie het voorbeeld in Tabel 7-1) en dat kan op vergelijkbare wijze ook voor verspreiden op verschillende locaties. Het is ook goed mogelijk om kosten te vergelijken voor het verspreiden op verschillende locaties, op basis voor kentallen voor

de baggercyclus (laden, varen, lossen, terugvaren) voor verschillende baggerschepen (vergelijkbare berekeningsmethoden zijn beschikbaar voor het berekenen van de kosten van zandsuppleties, zie Morselt, 2010 en Morstelt et al., 2016). Het is mogelijk, maar wel complexer dan het bepalen van de kosten, om de verandering van het baggerbezwaar te berekenen die optreedt bij een andere verspreidingslocatie, door simulaties uit te voeren met computermodellen van de slibverspreiding. Ervaring met berekeningen aan de baggercyclus bij de verspreiding van baggerspecie uit de haven van Harlingen voor de pilot slibmotor bij Koehoal (Baptist, 2019), hebben geleerd dat de kosten snel oplopen bij een verspreidingslocatie die een beetje verder weg ligt.

Het wegen van de ecologische en economische effecten voor een optimalisatie is nog wel een aandachtspunt. Daarnaast zal ook de extra uitstoot doordat schepen verder moeten varen meegenomen moeten worden.

- › **6.1-7** *Bestaat er een relatie tussen de uitvoering van zandsuppleties langs de Nederlandse kust (Kop van Noord-Holland en de Waddeneilanden) en het vaargeulonderhoud in de Waddenzee?*
- › **5.2-4** *Wat is de invloed van zandsuppletie op de hoeveelheid en samenstelling van sediment in de haven van Den Helder?*

De vraag of het aanbrengen van zand langs de Nederlandse kust leidt tot aanzanding in de Waddenzee wordt vaker gesteld, waarbij in sommige gevallen wordt gerefereerd aan waargenomen veranderingen. Het antwoord op deze vraag wordt gegeven op de website van Rijkswaterstaat (<https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/beheer-en-ontwikkeling-rijkswateren/waddenzee/kustonderhoud-waddeneilanden>, geraadpleegd op 27 oktober 2023): “De dagelijkse dynamiek tussen getij, stroming en wind bepaalt hoeveel zand en slib (sediment) er getransporteerd wordt en waar naartoe. Dit natuurlijke proces voltrekt zich, ongeacht of we suppleties uitvoeren. Zandsuppleties zijn daarom niet van invloed op de ontwikkelingen in de Waddenzee. Ook al voor de jaren '90 was er sprake van flinke verzanding (zandiger worden van de Waddenzee) en aanslibbing. Wel zorgen suppleties voor voldoende zand om de eilandkusten te beschermen tegen de zee en zorgen ze dat de kust duurzaam en verder op natuurlijke wijze meegroeit met de zeespiegel.” In het conceptuele model van de morfologische ontwikkeling van de Waddenzee (zie onder andere Louters & Gerritsen, 1994; Ministerie van Economische Zaken, 2006; Janssen et al., 2017, Wang & Nederhoff, 2018) is niet het aanbod van zand bij de kust bepalend voor de ontwikkelingen van de Waddenzee, maar de vraag van zand door de Waddenzee.

- › **6.1-8** *Kan het sediment uit de vaargeulen deels worden gebruikt voor het ophogen van wadplaten (nu dan wel in de toekomst)? Is er ervaring met het ophogen van wadplaten door het ophogen van sediment om ze mee te laten groeien met zeespiegelstijging (of voor een ander doel)? Zijn hier naast voordelen ook nadelen aan verbonden?*

Het toepassen van zand uit geulen voor het ophogen van intergetijdeplaten is praktijk in de Oosterschelde (Van der Werf, 2015). De ervaringen daar laten zien dat het toepassen van sediment technisch mogelijk is. In de Oosterschelde is het nodig om plaatsuppleties uit voeren, om het areaal en de droogvalduur van de intergetijdeplaten te behouden (De Ronde et al., 2013). Zandsuppleties voor het behoud of de uitbreiding van supralitorale platen zijn ook uitgevoerd, in de Waddenzee voor het behoud van Griend (Govers & Reijers, 2021) en in de Westerschelde voor het uitbreiden van en behouden van broedgelegenheid op de Hooge platen (<https://vnsc.eu/11820-broedgebied-hooge-platen-uitgebied/>). Voor Griend is gebruik gemaakt van zand dat is gewonnen op een nabijgelegen verspreidingslocatie voor baggerspecie uit de vaargeulen. In de Westerschelde is zand gebruikt dat vrijkwam bij onderhoudsbaggerwerk op een drempel in de vaargeul

Sardijngeul-Oostgat. In al deze gevallen zal na verloop van tijd opnieuw zand moeten worden gesuppleerd voor het behoud van de platen, omdat de erosie van deze platen een doorgaand proces is. Ook het zand dat op platen is gesuppleerd zal eroderen.

Het nadeel van het uitvoeren van zandsuppleties op intergetijdeplaten is dat initieel het aanwezige bodemleven op de afsterft door de bedekking met sediment. Na het uitvoeren treedt geleidelijk herstel op.

Bij de MER-studie en de Passende beoordeling voor de zoutwinning onder Waddenzee is de vraag gesteld of het mogelijk is om de bodemdaling die daarbij optreedt te compenseren door het uitvoeren van zandsuppleties in de Waddenzee, ter plaatse van de bodemdalingsschotel. In de Passende Beoordeling is gemotiveerd dat het niet alleen niet nodig is om de suppleties daar lokaal uit te voeren, maar ook dat dit niet wenselijk is omdat de ecologische impact van dergelijke suppleties groter zal zijn dan het effect van zandsuppleties op de kust (§7.6 in Arcadis, 2013).

- › **6.1-11** *In hoeverre kan een vergroting in komberging bijdragen aan een reductie in baggerinspanning waardoor geulen mogelijk beter op diepte blijven en accommodatieruimte ontstaat voor de depositie van slib?*

De omvang van getijdegeulen, in termen van het doorstroomoppervlak is gekoppeld aan hun kombergingsvolume. Hoe meer water door de geul stroomt tijdens vloed en eb, des te groter zal de geul zijn (Eysink, 1979). Door het kombergingsvolume te vergroten, neemt de natuurlijke omvang van de geul toe. En naarmate de natuurlijke omvang van de geul dichter bij de diepte van de vaargeul ligt, des te kleiner het baggerbezwaar in de betreffende geul. Daarom is bij de vaargeul Holwerd-Ameland en bij het haventje van Noordpolderzijl gekeken naar mogelijkheden om het kombergingsvolume te vergroten. Het vergroten van het kombergingsvolume kan door het intergetijdegebied te verlagen, door kwelders af te graven tot in het intergetijdebereik en door areaal toe te voegen aan het kombergingsgebied. Areaal toevoegen kan door het uitbreiden van het areaal buiten de bestaande grenzen van de Waddenzee. Hiervoor kan worden gekeken naar het verleggen van dijken (Smits et al., 2020), of het aankoppelen van binnendijks gebied via een sluis (Cleveringa, 2023). Naast de toename van het doorstroomoppervlak van de geul door het toenemen van het kombergingsvolume, kan ook sprake zijn van een merkbare verlaging van de slibconcentratie, doordat in het toegevoegde gebied sedimentatie van slib optreedt. Het gevolg van de verlaagde slibconcentratie is dat de sedimentatie in de vaargeul afneemt, zodat het baggerbezwaar nog meer afneemt. Door de sedimentatie in het intergetijdebereik neemt het kombergingsvolume geleidelijk wel weer af, zodat het effect op het baggerbezwaar na verloop van tijd ook minder wordt.

- › **4.1-8** *Wat zijn de mogelijke consequenties van (toekomstige) veranderingen in kustbeheer zoals het realiseren van wisselpolders en het inrichten van zeeverende kustlandschappen voor baggeractiviteiten?*

Indien wisselpolders en de inrichtingselementen van zeeverende kustlandschappen kombergingsvolume toevoegen aan vaargeulen, dan zal dit op dezelfde wijze doorwerken als hierboven beschreven bij het vergroten van komberging. Het kan een positief effect hebben op de autonome omvang van de geul en daarmee leiden tot een reductie van het baggerbezwaar. Omgekeerd geldt dat wanneer de zeeverende kustlandschappen leiden tot een afname van de komberging, bijvoorbeeld door het uitbreiden van kwelders binnen de kombergingsgebieden, de autonome omvang van de geul zal afnemen en het baggerbezwaar zal toenemen.

7.3

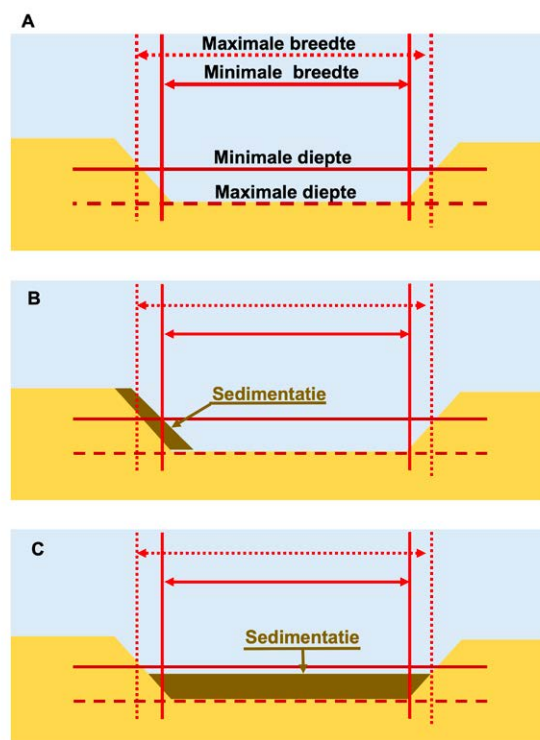
Aanpassingen aan de wijze van baggeren

Bij baggeren van de geulen en de havens wordt een zekere overdiepte aangebracht ten opzichte van de streefdiepte. De maximale omvang van die overdiepte ligt vast, doordat hiervoor dimensies zijn meegegeven in het beheerplan (Tabel 3-1) en ook voor de breedte van de vaargeulen zijn dimensies meegegeven. Een belangrijk vraagstuk bij aanpassingen aan de wijze van baggeren zijn de criteria die worden gehanteerd voordat wordt overgegaan tot baggeren. Deze aspecten komen hieronder aan orde rond de verschillende vragen:

- › **6.1-12a** Kan er voor bepaalde baggervakken niet beter breder worden gebaggerd zodat er uiteindelijk minder vaak hoeft te worden gebaggerd?

Om de relatie tussen de gevolgen voor sedimentatie voor de breedte en diepte van de geul te duiden zijn in Figuur 7-1 de minimum- en maximumbreedte voor de knelpunten in de vaargeulen opgenomen in een schematische dwarsdoorsnede. In deze figuur zijn twee extreme voorbeelden opgenomen van sedimentatie, vanaf de zijkant van de geul (B in Figuur 7-1) en egaal op de bodem (C in Figuur 7-1). Bij de baggervakken waar de sedimentatie optreedt vanuit één of beide zijkanten van de geulen, zal dit aanleiding vormen voor een onderschrijding van de minimumbreedte. En dat betekent dat de breedte van de vaargeul aanleiding vormt om te baggeren. Bij egale sedimentatie over de breedte van de geul neemt ook de breedte van de geul af. In dergelijke situaties is het de combinatie van de afname van de diepte en van de breedte die aanleiding vormt voor het uitvoeren baggerwerkzaamheden. Het is in alle gevallen zinvol om de beschikbare maximale breedte van de geul te baggeren, omdat dan het aantal keren wordt beperkt dat een onderschrijding van de minimale breedte aanleiding vormt om te baggeren. Daarbij past wel de opmerking dat dit breder baggeren niet betekent dat het totale (cumulatieve) baggervolume over een lange periode afneemt. Het baggervolume per keer baggeren is groter wanneer elke keer de volle breedte wordt gebaggerd.

Figuur 7-1 Schematische dwarsdoorsnede van een knelpunt in een vaargeul, met de minimum en maximum breedte en diepte (A). Bij B vindt de sedimentatie voornamelijk op de geulwand plaats en bij C voornamelijk op de geulbodem.



Uit de schematische dwarsdoorsnede in Figuur 7-1 kan worden afgeleid dat het niet zinvol is om de minimale en maximale breedte van de vaargeul gelijk te stellen. Immers, bij een verondieping door sedimentatie zal ook de breedte afnemen. En dat betekent dat zelfs beperkte sedimentatie leidt tot een onderschrijding van de minimale breedte, hetgeen baggeren noodzakelijk maakt. In Tabel 3-1 is zichtbaar dat alleen bij de Boontjes sprake is van een identieke minimale en maximale breedte van het knelpunt.

- › **6.1-12b** *Wat is het effect van vaker baggeren met kleine schepen versus minder vaak baggeren met 1 groot schip?*

Deze op het oog eenvoudige vraag is lastig te beantwoorden. Het begint bij de weder-vraag of het wel mogelijk is om de baggerwerkzaamheden op de verschillende manieren uit te voeren.

Hierbij worden meerdere aannames gedaan. De eerste impliciete aanname bij deze vraag is dat het baggerwerk daadwerkelijk uitgevoerd kan worden met een groter baggerschip. In de Waddenzee is dit slechts voor een beperkt aantal locaties mogelijk (drempels in de vaarweg Harlingen-Noordzee, Eens-Dollard), omdat de grotere diepgang van de grotere baggerschepen de inzet daarvan beperkt in veel knelpunten in de Waddenzee. De tweede impliciete aanname is dat het mogelijk is om het baggerwerk in één keer uit te voeren, door een ruime overdiepte te creëren in het baggergebied. Wet- en regelgeving over de maximale diepte voor de knelpunten (Tabel 3-1) voor de vaargeulen; de Passende Beoordeling (Arcadis, 2016) geeft ook minimale en maximale dieptes voor de havens) staat dieper baggeren dan de maximale diepte niet toe.. Verder wordt aangenomen dat de in te zetten baggertechnieken vergelijkbaar zijn. Voor het te baggeren volume wordt aangenomen dat het vergelijkbaar is.

Indien aan deze aannames wordt voldaan, kunnen de effecten worden vergeleken. Alle effecten die optreden door verstoring zullen groter zijn bij de inzet van meerdere kleinere schepen, omdat frequenter gebaggerd moet worden, zodat de verstoring vaker optreedt. De omvang van de near-field effecten rond vertroebeling zullen vergelijkbaar zijn, omdat deze gekoppeld zijn aan het te baggeren volume. De verstoring en eventueel bedekking van de verspreidingslocatie (afhankelijk van de in te zetten baggertechniek) zal wel frequenter optreden bij de inzet van kleinere schepen. Ook de far-field gevolgen van het verspreiden van baggerspecie zullen vaker optreden bij de inzet van kleinere schepen en daardoor waarschijnlijk cumulatief langer aanhouden. Daarmee is het antwoord op deze vraag dat indien een groter schip kan worden ingezet in plaats van meerdere kleine schepen, de ecologische effecten hiervan kleiner zullen zijn.

- › **6.1-12c** *Kan er nog meer dan thans het geval is rekening worden gehouden met voor de natuur kwetsbare periodes of seizoenen?*

Twee factoren beperken de mogelijkheden om volledig rekening te houden met kwetsbare periodes, namelijk de nautische veiligheid en de beschikbaarheid van voldoende baggerschepen.

Nautische veiligheid

Indien de sedimentatie gedurende de kwetsbare periode dermate hoog is dat de minimale bodembreedte en/of de minimale diepte wordt onderschreden, dan komt de nautische veiligheid in het geding. De schepen die gebruik maken van de vaargeulen lopen dan het risico aan de grond te lopen en hebben minder ruimte om te manoeuvreren. Daarom is in het Natura 2000-beheerplan Waddenzee (Ministerie van Infrastructuur en Milieu,

2016, zie Bijlage C; bij voorwaarde 4) het voorbehoud opgenomen dat het baggeren van slibhoudende baggerspecie vanwege nautische of veiligheidsredenen ook buiten de winterperiode mag plaatsvinden.

Beschikbaarheid baggerschepen

Indien het baggerwerk verder wordt geconcentreerd buiten voor de natuur kwetsbare periodes, dan moet binnen dat tijdsbestek een groter volume worden gebaggerd. Dat betekent dat meer baggerschepen ingezet moet worden binnen deze periode (en minder in de voor de natuur kwetsbare periodes). Dit is waarschijnlijk wel mogelijk, maar betekent voor de baggeraars dat deze hun materieel en mensen minder efficiënt kunnen inzetten. Daarbij moet ook worden bedacht dat de kans op verlet groter is in de herfst, winter en het vroege voorjaar. Dat alles betekent dat de kosten van het baggeren toenemen.

- › **6.1-13** *Bestaan er baggertechnieken om de vertroebeling te beperken zowel wat betreft de mate van vertroebeling (= concentratie aan sediment) als de duur? Valt er in dit verband iets te leren van grote projecten in het buitenland waar soms harde eisen worden gesteld (b.v. in de omgeving van koraalriffen)?*

De verschillende bagger- en verspreidingstechnieken leiden tot andere near-field vertroebeling. De far-field effecten door vertroebeling verschillen doordat de bronlocatie verschilt per techniek, maar de omvang ervan wordt voornamelijk bepaald door de omvang (het verspreide volume). De omvang van de near-field effecten is kleiner dan de omvang van de far-field effecten, omdat slechts een beperkt deel van het slib vrijkomt in de waterkolom bij het baggeren in de near-field pluim. Uiteindelijk komt op een goed functionerende verspreidingslocatie, waar sprake is van voldoende stroming zodat het verspreide sediment door deze stroming wordt verplaatst, na verloop van tijd al het slib een keer in de waterkolom. De essentie is daarmee dat de vertroebeling in termen van maximale concentraties, duur van de verhoging van de concentratie en locaties waar deze verhogingen optreden in beperkte mate kan worden gestuurd, maar dat uiteindelijk de omvang van de baggerwerkzaamheden bepalend is. Dit betekent dat het sturen op de near-field effecten van het verspreiden door het opleggen van harde eisen een beperkte invloed heeft op de vertroebeling.

Daarbij zijn er twee aspecten waarin de werkzaamheden en de omstandigheden in de Waddenzee verschillen van buitenlandse voorbeelden.

Harde eisen die aan het optreden van vertroebeling worden gesteld, zoals nabij koraalriffen (Australië, Saudi Arabië) en zeegrasvelden (Denemarken) zijn in veel gevallen gekoppeld aan aanlegwerkzaamheden. Het stilleggen van baggerwerkzaamheden van (dreigende) overschrijdingen van grenswaarden voor vertroebeling kan bij dergelijke projecten wel vertraging van de werkzaamheden op leveren, maar leidt niet direct tot belemmeringen van het gebruik van bestaande vaarwegen.

Een ander belangrijk verschil tussen de koraalriffen en zeegrasvelden waar dergelijke grenswaarden zijn of worden gehanteerd en de Waddenzee is dat de achtergrondconcentraties van nature laag zijn. De lage achtergrondconcentraties maken het eenvoudig om verbanden te leggen tussen de werkzaamheden en toenames van de concentraties zwevend stof. In de Waddenzee zijn de concentraties beduidend hoger en deze variëren ook nog eens sterk. Het is daarom in de Waddenzee veel lastiger om een samenhang vast te stellen tussen werkzaamheden en concentratieverhogingen.

Samenvattend kan worden gesteld dat het in de Waddenzee praktisch niet mogelijk is om te sturen op harde eisen aan vertroebeling om daarmee de ecologische effecten te beperken.

- › **6.1-14** *In hoeverre is het mogelijk en realistisch om binnen baggercontracten meer te sturen op duurzaamheidsaspecten (naast emissies en stikstof) die betrekking hebben op bodemverstoring en vertroebeling?*

De invloed die de uitvoerende baggeraars hebben op het beperken van bodemverstoring en vertroebeling zijn beperkt. Baggeraars kunnen in sommige gevallen kiezen voor de inzet van andere baggertechniek, bijvoorbeeld door te WID-en in plaats met een sleephopperzuiger te baggeren en te verspreiden. De mogelijkheid om dit te doen wordt in hoge mate bepaald door de baggerlocatie zelf en de omgeving, omdat voor het succesvol uitvoeren van WID-en er een hoge dichtheidsstroom op gang moet komen die wegstroomt van de baggerlocatie. Dit vraagt om een slibrijke bodem en helling die van de baggerlocatie af is gericht. Aan deze randvoorwaarden wordt lang niet op alle plekken in het waddengebied voldaan.

De omvang van de bodemverstoring hangt samen met de omvang van het te baggeren gebied en daar heeft de baggeraar geen invloed op. Op het te baggeren volume per baggercampagne heeft de baggeraar een beperkte invloed, die samenhangt met de frequentie waarmee wordt gebaggerd. Binnen de kaders van het contract (prestatie-eisen over de beschikbaarheid van de vaargeul) en de voorschriften vanwege het Natura 2000 beheerplan of de Wnb-vergunning over maximale diepte kan, worden gekozen voor het vaker baggeren van kleine volumes, of het in één keer baggeren van een groter volume. Voor het totale baggervolume over een langere periode (jaargemiddeld) maakt dit niet tot weinig uit, maar per keer baggeren is dan sprake van kleine volumes.

De mogelijkheden om binnen bestaande of nieuwe contracten te sturen op bodemverstoring en vertroebeling zijn daarmee beperkt.

- › **6.1-15** *Wat zegt het baggerplafond in beuns in het kader van de NB-wet vergunning precies? Oftewel: hoe kunnen we tot een betere definitie van het baggerplafond komen en deze als zodanig toepassen door meer kaderstellend te worden voor baggeren in het tweede Natura2000 beheerplan?*

De hoeveelheden baggerspecie in het Natura 2000-Beheerplan Waddenzee (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016.) komen overeen met de hoeveelheden in de vergunning Wet natuurbescherming (Ministerie van Economische Zaken, 2016). Dit zijn de hoeveelheden die zijn opgenomen in de Passende beoordeling van het onderhoudsbaggerwerk (Arcadis, 2016). Van deze hoeveelheden is vastgesteld dat het baggeren en verspreiden, volgens de technieken zoals beschreven in de PB, niet leidt tot significant negatieve effecten op de instandhoudingsdoelstellingen van de Natura 2000-gebieden. De hoeveelheden zijn opgenomen in beunkuubs, dit is de standaard voor rapportage.

Van baggervolumes boven het baggerplafond is niet uitgesloten dat significant negatieve gevolgen optreden op de instandhoudingsdoelstellingen van de Natura 2000-gebieden. Dat betekent niet dat grotere baggervolumes per se leiden tot significant negatieve gevolgen, de gevolgen zijn namelijk niet vastgesteld.

Ten aanzien van de verbeterdoelstellingen voor de ecologie en de waterkwaliteit (zie §5.5.1) is niet vastgesteld in hoeverre het huidige baggerplafond beperkingen oplevert voor het bereiken daarvan.

De vraag naar een betere definitie kan niet worden beantwoord zonder dat duidelijk is waar de verbetering betrekking op moet hebben.

7.4

Beoordeling van aanpassingen

Met betrekking tot de beoordeling van de manieren om het baggeren en de gevolgen daarvan te verminderen zijn verschillende vragen gesteld die betrekking hebben op de onderlinge vergelijking en beoordeling.

- › **6.1-16** *Wat zijn de voordelen, nadelen, kosten en risico's van de verschillende mogelijkheden om de effecten van baggeren en verspreiden van sediment te reduceren?*
- › **6.1-17** *Hoe verhoudt deze oplossingsrichting (reductie/mitigatie van effecten) zich in die aspecten (voordelen, nadelen, kosten en risico's) tegenover de andere opties?*
- › **6.1-9** *Wat zijn de voordelen, nadelen, kosten en risico's van de verschillende mogelijkheden om de depositie van sediment te reduceren?*
- › **6.1-10** *Hoe verhoudt deze oplossingsrichting (reductie van depositie van sediment) zich in die aspecten (voordelen, nadelen, kosten en risico's) tegenover de andere opties?*

Deze vragen zijn dermate breed geformuleerd dat deze niet op basis van een literatuurstudie kunnen worden beantwoord. Daarbij geldt dat de antwoorden gebiedspecifiek zijn. Een oplossing die voor de ene locatie werkt is niet zonder meer toepasbaar voor een andere locatie. Het lijkt wel zinvol om een stappenplan te presenteren voor het beoordelen en desgewenst afwegen van de opties per locatie. Stappen:

1. Vaststellen van de mogelijkheden om de sedimentatie en het te baggeren te reduceren;
2. Vaststellen van de toe te passen baggertechnieken, de verspreidingstechnieken en de verspreidingslocaties (inclusief toepassen op land);
3. Bepalen van de ecologische gevolgen van de verschillende bagger- en verspreidingstechnieken (een voorbeeld hiervan is opgenomen in Tabel 7-1);
4. Bepalen van de kosten en risico's van de verschillende bagger- en verspreidingstechnieken;
5. Beoordelen van de verschillende mogelijkheden.

Voorbeelden van stap 2 zijn hieronder opgenomen, voor het aanlegbaggerwerk voor het een tijdelijke werkgeul langs de Afsluitdijk en voor het onderhoudsbaggeren in de Waddenzee. Tabel 7-1 geeft de vier verschillende baggertechnieken die zijn overwogen voor toepassing bij de aanleg van de werkgeul langs de Afsluitdijk (Witteveen + Bos, 2021). Van andere baggermethoden, zoals de inzet van een sleeppopperzuiger, is op voorhand vastgesteld dat deze niet toepasbaar zijn voor het project en daarom zijn alleen deze vier technieken beoordeeld. Tabel 7-2 geeft een overzicht van de methodes voor het onderhoudsbaggerwerk in de Waddenzee.

In Tabel 7-1 is voor elke techniek op basis van expert judgement, waarbij ook kwantitatieve aspecten, zoals het aantal vaarbewegingen, zijn betrokken, beschouwd wat de relatieve score is van de betreffende methode, op een schaal van – (minst negatief) tot --- (meest negatief). Positieve en neutrale effecten treden niet op. In het rapport van

Witteveen + Bos (2021) is een toelichting opgenomen voor de scores. Zo is de beoordeling met – bij het Waterinjectiebaggeren bij Vernietiging bodemleven ingegeven door het ontbreken van een verspreidingslocatie, waar bedekking van het bodemleven optreedt, terwijl daar bij de andere technieken wel sprake van is. De combinatie van de scores per techniek geeft aan van welke techniek de minste effecten worden verwacht. In dit geval heeft Waterinjectiebaggeren de minste ecologische effecten. De inzet van een cutterzuiger met bakken (voor het transport van de baggerspecie naar de verspreidingslocatie) heeft de meeste ecologische effecten. Het werk is uitgevoerd met Waterinjectiebaggeren.

Baggertechniek	Verstoring	Uitstoot CO2 en depositie NOx	Vertroebeling	Sedimentatie	Vernietiging bodemleven
Kraanschip met bakken	--	--	-	-	--
Cutterzuiger met bakken	---	---	--	-	--
Cutterzuiger met persleiding bij dijkvakken 11A en 11B	--	-	--	-	--
Waterinjectiebaggeren	-	-	--	-	-

Tabel 7-1 Beoordelingstabel met de ecologische effecten van de verschillende baggertechnieken die zijn overwogen voor de aanleg van de werkgeul langs de Afsluitdijk (Witteveen + Bos, 2021).

De scores in Tabel 7-2 zijn overwegend kwalitatieve scores, waarbij is gescoord van ++ tot –, waarbij de ++ staat voor heel goed ten opzichte van de andere technieken en omgekeerd staat – voor heel slecht ten opzichte van de andere scores. Van het pluimkarakter is een benadering van de ruimtelijke omvang opgenomen in de tabel. In vergelijking met Tabel 7-1 valt op dat criterium ‘Morfologische effectiviteit per m³’ is opgenomen en dat heeft betrekking op de impact die iedere kubieke meter heeft bij het op diepte houden van de vaarweg. De baggermethodes waarbij sediment worden weggebracht en verspreid (knijpen = kraanschip en TSHD = sleephopperzuiger) scoren het beste op dit criterium en de methode waarbij het materiaal vrijwel niet wordt verplaatst (ploegen) scoort slecht. Voor een toelichting op de overige gehanteerde criteria en de beoordelingen wordt verwezen naar De Wit et al. (2023).

De in Tabel 7-1 en in Tabel 7-2 getoonde voorbeelden hebben betrekking op verschillende baggermethodes. Dit zijn gelijkwaardige vergelijkingen. Dat is niet voor alle soorten maatregelen het geval. Voor de opties die zijn genoemd bij het reduceren van de sedimentatie in havens (aanpassen havenmonding en havengeometrie, verplaatsen spuilocatie naar buiten de haven, verplaatsen van de verspreidingslocaties) geldt dat de scope ervan nogal verschilt. De opties ‘aanpassen havenmonding en havengeometrie’ en ‘het verplaatsen van de spuilocatie’ zijn ingrijpende opties, die raken aan veel verschillende belangen en die vragen om een uitgebreidere voorbereiding en procedures. De kosten voor dit type maatregelen is over het algemeen hoog. Vaak zijn deze kosten hoger dan de mogelijke kostenreductie door een afname van het baggerbezwaar. Het verplaatsen van verspreidingslocaties is over het algemeen minder ingrijpend.

Parameter	Knijpen	Verspreiden na knijpen	Zuigen (TSHD)	Verspreiden (TSHD)
Morfologische effectiviteit per m ³	++	++	++	++
Energieverbruik per m ³	-	-		0
Vertroebeling waterkolom	0	0	++ (zonder overflow) - (met overflow)	0
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)	Waterkolom ~500-1000 mg/l (tijdsduur typisch enkele uren) ~5 km horizontaal hele waterkolom ~100 mg/l (tijdsduur typisch enkele uren)
Bodemberoering	-	+	--
Verstoring	-	+	-

Tabel 7-2 Expert judgement eerste, globale inschatting impact scores baggermethodes Waddenzee uit De Wit et al., 2023.

8

OVERZICHT VAN DE KENNISLEEMTES

Het literatuuronderzoek naar de kennisvragen over het ecosysteemgericht baggeren leert dat veel data, informatie en kennis beschikbaar is over het baggeren zelf, over de morfologische ontwikkelingen en over de ecologische effecten. Het leert ook dat aandacht voor de gevolgen van baggeren en algemener morfologische ingrijpen in het Waddensysteem relatief vroeg is begonnen (zie ook Essink, 1993, 1999 en 2005). Daarbij valt wel op dat de kennisvragen een brede waaier aan onderwerpen omvatten, die aan verschillende werkvelden raken. Met de toegenomen specialisatie van en binnen werkvelden maakt dat het verkrijgen van overzicht over de benodigde kennis lastiger is dan ooit. Hieronder zijn enkele kennisleemtes toegelicht die naar voren kwamen bij het beantwoorden van de gestelde kennisvragen.

Waarom baggeren, hoe baggeren, etc.

Inzicht krijgen in de afwegingen die worden gemaakt bij het baggeren zelf, bijvoorbeeld rond de vraag wanneer wordt overgegaan tot baggeren en welk materieel wordt ingezet voor welke klus, kan niet op basis van literatuur alleen. Deze kennis is aanwezig bij de baggeraar zelf en bij de opdrachtgevers (Rijkswaterstaat en de beheerders van de havens), maar wordt niet of nauwelijks gedocumenteerd in publiek toegankelijke stukken. Datzelfde geldt voor de rol die de contractvoorwaarden spelen in de overwegingen bij het baggeren. Een deel van deze kennis zal niet openbaar worden gemaakt, omdat het bedrijfsgevoelige informatie betreft. Een ander deel van de kennis kan naar verwachting wel in het publieke domein beschikbaar komen, op basis van gesprekken met de betrokkenen.

Ontbrekende data

Basisgegevens over de samenstelling van de baggerspecie, de dichtheid van de opgebaggerde specie, het in-situ volume versus de beunkuubs en dergelijke, zijn deels niet beschikbaar en zijn deels alleen te achterhalen door het doen van aanvullende berekeningen, met verschillende aannames (Colina Alonso et al., 2021). Bij de registratie van de baggermethode is niet altijd geregistreerd welke wijze van agitatiebaggeren wordt toegepast. De Wit & Mastbergen (2022) hebben overzichtelijke aanbevelingen gedaan voor de registratie van gegevens van het baggeren. Het opvolgen van deze aanbevelingen en het beschikbaar maken van de gegevens, bijvoorbeeld via de digitale systeemrapportage (Stolte et al., 2023; <https://systeemrapportage.nl/wadden/>) zal in de toekomst helpen om de inzichten in de omvang van de baggerwerkzaamheden te vergroten. Het beschikbaar hebben van deze gegevens is bij toekomstige bepalingen van de ecologische effecten, als onderdeel van een vergunningverleningsproces, zeer relevant om onder- en overschatting van effecten te voorkomen.

Metingen in de Waddenzee

Het aantal meetcampagnes rond bagger- en verspreidingsactiviteiten en locaties in de Waddenzee en de Eems-Dollard gericht op slibconcentraties en sedimentatie, is beperkt (er is en wordt gemeten rond de vaargeul Ameland en er zijn metingen uitgevoerd bij het project Slibmotor Koehoal). Dat geldt helemaal voor meetcampagnes waarover is gerapporteerd. Hoewel er geen redenen zijn waarom meetresultaten van andere locaties, bijvoorbeeld over de near-field en far-field effecten van verschillende baggertechnieken niet toepasbaar zijn in het Waddengebied, lijkt het wel gewenst om meer meetgegevens beschikbaar te hebben, evenals interpretaties van die meetgegevens. Dergelijke gegevens en interpretaties kunnen namelijk inzicht geven in de kenmerkende situaties in de Waddenzee en de Eems-Dollard. In termen van de interpretatie van de metingen geldt dat een grotere meerwaarde ontstaat wanneer de resultaten van de metingen worden gecombineerd met de inzet van numerieke modellen en wordt gewerkt met denkmodellen.

Basiskennis autonome situatie

Een van de gestelde vragen is wat de achtergrondconcentratie in de Waddenzee van nature is. Voor het bepalen van de effecten is dit belangrijk om vast te kunnen stellen wat de achtergrondconcentratie zou zijn zonder menselijke ingrepen. Hiervoor is het noodzakelijk om simulaties uit te voeren met een computermodel, van de situatie met en zonder menselijke ingrepen (vanzelfsprekend moet er voldoende vertrouwen zijn in de kwaliteit van het betreffende computermodel). Het is belangrijk om op voorhand te bedenken welke menselijke ingrepen wel en welke niet worden beschouwd in de vergelijking. Naast de menselijke ingrepen in de vorm van het baggeren en verspreiden, hebben ook andere menselijke ingrepen invloed op de slibconcentratie. Denk hierbij aan de kwelderwerken, bedijkingen en, specifiek voor de Eems-Dollard de verdieping van de vaargeul.

De toekomst voorspellen

Een deel van de oplopende baggervolumes in de vaargeulen van de Waddenzee is gerelateerd aan de autonome sedimentatie, waardoor de natuurlijke omvang van de geul is afgenomen. Dit treedt op bij het landwaartse deel van de vaarweg Holwerd-Ameland en in de Boontjes. Op andere plekken in de Waddenzee lijkt het optreden van verondiepingen meer gekoppeld aan tijdelijke veranderingen in drempelgebieden. In alle deze gevallen zijn voorspellingen van de toekomstige morfologische ontwikkelingen gewenst, om inschatting te maken van de verwachte sedimentatie en het baggerbezwaar. Modellen voor het voorspellen van de ontwikkelingen zijn beschikbaar, maar deze hebben wel specifieke toepassingen. Met modellen zoals ASMITA zijn de veranderingen van de gecombineerde platen en geulen te voorspellen over perioden van tientallen jaren. Daarmee wordt duidelijk of de omvang van alle geulen in het kombergingsgebied toe- of afneemt. De ontwikkelingen van individuele geulen zijn echter niet met dit soort modellen te voorspellen. Modellen die wel geschikt zijn voor het voorspellen van de ontwikkelingen van individuele geulen zijn niet toepasbaar voor langere periodes. Door het combineren van modellen onderling en met andere berekeningen is het wel mogelijk om voorspellingen te doen die het gewenste tijdsbestek van tientallen jaren omvatten voor specifieke geulen en vaarwegen.

De verwachte versnelling van de zeespiegel levert onzekerheden voor de verwachte ontwikkelingen van de morfologie van de Waddenzee. Onder de huidige snelheid van zeespiegelstijging neemt de hoogte en omvang van verschillende wadplaten bij de vastelandskust toe, waardoor het kombergingsvolume afneemt en de autonome omvang van de geulen ook afneemt. De sedimentatiesnelheid op deze wadplaten is groter dan de huidige snelheid van zeespiegelstijging. Bij het optreden van versnelde zeespiegelstijging kan deze snelheid op een gegeven moment de sedimentatiesnelheid op de wadplaten overstijgen. Het kombergingsvolume neemt dan toe en de autonomen omvang van de geul ook. Dat kan betekenen dat dan minder gebaggerd hoeft te gaan worden. De twee belangrijke vragen hierbij zijn: 1. Hoe gaat de snelheid van zeespiegelstijging zich ontwikkelen; en 2. Welke sedimentatiesnelheid treedt op op de wadplaten. Kengetallen die zijn ontwikkeld voor het meegroeivermogen en de kritische snelheid van zeespiegelstijging (Wang & van der Spek, 2021) bieden hiervoor slechts beperkt inzicht, omdat deze waarden betrekking hebben op de het gecombineerde plaatareaal in het hele kombergingsgebied. Voor de ontwikkeling van individuele geulen is de lokale ontwikkeling van het plaatareaal doorslaggevend. Informatie op deze schaal is niet beschikbaar, mogelijk levert een onderzoeksprogramma zoals WadSED (<https://wadsed.nl/>) hiervoor relevante gegevens. Omdat kentallen over de sedimentatiesnelheid op individuele wadplaten nog ontbreken, is het niet mogelijk om scenario's te schetsen van de ontwikkelingen van individuele wadplaten en getijdegeulen bij verschillende snelheden van zeespiegelstijging

Beoordeling en afweging

Kennisvragen met waardeoordeel, zoals blijkt uit woorden als “belangrijk”, “urgentie”, “optimaal” en “beter”, kunnen worden beantwoord als deze kunnen worden herleid tot een gemaakte (en bij voorkeur ook vastgelegde) beoordeling of afweging. Wanneer de kennisvraag impliceert dat de betreffende beoordeling/afweging nog moet plaatsvinden, dan kan geen antwoord op de kennisvraag worden gegeven. Een voorbeeld van zo'n vraag is “...hoe kunnen we tot een betere definitie van het baggerplafond komen ...”.

En de overkoepelende vraag is de onderstaande:

- › *Wat wordt de baggerstrategie? Waar kunnen we welke baggerwerkzaamheden uitleggen, wat zijn hiervoor de uitgangspunten?*

Een antwoord op deze en andere vragen met een waardeoordeel is niet mogelijk.

In §7.4 is wel een beknopt stappenplan opgenomen om te komen tot een beoordeling van verschillende opties. Voor het krijgen van begrip voor de beoordeling is het aan te bevelen om de belanghebbenden en betrokkenen mee te nemen in de beoordeling.

REFERENTIES

Beheerbibliotheek 2017-2022

- Vlie & Marsdiep: Oost, A. J. Cleveringa, M. Taal, 2019. Morfologie Kombergingsgebieden Marsdiep en Vlie. Beheerbibliotheek Waddenzee, v 2019 (update van 2018). Deltares rapport 11203669-000-ZKS-0006
- Eierlandse gat: Cleveringa, J. & E. Elias, 2022. Kombergingsrapportage Eierlandse Gat. Deltares rapport 11208040-002-ZKS-0001.
- Borndiep: Cleveringa, J. & A.P. Oost, 2017. Morfologie Kombergingsgebied Borndiep; KPP 2017 BO03 Waddenzee Kennisontwikkeling morfologie en baggerhoeveelheden. Deltares rapport 11200521-000-ZKS-0004.
- Friesche Zeegat: Oost, A. J. Cleveringa, M. Taal, 2020. Kombergingsrapport Friesche Zeegat. Pinkegat en Zoutkamperlaag. Deltares rapport 11205229-001-ZKS-0002
- Groninger wad: Elias E. & J. Cleveringa, 2021. Kombergingsrapportage Lauwers en Groninger Wad. Deltares rapport 11206799-002.

Algemeen

- Alkyon. 2008. Haalbaarheidsstudie vaarweg Ameland; Fase 1: selectie van Kansrijke alternatieven (Report).
- Aquatic Services Unit, 2011. Cork Harbour. Sediment Pin Survey. University College Cork, Ireland;
- Arcadis, 2013. Passende beoordeling zoutwinning onder de Waddenzee. Arcadis rapport kenmerk 076816298:A.4 – Definitief
- Arcadis, 2016. Baggeren en verspreiden in de Waddenzee; Passende beoordeling. Arcadis rapport 078815656.
- Arcadis, 2015. Probleemanalyse MKBA Westgat, Gemeente De Marne. Arcadis rapport Projectnummer : C03031.000648.
- Arcadis, 2019. Passende Beoordeling Schelpenwinning 2020-2022.
- Arcadis, 2022. Ecologische scenariovergelijking Vaargeul de Boontjes. Arcadis rapport met kenmerk YTF7QRNSQWEA-1723496104-1890:1.
- Arcadis, 2022. Passende beoordeling verspreiding onderhoudsbaggerspecie Terneuzen en Hansweert; Verspreiding onderhoudsbaggerspecie in gewijzigde verspreidingsvakken Westerschelde (actualisering 2022). Arcadis-rapport kenmerk D100153319:73.
- Baptist, M.J. and M.F. Leopold, 2007. De relatie tussen zichtdiepte en vangstsucces van de Grote Sterns van De Petten, Texel. Wageningen IMARES, Rapport C097/07.
- Baptist, M.J. 2015. Passende Beoordeling Natuurbescherminswet 1998 voor project Kwelderontwikkeling Koehoal door een slibmotor. Rapport / IMARES Wageningen UR, no. C081/15, IMARES, Den Burg.

- Baptist, M.J., Van der Wal, J. T., De Groot, A. V. & T. J. W. Ysebaert, 2016. Ecotopenkaart Waddenzee volgens de ZES.1 typologie.
- Baptist, Martin J, van der Wal, J. T., Folmer, E. O., Gräwe, U., & K. Elschot, K., 2019a. An ecotope map of the trilateral Wadden Sea. *Journal of Sea Research*, 152(May), 101761.
- Baptist, M. J., T. Gerkema, B.C. van Prooijen, D.S. van Maren, M. van Regteren, K. Schulz, I. Colosimo, J. Vroom, T. van Kessel, B. Grasmeyer, P. Willemsen, K. Elschot, A.V. de Groot, J. Cleveringa, E.E. van Eekelen, F. Schuurman, H.J. de Lange & M.E.B. van Puijenbroek, 2019b. Beneficial use of dredged sediment to enhance salt marsh development applying a ‘Mud Motor’. *Ecological Engineering* v. 127.
- Baptist, M.J., P. Dankers, J. Cleveringa, L. Sittoni, P.W.J.M. Willemsen, M.E.B. van Puijenbroek, B.M.L. de Vries, J.R.F.W. Leuven, L. Coumou, H. Kramer & K. Elschot, 2021. Salt marsh construction as a nature-based solution in an estuarine social-ecological system. *Nature-Based Solutions*, v. 1.
- Barth, R., C. J. A. W. van der Made, L. Bourgonjen, J van Dijken, M. Vantorre & J. Verwilligen, 2016. Manoeuvring with negative underkeel clearance: 2nd full scale field test in the port of Delfzijl, 4th MASHCON, Hamburg – Uliczka et al. (eds). Bundesanstalt für Wasserbau.
- Bartels, W. & M. Hendriksen, 2019. Onafhankelijk onderzoek vertragingen veerdienst Holwerd-Ameland. Lieveense rapport.
- Bartholomä, A., Kubicki, A., Badewien, T.H. and Flemming, B.W., 2009. Suspended sediment transport in the German Wadden Sea—seasonal variations and extreme events. *Ocean Dynamics*, 59(2), pp.213-225.
- Becker J., van Eekelen, E., van Wiechen, J., de Lange, W., Damsma, T., Smolders, T. & van Koningsveld, M., 2015. Estimating source terms for far field dredge plume modelling. *Journal of Environmental Management*, Vol. 149, pp 282-293.
- Beukema, J.J., 1976. Biomass and species richness of the macro-benthic animals living on the tidal flats of the Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 10, 236–261.
- Bijkerk, R., 1988. Ontsnappen of begraven blijven. De effecten op bodemdieren van een verhoogde sedimentatie als gevolg van baggerwerkzaamheden. Literatuuronderzoek. RDD aquatic ecosystems.
- Birklund, J. & J.W.M. Wijsman, 2005. Aggregate extraction: a review on the effect on ecological functions. Z3297.10, 2005.
- Bouma, H., D.J. de Jong, F. Twisk, F. & K. Wolfstein, 2005. Zoute wateren EcotopenStelsel (ZES.1); voor het in kaart brengen van het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen in zoute en brakke rijkswateren. Rapport RIKZ RIKZ, 2005.024.
- Brinkman, A.G. & P. Jacobs, 2023. Gross pelagic primary production in the Ems-Dollard estuary. *Journal of Sea Research*, Volume 192.
- Buijsman, M.C., 1997. The impact of gas extraction and sea level rise on the morphology of the Wadden Sea: Extension and application of the model ASMITA. Master thesis TU Delft.
- Burt, N. 2006. Sediment management strategies in the Elbe estuary.
- CEDA, 2019. Fact sheet – 4. The beneficial use of dredged material.
- Chandrasekara, W.U. & C.L.J. Frid, 1998. A laboratory assessment of the survival and vertical movement of two epibenthic gastropod species, *Hydrobia ulvae* (Pennant) and *Littorina littorea* (Linnaeus), after burial in sediment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 221, no. 2, pp. 191–207.

- Christianen, M.J.A., Holthuijsen, S., Van der Zee, E.M., Van der Eijk, A., Govers, L.L., Van der Heide, T., de Paoli, H., Olf, H., 2015. Ecotopen- en Kansrijkdomkaart van de Nederlandse Waddenzee. Rapportnummer 2015.04.01, Waddenfondsproject Waddensleutels.
- Cleveringa, J. & Grasmeyer, B., 2010. Meegroeivermogen en gebruiksruimte in de getijbekkens Vlie en Marsdiep; Grootschalige morfologische ontwikkelingen westelijke Waddenzee. Report A2062R.3r5, Arcadis (Zwolle).
- Cleveringa, J. 2018. Slibsedimentatie in de kwelders van de Waddenzee; Bijdrage aan de kwantificering van sinks voor slib in de Waddenzee i.h.k.v. project KRW Slib. Arcadis rapport met kenmerk 083755930 0.1
- Cleveringa, J., 2023. Blue Carbon in binnendijkse kwelders; Principes en berekening van koolstofvastlegging. Arcadis rapport :30135552.
- Colijn, F. & G. C Cadée, 2003. Is phytoplankton growth in the Wadden Sea light or nitrogen limited?. *Journal of Sea Research*, Volume 49, Issue 2, 2003. Pages 83-93.
- Colijn, F. and de Jonge, V.N., 1984. Primary production of microphytobenthos in the Ems-Dollard Estuary. *Marine ecology progress series*. Oldendorf, 14(2), pp.185-196.
- Colina Alonso, A., 2020. Evolutie van het bodemslib in de Waddenzee. Data analyse. Deltares rapport 11205229-001-ZKS-0003, 20 oktober 2020.
- Colina Alonso, A., Smits, B. en Vroom, J., 2021. Stijging Baggerhoeveelheden Vaargeul Boontjes. Data analyse op basis van morfologische ontwikkeling en baggerwerkzaamheden. Deltares rapport 11206799-007-ZKS-0001, 22 december 2021, definitief.
- Colosimo, I., d. Vet, P.L.M., van Maren, D.S., Reniers, A.J.H.M., Winterwerp, J.C., van Prooijen, B.C., 2020. The impact of wind on flow and sediment transport over intertidal flats. *J. Mar. Sci. Eng.* 8 (910).
- Compton, T.J., Holthuijsen, S., Koolhaas, A., Dekinga, A., ten Horn, J., Smith, J., Galama, Y., Brugge, M., van der Wal, D., van der Meer, J. & van der Veer, H.W., 2013. Distinctly variable mudscapes: distribution gradients of intertidal macrofauna across the Dutch Wadden Sea. *Journal of Sea Research*, 82, pp.103-116.
- Dankers, P. en anderen, 2022. Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op habitatype H1130 in het Eems estuarium. RHDHV & Deltares rapport met kenmerk BI1678-WM-RP-220715-0739.
- Duijns, S., Troost K., van Winden E., Rappoldt K., Nienhuis J., Schekkerman H. & E.O. Folmer, 2023. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2022. Sovon-rapport 2022/35.
- Baar, A.,M. Boechat Albernaz, W. van Dijk, Wout & M. Kleinans, M., 2019. Critical dependence of morphodynamic models of fluvial and tidal systems on empirical downslope sediment transport. *Nature Communications*. 10.
- Baar, A.,M.. 2019. Impact of small-scale transverse bed slope effects on large-scale morphology: Experimental and modelling studies. Proefschrift Univesiteit Utrecht.
- De Boer, W. & R. Hasselaar, 2013. Aanslibbing Harlingen Haven; Invloed van de zoetwaterspui op de havenaanslibbing
- De Ronde, J.G., J.P.M. Mulder, L.A. van Duren & T. Ysebaert, 2013. Eindadvies ANT Oosterschelde. Deltaresrapport 1207722-000.
- De Vries, B., P. Dankers & J. Vroom, 2018. Slib in de Waddenzee; Een analyse en verklaring van de langjarige fluctuaties van sedimentconcentraties in water en bodem i.h.k.v. project KRW slib. Rapport RHDHV BG2802WATRP1812170918;
- De Wit, L.M. & D. Mastbergen, 2022, Registratie baggerwerkzaamheden in de Waddenzee. Deltares notitie 11208040-012-ZKS-0001.

- De Wit, L.M., D. Mastbergen & N. Dees, 2023, Expert judgement vergelijking ecologische impact baggermethodes Waddenzee. Deltares notitie 11209267-005-ZKS-0003.
- Dearnaley, M.P., Stevenson, J. and Spearman, J., 1999. Environmental aspects of aggregate dredging – refined source terms for plume dispersion studies. Technical Report. HR Wallingford.
- Dijkema, K.S., H.E. Reineck & W.J., Wolff (Eds), 1980. Geomorphology of the Wadden Sea Area. Rep. 1 of the Wadden Sea Working Group. 135 pp.
- Ecoshape, 2023. Pilot Kleirijperij: van slib tot dijk; WP 5.1 Eindrapportage Kleirijperij – Kennis en ervaring over het omzetten van slib naar klei voor toepassing in bouwprojecten. Rapport.
- ED2050, 2021. Meerjarig adaptief programma Eems-Dollard 2050. De toestand van de natuur, de projecten en het programma in 2020.
- ED2050, 2022. Meerjarig adaptief programma Eems-Dollard 2050. De toestand van de natuur, de projecten en het programma in 2021.
- Eisma, D. 1993. Suspended Matter in the Aquatic Environment, BookSpringer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Eijsackers, H.J.P., B.D.H.K. Eriksson, T. van der Heide, P.M.J. Herman, J. Van der Meer, H. Polet & I. Tulp, 2023. Beoordeling van ecologische effecten van garnalenvisserij op bodem en biota. Wageningen Marine Research & Waddenacademie. Rapport nummer:C056/23; Waddenacademie rapportnummer 2023-01.
- Elias, E. & T. Vermaas. 2020. Evaluatie Pilot Westgat; Een analyse van de stroming en sedimenttransporten in de verdieping. Deltares rapport 11203669-005-ZKS-0002.
- Elias, E., Colina-Alonso, A. & Van Maren, D.S., 2021. Morfologische veranderingen Eems-Dollard en Groninger Wad. Deltares rapport 11203742-000, 146 p.
- Elias, E., Colina-Alonso, A. & Van Maren, D.S., 2021. Morfologische veranderingen EemsDollard en Groninger Wad. Deltares rapport 11203742-000, 146 p.
- Elias, E.P.L. 2019. Een actuele sedimentbalans van de Waddenzee. Deltares rapport 11203683-001-ZKS-0002
- Elias, E.P.L., 2021. Morfologische analyse buitendelta Ameland en de rol van de pilotsuppletie. Deltares rapport 11206794-004-ZKS-0006.
- Elias, E.P.L., Van der Spek, A.J.F., Wang, Z.B., en De Ronde, J., 2012, Morphodynamic development and sediment budget of the Dutch Wadden Sea over the last century. Netherlands Journal of Geosciences, 91(03), 293-310.
- Ens, B. J., A. Dokter, K. Rappoldt & K. Oosterbeek, 2015. Wat bepaalt de draagkracht van de Waddenzee voor wadvogels: onderzoek naar het verspreidingsgedrag van scholeksters. Sovon-rapport 2015/02, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Essink, K., 2005. Bodemfauna en beleid : een overzicht van 35 jaar bodemfauna onderzoek en monitoring in Waddenzee en Noordzee. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee Rapport RIKZ/2005.028.
- Essink, K., 1993 - Ecologische effecten van baggeren en storten van baggerspecie in het Eems-Dollard estuarium en de Waddenzee. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Rapport DGW-93.020.
- Essink, K., 1999 - Ecological effects of dumping of dredged sediments: options for management. Journal of Coastal Conservation 5: 69-79.
- Eysink, W., 1990. Morphologic response of tidal basins to changes. Coastal Engineering Proceedings 1.22, pp. 1948-1961.

- Eysink, W.D., 1979. Morfologie van de Waddenzee; gevolgen van zand- en schelpenwinning, WL|Delft Hydraulics, rapport R1336.
- Eysink, W.D., 1988. Sedimentation in harbour basins. Small density differences may cause serious effects, in: International Harbour Congress 1988. Publication No. 417, Delft Hydraulics. Pp. 1–13
- Eysink, W.D., 1993: Impact of sea-level rise on the morphology of the Wadden Sea within the scope of its ecological function. General considerations on hydraulic conditions, sediment transports, sand balance, bed composition and impact of sea-level rise on tidal flats. Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, ISOS*2 Proj., Phase 4: 35 pp.
- Eysink, W.D., 2003. Extra spuisluis in de Afsluitdijk: Effect op onderhoud havens. WL Delft Hydraulics WL-Rapportnr. H418.
- Folmer, E. O., B. J. Ens & E. M. van der Zee, 2021. Analysis of high tide roost use and benthos availability for twelve shorebird species in the Dutch Wadden Sea. A&W rapport 19-469, Sovon-rapport 2021/52.
- Folmer, E., 2019. Update habitatkaart littoraal zeegras voor de Nederlandse Waddenzee. Rapport.
- Folmer, E., Dekinga, A., Holthuijsen, S., van der Meer, J., Mosk, D., Piersma, T., & H. van der Veer, 2017. Species Distribution Models of Intertidal Benthos. Tools for Assessing the Impact of Physical and Morphological Drivers on Benthos and Birds in the Wadden Sea. NIOZ rapport.
- Gemeente Ameland, Gemeente Noardeast-Fryslân, Provincie Fryslân & Rijkswaterstaat, 2019. Langetermijnoplossingsrichtingen na 2030 bereikbaarheid Ameland.
- Govers, L. & V. Reijers, 2021. Griend, Een bewogen eiland. Boek, Zeist 2021.
- Grasmeijer, B.T. & R. van Weerdenburg, 2020. Evaluatie bochtafsnijding vaarweg Ameland. Deltares rapport 11205229-006-ZKS-0002.
- Grasmeijer, B.T., R. van Weerdenburg & T. van Kessel, 2021. Invloed baggerstrategie op slibconcentraties en baggervolumes vaarweg Holwerd-Ameland. Deltares rapport 11206799-006-ZKS-0001.
- Heidinga, D., B. Schilt, F. Versloot, W. Gotjé, W. Bijkerk & J.B. Latour, 2023. Ecologische evaluatie Natura 2000 beheerplannen Natura 2000-beheerplan Waddenzee. Witteveen + Bos & Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek rapport met referentie 128201/23-014.110.
- Herman, P., J. Vroom, B. Smits, R. Van Weerdenburg, & T. Van Kessel, 2020. Slibdynamiek in de Waddenzee. Update conceptueel model 2020. Deltares-rapport 11205229-002-ZKS-0001;
- Herman, P., van Kessel, T., Vroom, J., Dankers, P., Cleveringa, J., de Vries, B., & Villars, N., 2018. Mud dynamics in the Wadden Sea. Towards a conceptual model. Deltares report 11202177-000-ZKS-0011;
- Herman, P.M.J., N. Villars, H. Winterwerp, T. van Kessel, Z. Wang, C. Briere, L. van Rijn en J. Cleveringa, 2016. Analyse Vaargeul Holwerd-Ameland. Eindrapport. Deltares rapport, kenmerk 1230378-005-ZKS-0001.
- Herman, P.M.J., Middelburg, J.J., Van de Koppel, J. and Heip, C.H.R., 1999. Ecology of estuarine macrobenthos. *Advances in ecological research*, 29(780), pp.195–240.
- Hoekstra, P., K. Philippart & R. Verbree, 2023. Kennisvragen baggeren en verspreiden van sediment in de Waddenzee; Verkenning in het kader van uitvoeringsprogramma UP23 “Ecosysteem-gericht baggeren in de Waddenzee” – Rapport Fase 1. Waddenacademie Rapport 2023-03.

- 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.
- Hutchison, Z.L., V.J. Hendrick, M.T. Burrows, B. Wilson, & K.S. Last, 2016. Buried Alive: The Behavioural Response of the Mussels, *Modiolus modiolus* and *Mytilus edulis* to Sudden Burial by Sediment. *PLoS ONE*, vol. 11, no. 3.
- Iwens & Marušić, 2007. The ELBE River – a lifeline for Northern Germany. Presentation CEDA dredging day 7 nov. 2007.
- Jacobs, P., J. Kromkamp, S. Van Leeuwen, and C. Philippart. 2020. Planktonic primary production in the western Dutch Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series* 639:53-71.
- Janssen, S, M. Taal, J. Cleveringa, E. Lofvers, H. Mulder, A.P. Oost, Z.B. Wang, 2017. Naar een langjarig onderzoeksprogramma morfologie Waddenzee; Resultaten 2016. Deltares rapport kenmerk 230032-000-ZKS-0004.
- Janssen-Stelder, B. 2000. A system analysis of salt marsh development along the mainland coast of the Dutch Wadden Sea. Proefschrift Universiteit Utrecht.
- Jeuken, M. C. J. L., 2000. On the morphological behaviour of tidal channels in the Westerschelde estuary. Ph.D. thesis, University of Utrecht, The Netherlands, Also published as *Proc. Royal Geographical Society* nr. 279.
- Jonker S. & B. Koolstra, 2011. Nadere Effectenanalyse Natura 2000-gebieden Waddenzee en Noordzeekustzone; Beheerplankader voor baggeren. Apeldoorn.
- Kater. B.J., J. Cleveringa., L. Perk. & M. Poortinga. 2008. Haalbaarheidstudie vaarweg Ameland; Fase 1: selectie van kansrijke alternatieven. Alkyonrapport met kenmerk A2066R1r3.
- Kirichek, A., Chassagne, C., Winterwerp, H. & Vellinga, T., 2018. How navigable are fluid mud layers. *Terra et Aqua*, 151(Summer), pp.6-18.
- Kirichek A., Rutgers R., 2020. Monitoring of settling and consolidation of mud after water injection dredging in the Calandkanaal. *Terra et Aqua*. 2020; 160:16-26
- Kirichek, A., Cronin, K., de Wit, L., & van Kessel, T., 2021. Advances in Maintenance of Ports and Waterways: Water Injection Dredging. In A. Maning (Ed.), *Sediment Transport – Recent Advances* p. 1-20.
- Kleefstra, R. & C. Smit, C. Kraan, G. Aarts, G., J. Dijk & L. Jong, 2011. Het toegenomen belang van de nederlandse Waddenzee voor ruiende Bergeenden. *Limosa*. 84. 145-154.
- Klooster, J., 2022. Verbetering Landbouwgronden door Ophoging met slib uit de Eems-Dollard (Vloed), Scenario 1 – Oosternhorn-Zuid (Maatschappelijke kosten-batenanalyse. Arcadis rapport
- Koenders, L., 2023. Slibtoepassingen; Life IP Deltanatuur. Arcadisrapport.
- Kragtwijk, N.G., Zitman, T.J., Stive, M.J.F. & Wang, Z.B., 2004. Morphological response of tidal basins to human interventions. *Coastal Engineering* 51: 207-221.
- Kuijper, K. and A. G. Brinkman (2015). Antropogene bodemberoering. *Verkenning Slibhuishouding Waddenzee*, Deltares. 1220102-000.
- Leuven, J.R.F.W., Kleinhans, M.G., Weisscher, S.A.H. & van der Vegt, M. 2016. Tidal sand bar dimensions and shapes in estuaries. *Earth-Science Reviews*, 161, 204-223.
- Lenstra, K., 2020. Cyclic channel-shoal dynamics of ebb-tidal deltas. Proefschrift Universeit Utrecht.
- 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.

- Louters, T. & Gerritsen, F., 1994. Het mysterie van de wadden: Hoe een getijde-systeem inspeelt op de zeespiegelstijging, Rijkswaterstaat RIKZ rapport met kenmerk RIKZ-94.040.
- Marsh, J., I. Labrador & A. Parry, 2012. Water Injection Dredging Tracer Study Cork. Environmental Impact and Sediment Transport Study Utilizing Fluorescent Particle Tracers. Final report Version 1.0.ETS Worldwide Ltd, Helensburgh.
- McAnally, W.H., C. Friedrichs, D. Hamilton, E. Hayter, P. Shrestha, H. Rodriguez, A. Sheremet, A. Teeter, & ASCE Task Committee on Management of Fluid Mud, 2007. Management of Fluid Mud in Estuaries, Bays, and Lakes. I: Present State of Understanding on Character and Behavior. Journal of Hydraulic Engineering, v. 133.
- Meijer, K.J., Franken, O., van der Heide, T., Holthuijsen, S.J., Visser, W., Govers, L.L. and Olf, H., 2023. Characterizing bedforms in shallow seas as an integrative predictor of seafloor stability and the occurrence of macrozoobenthic species. Remote Sensing in Ecology and Conservation, 9(3), pp.323-339.
- Ministerie van Economische Zaken, 2006. Gaswinning binnen randvoorwaarden: Passende beoordeling van het rijksprojectbesluit over de aardgaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen.
- Ministerie van Economische Zaken, 2016. Besluit NB-wet vergunning baggeren en verspreiden in de Waddenzee (kenmerk DGAN-NB / 16113004);
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012 Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016. Natura 2000-beheerplan Waddenzee Periode 2016-2022 (met kaartbijlage).
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022. Nationaal Water Programma 2022-2027
- Ministerie van LNV, 2014. Natura 2000 profieldocument Permanent overstromde zandbanken (H1110). Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag;
- Ministerie van LNV, 2016. Natura 2000 profieldocument Estuaria (H1130). Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag;
- Ministerie van VROM, 2007a. Deel 4 van de planologische kernbeslissing Derde Nota Waddenzee, tekst na parlementaire instemming (SVW, ook wel PKB Waddenzee)
- Ministerie van VROM, 2007b. Nota van toelichting bij deel 4 van de planologische kernbeslissing Derde Nota Waddenzee (bij de SVW, ook wel PKB Waddenzee).
- Morselt, T.T., 2016. Meerkosten zandwinning als gevolg van kabeltracés TenneT. Blueconomy rapport projectnummer P16005.
- Morselt, T.T., J. Brakel & M. van Zanten, 2010. Financiële uitwerking zandwinstrategie, Blueconomy rapport P10009.
- Mulder, H.P.J., 1999 – Integrale analyse van een stortlocatie nabij Kornwerderzand. Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ. Rapport RIKZ99.033.
- Mulder, H.P.J. & M.C. Rommel, 2004. Effecten van rainbowen in vergelijking met andere baggermethoden in de Waddenzee. Een verkenning. Rijkswaterstaat RIKZ werkdocument IKZ/AB/2004.613W.
- Mulder, H.P.J., 2005. Optimalisatie baggerstortlocaties in de Waddenzee, Rijksinstituut voor Kust en Zee.
- Mulder, H.P.J., E. Nuijen, G.A. Liek, D.C. van Maldegem, 2005. Drempelverwijdering vaarweg Harlingen-Noordzee; Baggerwerk en morfologische en ecologische gevolgen. Rijkswaterstaat RIKZ Rapport RIKZ/2005.026.
- Mulder, H.P.J. 2021. Prognose baggervolumes voor RWS in de Waddenzee vanaf 2021. Notitie Rijkswaterstaat WVL 25 maart 2021.

- Omgevingsberaad Waddengebied en Bestuurlijk overleg Waddengebied, 2023. Uitvoeringsprogramma waddengebied 2021-2026 – Agenda voor het Waddengebied 2050 –; Koersen naar een veilig, vitaal en veerkrachtig Waddengebied in 2050.
- Oost, A., Colina Alonso, A., Esselink, P., Wang, Z.B., van Kessel, T. & van Maren, B., 2020. Where mud matters. Towards a Mud Balance for the Trilateral Wadden Sea Area: Mud supply, transport and deposition. ISBN 978-94-90289-57-7.
- Oost, A.P. & P.L. de Boer, 1994. Sedimentology and development of barrier islands, ebbtidal deltas, inlets and back barrier areas of the Dutch Wadden Sea, *Senckenbergiana Maritima*, vol. 24, pag. 65-115 (ook als hoofdstuk in Oost, 1995). de vries
- Oost, A.P., B.J. Ens, A.G. Brinkman, K.S. Dijkema, W.D. Eysink, J.J. Beukema, H.J. Gussinklo, B.M.J. Verboom & J.J. Verburgh, 1998. Integrale bodemdalingstudie Waddenzee, Nederlandse Aardolie Maatschappij, rapport.
- Ouwerkerk, S. en Vuik, V., 2012. Drempelverwijdering Boontjes. Effecten op hydrodynamica en morfologie. HKV rapport PR2051.10, maart 2012.
- Pree, E., A.S. Kers, R. Jentink & M.J. Baptist, 2023. Toelichting op de zoute ecotopenkaart Waddenzee – kombergingsgebied Eems Dollard 2020. Rijkswaterstaat Centrale Informatievoorziening, rapport.
- Pearson, S.G., 2022. Sediment Pathways on Ebb-Tidal Deltas: New Tools and Techniques for Analysis. Proefschrift Technische Universiteit Delft.
- Philippart, K., K. Bastmeijer, P. Hoekstra & Marleen van Rijswijk, 2022. Kwaliteit van het oppervlaktewater in het Waddengebied. Waddenacademie Factsheet 2022-03.\
- Philippart, C.J., Beukema, J.J., Cadée, G.C., Dekker, R., Goedhart, P.W., van Iperen, J.M., Leopold, M.F. & Herman, P.M., 2007. Impacts of nutrient reduction on coastal communities. *Ecosystems*, 10, pp.96-119.
- PIANC, 2013. Injection Dredging, Report 120, PIANC, Brussels, 2013.
- Postma, H., 1961. Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, V. 1, 1-2, p.148-190.
- Programma Eems-Dollard 2050, 2021. Programma Eems-Dollard 2050; Programmaplan 2021-2026.
- Rappoldt C., O.R. Roosenschoon, D.W.G. van Kraalingen, 2023. InterTides ; maps of the intertidal by interpolation of tidal gauge data. EcoCurves rapport 19, ISSN 1872-5449, EcoCurves BV, Haren. Updated document, April 2023.
- Reijngoud, T. T., Bosboom, J., Dankers, N., Leopold, M. F., Van der Meulen, M. J., Van Moorsel, G., Mulder, H. P. J., Perdon, J., Van der Spek, A. J. F., Stive, M. F. J., De Vries, S., & Zant, F. M., 2001. Eindrapport Vervolgonderzoek Schelpenwinning.
- RHDHV, 2021. Natuurtoets en Passende beoordeling Baggeren Oosterscheldekeringshavens en verspreiden baggerspecie; Toetsing aan de wet natuurbescherming. RHDHV rapport kenmerk BG6198WATRP2105271627.
- Ridderinkhof, W., 2016. Morphodynamics of ebb-tidal deltas. Proefschrift Universteit Utrecht.
- Rijkswaterstaat, 2005. Vaargeulonderhoud, zandwinning & kustlijnzorg; Risico's en perspectieven voor Rijkswaterstaat. Rijkswaterstaat DWW & RIKZ Rapportnummer DWW-2005-050 & Rapportnummer RIKZ-2005-025.
- Rijkswaterstaat, 2008. Scheepvaartinformatie Hoofdvaarwegen – Editie 2009.
- Rijkswaterstaat, 2013. Verruiming Vaarweg Eemshaven-Noordzee; Samenvatting Milieueffectrapport.
- Rijkswaterstaat, 2015. Passende Beoordeling Afsluitdijk.

- Rijkswaterstaat, 2019. Morfologische uitgangspunten Vaarweg Ameland; Achtergronddocument bij de lange termijn oplossingsrichtingen bereikbaarheid Ameland 2030.
- Rijkswaterstaat, 2020. Richtlijnen Vaarwegen 2020.
- Brils, F. & A. Posthuma, 2023. Jaarrapportage Baggerwerkzaamheden Waddenzee 2022. Rijkswaterstaat Noord Nederland, district West, verslag.
- Schmitz, D. & M. Wuczkowski, 2023. Hafent+; Sustainability Report 2023. Niedersachsen Ports.
- Schultze M. & G. Nehls, 2017. Wadden Sea Quality Status Report; Extraction and dredging. Eds.: Kloepper S. et al., Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany. Last updated 21.12.2017. Downloaded 31 okt. 2023. [Qsr.waddenseaworldheritage.org/reports/extraction-and-dredging](https://qsr.waddenseaworldheritage.org/reports/extraction-and-dredging).
- Smits, B., Jaksic, L., Dijkstra, J., Franken, O. & Rehlmeier, K., 2023. Modelleren van abiotiek voor en na afsluiting Zuiderzee: relevantie voor herstelkansen ondergedoken Groot zee gras. Deltares rapport, kenmerk: 11209267-006-ZKS-0001.
- Smits, B., J. Vroom, R. van Weerdenburg & A. Colina Alonso, 2022a. Morfologie en Onderhoud Vaargeul Boontjes; Systeembegrip en scenario's. Deltares rapport met kenmerk 11208040-004-ZKS-0004.
- Smits, B., T. van Kessel, F. van Rees, D. van Keulen & P. Herman, 2022b. Verkenning invloed slibonttrekking Waddenzee op slibdynamiek en ecologie, Deltares rapport met kenmerk 11208040-010-ZKS-0001.
- Smits, B.P., Vroom, J., Van Weerdenburg, R., Cleveringa, J., Dankers, P., 2020. Analyse fysische processen Waddenzee. Inzet numeriek model voor analyse systeemwerking en gevoeligheidsscenario's. Deltares rapport 11205229-002-ZKS-0003
- Spearman, J., De Heer, A., Aarninkhof, S. & Van Koningsveld, M., 2011. Validation of the TASS system for predicting the environmental effects of trailing suction hopper dredgers. *Terra et Aqua* 14 (125), 14-22
- Stellema, J.-T., 2023. Ecologisch werkprotocol – PMP deelplan E, Notitie Combinatie Van der Kamp & De Boer, revisie 4.3.
- Stolte, W., Vroom, J., Santinelli, G., Veenstra, J., Van Oeveren, C., Van Zelst, V. and Dijkstra, J., 2023. Digitale Systeemrapportage van de Waddenzee, versie 1.0. <https://systeemrapportage.nl/wadden/>.
- STOWA, 2014. DeltaFact: The beneficial re-use of dredged material.
- Terwisscha van Scheltinga, R., 2012. Analysis of recent morphological changes in the tidal inlet system Vlie, The Netherlands. MSc onderzoekstage bij Rijkswaterstaat Noord-Nederland, Utrecht University, Faculty of Geosciences.
- Troost, K., J. van der Meer & M. van Stralen, 2022. The longevity of subtidal mussel beds in the Dutch Wadden Sea. *Journal of Sea Research*, Volume 181.
- Van Beusekom, J. E. E., J. Carstensen, T. Dolch, A. Grage, R. Hofmeister, H. Lenhart, O. Kerimoglu, K. Kolbe, J. Patsch, J. Rick, L. Ronn & H. Ruiters, 2019. "Wadden Sea Eutrophication: Long-Term Trends and Regional Differences." *Frontiers in Marine Science* 6.
- Van den Berg J.H., Van Gelder A. & Mastbergen D.R., 2002. The importance of breaching as a mechanism of subaqueous slope failure in fine sand. *Sedimentology* 49(1): 81-95.
- van der Molen, J., Groeskamp, S., L. R. M Maas, 2022. Imminent reversal of the residual flow through the Marsdiep tidal inlet into the Dutch Wadden Sea based on multiyear ferry-borne acoustic Doppler current profiler (ADCP) observations, *Ocean Sci.*, 18, 1805-1816.

- Van der Spek, A.J.F., 1996. Holocene depositional sequences in the Dutch Wadden Sea south of the island of Ameland. Mededelingen Rijks Geologische Dienst. 57. 41-68.
- Van der Spek, A.J.,F. (red.), 2018. Sea-level rise, subsidence and morphodynamics in the Dutch Wadden Sea; 2030, 2050, 2100, Issues Netherlands Journal of Geosciences. Vol. 97, no.3.
- Van der Vegt, H. & J. Cleveringa. 2022. Dynamische Vaargeulbeheer Waddenzee. Deltares rapport met kenmerk 11208040-009-ZKS-0003.
- Van der Wal, D., A. Wielemaker-van den Dool & P.M.J. Herman, 2010. Spatial synchrony in intertidal benthic algal biomass in temperate coastal and estuarine ecosystems. *Ecosystems* 13: 338-351.
- Van der Werf, J., Reinders, J., van Rooijen, A., Holzhauer, H. & T. Ysebaert, 2015. Evaluation of a tidal flat sediment nourishment as estuarine management measure. *Ocean & Coastal Management*. 114. 10.1016/j.ocecoaman.2015.06.006.
- Van Dijk, W., D. Mastbergen, G. van den Ham, J. Leuven & M. Kleinmans, 2018. Location and probability of shoal margin collapses in a sandy estuary: shoal margin collapses in a sandy estuary. *Earth Surface Processes and Landforms*. 43. 10.1002/esp.4395.
- Van Dijk, W. & J. van der Baan, 2021. Slibmodelleerstudie Afsluitdijk; Studie ten behoeve van baggerwerkzaamheden werkgeul Afsluitdijk. Arcadis project nummer C003061.000107.
- Van Duren, L.A, T. van Kessel, A.G. Brinkman, A. de Kluijver, F. Fey, & C.A. Schmidt, 2015. Verkenning slibhuishouding Waddenzee. Een samenvatting van 2 jaar modelleren en kennis verwerven. Deltares, Delft / Images, Den Burg.
- Van Eekelen, E.M.M., J.J.J. van Wiechen & M. van Koningsveld, 2015. Practical use of dredge plume source terms. Conference proceedings CEDA Dredging Days 2015.
- Van Emgelen, T., 2022. Ontwerpnota baggerbezwaar en mogelijke veerroutes; Project Verkenning Bereikbaarheid Ameland 2030. Witteveen + Bos Notitie met kenmerk 126248/22-007.541.
- Van Geer, P.F.C., 2007. Long-term morphological evolution of the Western Dutch Wadden Sea. WL| Delft Hydraulics rapport Z4169.00
- Van Goor, M.A., T.J. Zitman, Z.B. Wang & M.J.F. Stive, 2003. Impact of sea-level rise on the morphological equilibrium state of tidal inlets, *Marine Geology*, v. 202 p. 211-227.
- Van Kessel, T. 2015. Opzet en toepassing slibmodel Waddenzee. Eindrapportage. 1220102-000-0010 Deltares, Delft;
- 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., R. Schrijvershof, B. Smits, K. Cronin & M. van der Wegen, 2017. Hydromorfologische verbetering ED2050 Eerste beoordeling maatregelrichtingen Deltares rapport 11200116-000-ZKS-0004.
- Van Maren, D., Schrijvershof, R. & Vroom, J., 2019. Hydromorfologische verbetering ED2050; Optimalisatie morfologisch model. Deltares rapport 11202245-000-ZKS-0003.
- Van Rijn, L.C, 2019. Turbidity due to dredging and dumping of sediments. Note.
- Van Straaten, L.M.J.U. 1954. Composition and structure of recent marine sediments in the Netherlands. *Leidse Geologische Mededelingen*, 19(1), 1-108.
- Van Til, S. & J. Cleveringa, 2018. Morfologische dynamiek Schuitengat; Analyse t.b.v. de scheepvaartfunctie. Arcadis rapport met kenmerk 079739076

- Van Til, S., 2018. Getijdemeanders in kombergingsgebied Borndiep. Arcadis rapport.
- Van Veen, J., 1950. b band flood channel systems in the Netherlands tidal waters, Tijdschrift Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap 67, 303 (1950).
- Verhoogt, H. M. Schaafsma, F. van der Ziel, A. van Mastrigt, M. J. Baptist, A.D. Rippen, B. Griffioen, B.T. Grasmeyer. 2014. Verkenning zoet-zout natuur en spuilocatie nabij Pier van Oterdum; Planstudie nieuwe spuilocatie en zoet-zout natuur. EcoShape rapport. Kenmerk BC8760-102-100/R/904358/Nijm.
- Vroom, J. R. van Weerdenburg, B. Smits & P. Herman. 2020. Modelleringslibdynamiek voor de Waddenzee. Kalibratie voor KRW lib. Deltares-rapport 11205229-001-ZKS-0001;
- Vroom, J., B. van Maren, J. Marsh & A.C. van der Leij. 2017. Effectiveness of the mud motor near Koehool; Results and interpretation of a tracer study. Deltares rapport 1209751-004-ZKS-0001.
- Wang, Z.B. & A.J.F. van der Spek, 2021. Meegroeivermogen en kritische zeespiegelstijgingsnelheid voor verdrinking in de Nederlandse Waddenzee. Deltaresrapport 11206346-002-BGS-0002.
- Wang, Z.B. & K. Nederhoff, 2018. Witboek: Het sedimentdelende systeem van de Nederlandse Waddenzee. Deltares rapport 11202177 -000-ZKS-0009
- 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.
- Werkgroep 1; Stuurgroep hydrografisch-sedimentologisch en biologisch ecologisch onderzoek met betrekking tot de winning van zand in de Waddenzee, 1981. Zandwinning in de Waddenzee; Resultaten van een hydrografisch-sedimentologisch en biologisch-ecologisch onderzoek. Rapport.
- Winterwerp, J.C., 2002. Near-field behaviour of dredging spill in shallow water, p. 96-98. Tech. Note Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, March/April.
- Witbaard, R., G.C.A. Duineveld, M.J.N. Bergman, H.IJ. Witte, L. Groot & M.J C. Rozemeijer, 2015. The growth and dynamics of *Ensis directus* in the near-shore Dutch coastal zone of the North Sea. Journal of Sea Research, vol. 95, pp. 95-105.
- Witteveen + Bos, 2021. Versterking Afsluitdijk Passende Beoordeling aanleg en gebruik. Rapport met kenmerk 125154/22-007.037.
- Witteveen + Bos, 2022a. 3-jaarlijkse tussenevaluatie verspreidingslocaties Waddenzee (2017-2019), Evaluatie van bagger- en verspreidingslocaties op aspecten uit het voorwaardenkader en voorstel tot optimalisatie van ligging en -gebruik van verspreidingslocaties. Rapport met referentie 127568/22-011.340.
- Witteveen + Bos, 2022b. Systemanalyse morfologie inclusief verwachte ontwikkelingen tot 2100; Vervolgonderzoek bereikbaarheid Ameland 2030. Rapport met kenmerk 126248/22-007.365.
- Witteveen + Bos, 2023a. Vervolgopdracht tussentijdse evaluatie verspreidingslocaties Waddenzee; Notitie 3: Scope uit te voeren ecologisch onderzoek. Rapport met referentie 134143/23-008.708
- Witteveen + Bos, 2023b. Vervolgopdracht tussentijdse evaluatie verspreidingslocaties Waddenzee; Notitie spoor 1: Toepassen voorwaardenkader baggeren Natura 2000-beheerplan periode 2016-2022. Rapport met referentie 134143/23-005.426

Bijlagen

Inhoudsopgave

Bijlage A	Baggervolumes Waddenzee 2018- 2022	128
Bijlage B	Kaarten van de verspreidingslocatie in de Waddenzee en de Eems-Dollard	131
Bijlage C	Voorwaarden baggerwerken Natura 2000-beheerplanWaddenzee	136
Bijlage D	Kennisvragen die niet zijn beantwoord	138

Bijlage A

Baggervolumes Waddenzee 2018- 2022

In de Jaarrapportage Baggerwerkzaamheden Waddenzee 2022 (Brils & Posthuma, 2023) zijn de baggervolumes vastgelegd zoals die zijn verzameld door de verschillende beheerders die baggeren en verspreiden in de Waddenzee. De waarde die is opgenomen bij “verwachting beheerplan”, is de waarde zoals die is opgenomen in het beheerplan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Voor de totstandkoming van die waarde wordt verwezen naar de Passende beoordeling (Arcadis, 2016). Voor de toegankelijkheid zijn de tabellen per kombergingsgebied hieronder opgenomen.

Kombergingsgebieden:

- Marsdiep Tabel 9-1
- Eierlandse gat Hier wordt niet gebaggerd
- Vlie Tabel 9-2
- Borndiep Tabel 9-3
- Friesche zeegat Tabel 9-4
- Groningerwad Hier is incidenteel het geultje naar Noordpolderzijl gebaggerd, valt niet onder beheerplan
- Eems: Tabel 9-5

Tabel 9-1 Baggervolumes per baggerlocatie van 2018 t/m 2022 in m³ in de beun in kombergingsgebied Marsdiep (overgenomen uit Brils & Posthuma, 2023).

Locatie	2018	2019	2020	2021	2022	Verwachting beheerplan
Rijkswaterstaat						
Veerhaven Den Helder	315	-	-	374	-	1.000
Veerhaven Texel	9.397	14.737	-	6.929	-	6.000
Visjagersgaatje	43.279	40.501	27.530	28.703	2.631	60.000
Den Oever	75.012	120.381	120.160	10.873	64.526	150.000
Breezanddijk	1.260	-	-	-	-	6.000
Kornwerderzand	153.193	118.296	26.097	985	-	175.000
Boontjes	266.547	363.992	221.541	140.073	306.973	80.000
Totaal RWS	549.003	657.907	395.327	183.651	374.130	478.000
Lokale beheerders						
Gemeentelijke haven OudeSchild	17.046	12.499	39.600	17.206	17.126	55.000
Jachthaven Oude Schild	0	0	0	0	0	10.000
Mokbaai Texel	16.912	42.960	56.160	33.079	16.425	50.000
NIOZ haven	0	7.946	0	0	0	55.000
Gemeentelijke havens Den Helder	92.862	181.738	0	0	0	20.000
Marine Havens Den Helder	843.695	327.840	685.990	610.689	769.235	1.450.000
Totaal niet RWS	970.515	572.983	781.750	660.974	802.786	1.640.000
Totaal Marsdiep	1.519.518	1.230.890	1.177.077	844.625	1.176.916	2.118.000

Locatie	2018	2019	2020	2021	2022	Verwachting beheerplan
Rijkswaterstaat						
Blauwe Slenk	525.117	456.529	417.376	271.722	483.734	400.000
Pannengat	-	-	-	-	1.582	25.000
Pollendam	68.880	80.088	123.995	15.807	67.827	65.000
Slenk	347.982	311.492	172.310	115.947	224.696	320.000
Haven Terschelling	3.370	-	2.075	1.579	2.853	20.000
Veerdam Vlieland	-	-	-	236	-	1.000
Vliesloot	-	-	-	-	-	15.000
Totaal RWS	945.350	848.108	715.756	405.291	780.692	846.000
Lokale beheerders						
Aanloophaven Vlieland	3.581	7.797	5.023	7.255	7.255	9.000
Gemeentehaven Terschelling	-	-	-	-	50.000	60.000
Jachthaven Terschelling	-	-	-	-	-	15.000
Haven van Harlingen	-	1.151.464	1.161.274	1.031.414	1.014.302	1.400.000
Totaal niet-RWS	-	1.159.261	1.166.297	1.038.669	1.021.607	1.504.000
Totaal Vlie	-	2.007.369	1.882.053	1.443.960	1.802.299	2.330.000

Tabel 9-2 Baggervolumes per baggerlocatie van 2018 t/m 2022 in m³ in de beun in kombergingsgebied Vlie (overgenomen uit Brils & Posthuma, 2023).

Locatie	2018	2019	2020	2021	2022	Verwachting beheerplan
Rijkswaterstaat						
Veerdam Holwerd	45.867	38.430	64.097	32.579	21.495	40.000
Holwerd - VA13	1.055.800	1.132.357	1.133.670	945.837	839.425	2.000.000
VA9 - VA13	216.117	244.264	456.208	171.545	335.306	
Reegeul - VA6	325.079	225.800	198.215	223.713	41.593	49.000
Reegeul	18.638	11.400	13.615	24.404	10.090	
Veerdam Nes	25.840	20.290	39.269	29.033	5.470	20.000
Ballumerbocht (loswal en toegangsgedul)	20.410	27.210	24.325	22.495	14.166	25.000
Totaal RWS	1.707.751	1.699.751	1.929.399	1.461.255	1.267.545	2.134.000
Lokale beheerders						
Nes Jachthaven	-	-	-	20.231	12.000	10.000
Ballumerbocht	-	-	-	-	-	1.000
Totaal niet-RWS	-	-	-	20.231	12.000	11.000
Totaal Borndiep	-	-	-	1.481.486	1.394.205	2.141.000

Tabel 9-3 Baggervolumes per baggerlocatie van 2018 t/m 2022 in m³ in de beun in kombergingsgebied Borndiep (overgenomen uit Brils & Posthuma, 2023).

Locatie	2018	2019	2020	2021	2022	Verwachting beheerplan
Rijkswaterstaat						
Veerhaven Lauwersoog	10.040	4.836	2.085	2.788	7.571 (7.571)	9.000
Glinder	117.089	155.975	91.876	86.244	138.803 (102.990)	125.000
Groote Siege	71.181	60.660	52.288	22.869	59.977 (55.875)	65.000
Haven Schiermonnikoog	20.410	4.612	-	8.087	11.894 (9.792)	15.000
Totaal RWS	218.720	226.083	146.249	127.384	218.244 (176.228)	214.000
Lokale beheerders						
Jachthaven Schiermonnikoog	-	-	-	-	-	10.000
Vissershaven Lauwersoog			163.909	144.460	216.528	200.000
Totaal niet-RWS						
Totaal Friesche Zeegat	-	-	310.158	271.844	434.772	424.000

Tabel 9-4 Baggervolumes per baggerlocatie van 2018 t/m 2022 in m³ in de beun in kombergingsgebied Friesche Zeegat (overgenomen uit Brils & Posthuma, 2023).

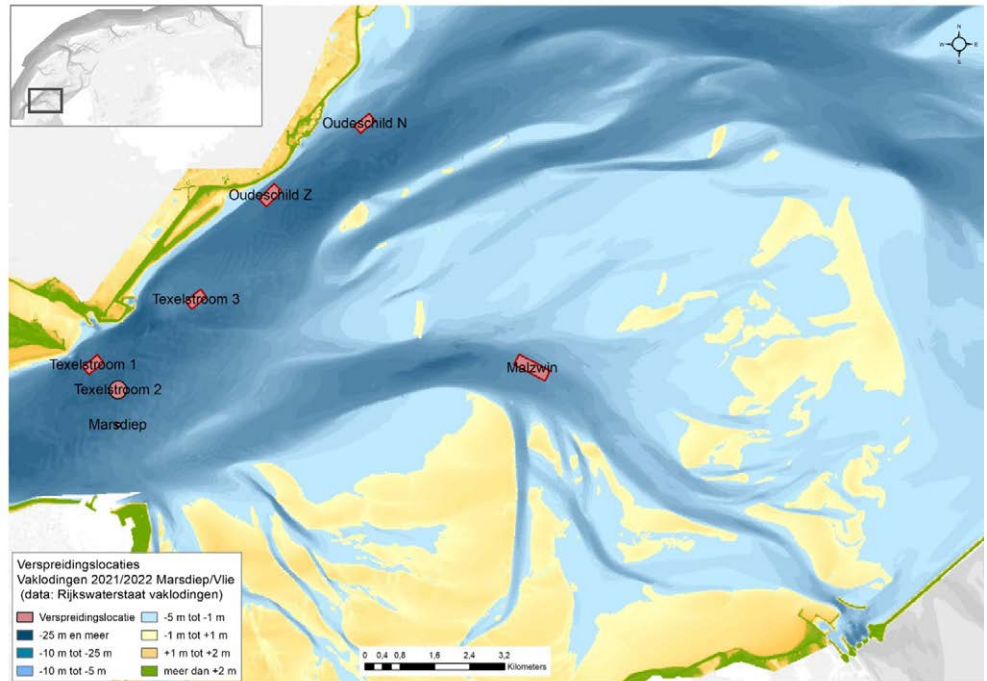
Locatie	2018	2019	2020	2021	2022	Verwachting beheerplan
Rijkswaterstaat						
Westereems (A1-C2)	-	476.846	460.871	313.880	428.491	n.v.t.
Randzelgat (C3-D2)	-	82.708	410.459	452.144	707.802	n.v.t.
Doekegat (E1-F)	-	1.094.846	1.826.283	1.527.853	1.919.247	n.v.t.
Toegangseul Eemshaven (H)	-	681.835	485.708	399.879	345.482	n.v.t.
Totaal RWS	2.351.075	2.336.235	3.183.321	2.693.756	3.401.022	n.v.t.
Lokale beheerders						
Eemshavens	1.504.829	1.635.614	1.598.601	1.635.218	1.611.597	1.500.000
Noordpolderzijl	13.800	5.440	13.400	7.000	5.000	7.000
Termunterzijl	-	6.708	6.637	4.808	6.217	n.v.t.
Nieuwe Statenzijl	-	-	-	-	-	n.v.t.
Totaal niet-RWS	1.518.629	1.647.762 (1.641.054)	1.618.638 (1.612.001)	1.647.026 (1.642.218)	1.622.814 (1.616.597)	n.v.t. (1.507.000)
Totaal Eems-Dollard	3.869.704	3.983.997	4.801.959	4.340.782	5.023.836	n.v.t.

Tabel 9-5 Baggervolumes per baggerlocatie van 2018 t/m 2022 in m³ in de beun in het Eems-estuarium, waarbij alleen de delen zijn opgenomen die door Nederlandse beheerders worden gebaggerd. (overgenomen uit Brils & Posthuma, 2023).

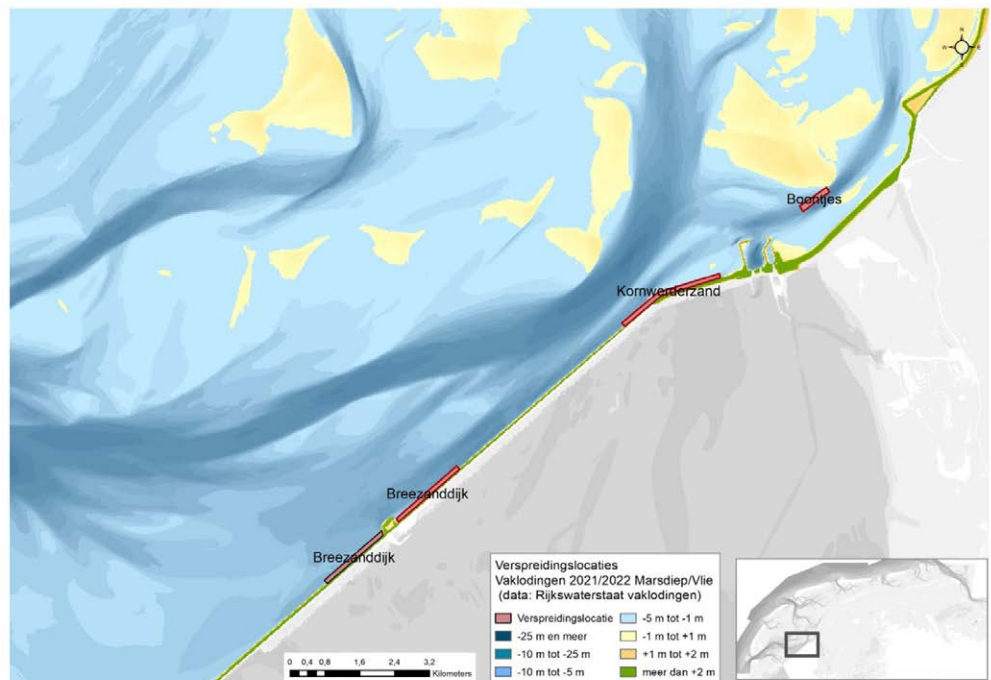
Bijlage B

Kaarten van de verspreidingslocatie in de Waddenzee en de Eems-Dollard

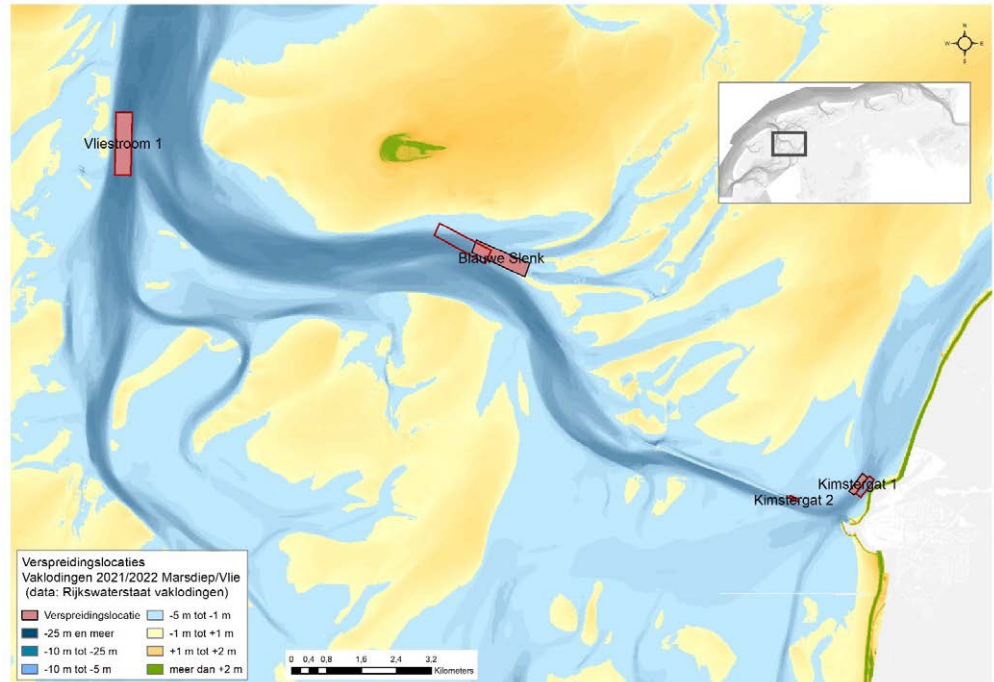
Figuur 9-1 Verspreidingslocaties in het Marsdiep nabij Den Helder.



Figuur 9-2 Verspreidingslocaties in het Marsdiep bij Breezanddijk en Kornwerfzand.



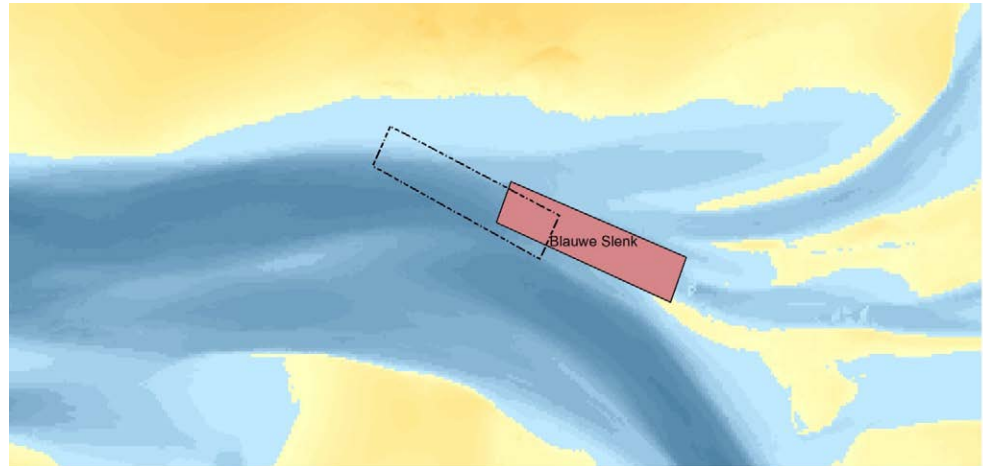
Figuur 9-3 Verspreidingslocaties in het Vlie nabij Harlingen. De locaties Blauwe Slenk en Kimstergat 1 zijn recent aangepast, zie daarvoor Figuur 9-4 en Figuur 9-5.



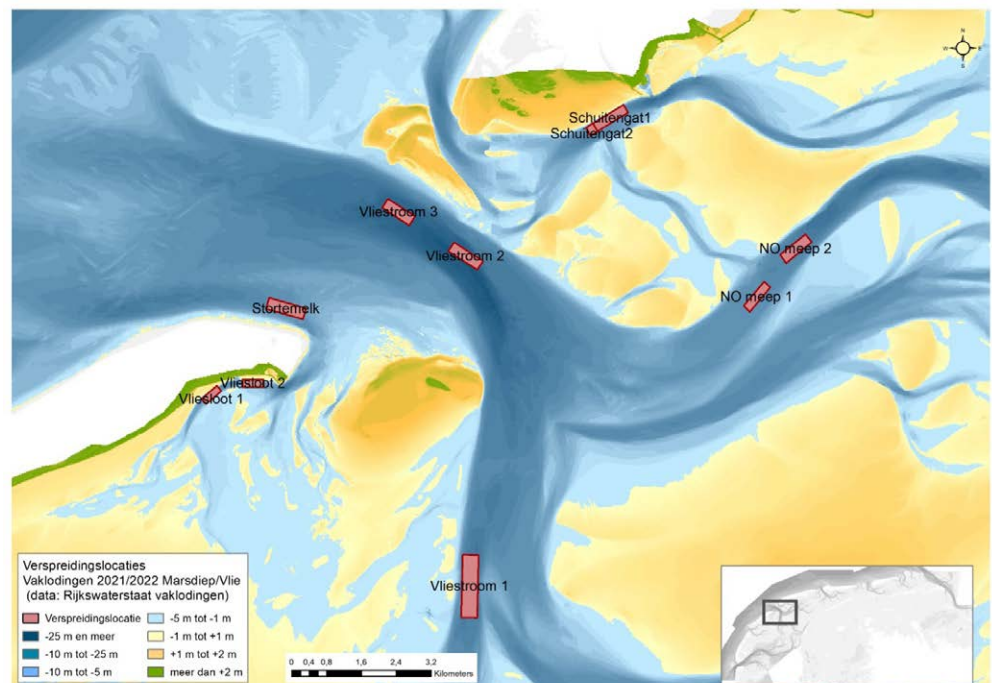
Figuur 9-4 Verspreidingslocaties Kimstergat 1 en 2 in het Vlie. De oorspronkelijke locatie Kimstergat 1 is aangegeven in de rode kleur, de actuele locatie is aangegeven met de zwarte stippellijn



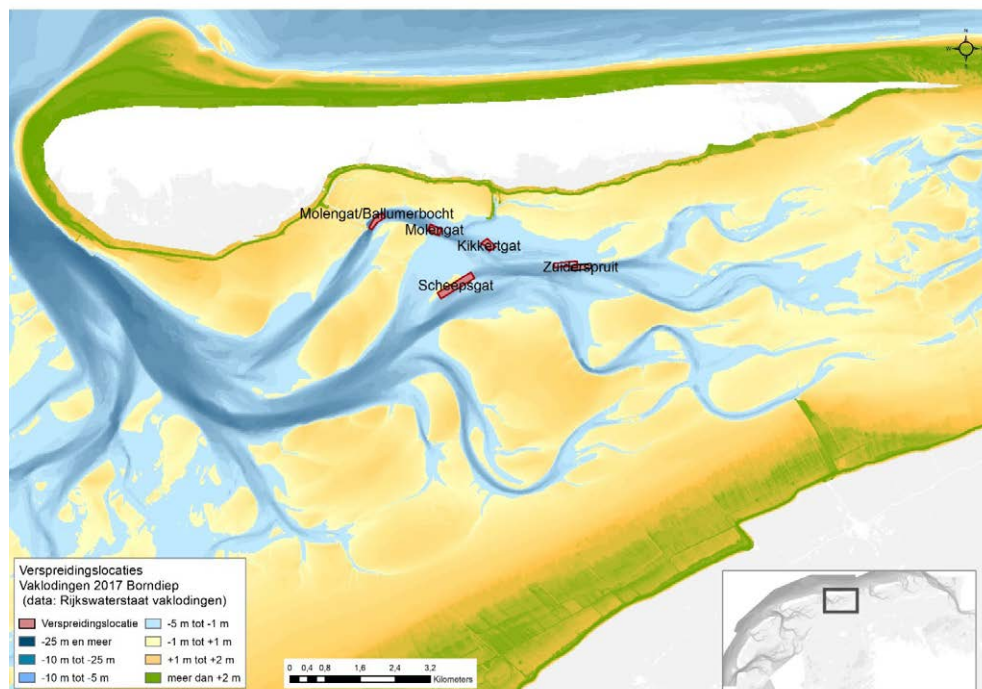
Figuur 9-5 Verspreidingslocaties Blauwe Slenk in het Vlie. De oorspronkelijke locatie Vlie is aangegeven in de rode kleur, de actuele locatie is aangegeven met de zwarte stippellijn



Figuur 9-6 Verspreidingslocaties in het Vlie nabij het zeegat tussen Vlieland en Terschelling.



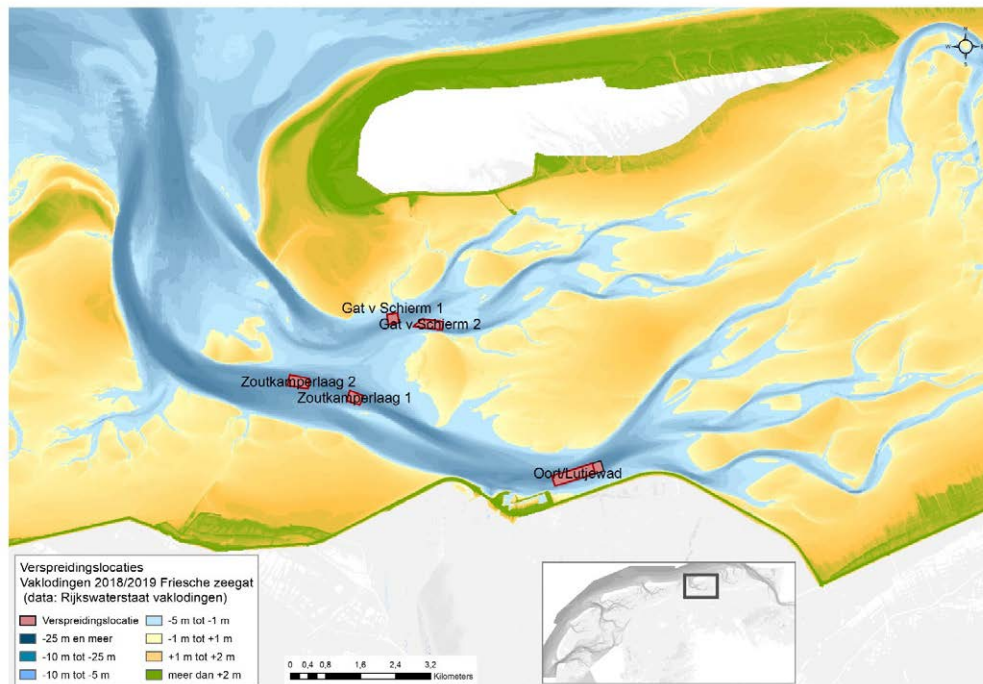
Figuur 9-7 Verspreidingslocaties in het Borndiep. De locatie Zuiderspruit is recent aangepast, zie daarvoor Figuur 9-8.



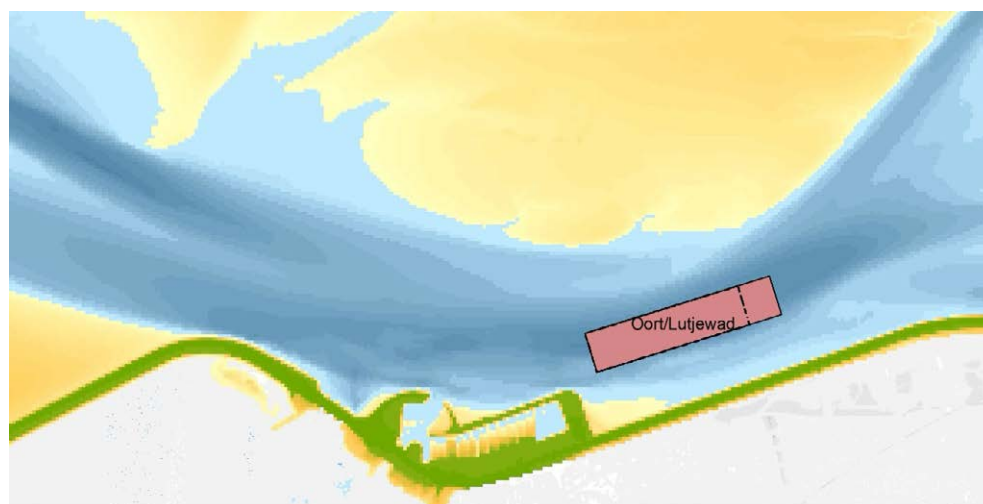
Figuur 9-8 Verspreidingslocaties Zuiderspruit in het Borndiep. De oorspronkelijke locatie Zuiderspruit is aangegeven in de rode kleur, de actuele locatie is aangegeven met de zwarte stippellijn.



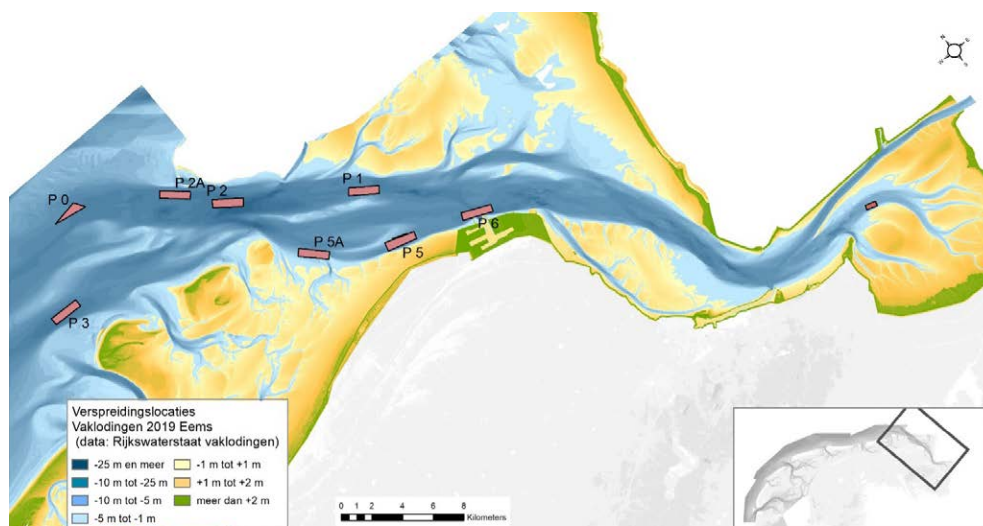
Figuur 9-9 Verspreidingslocaties in het Friesche zeegat. De locatie Oort is recent aangepast, zie daarvoor Figuur -910.



Figuur 9-10 Verspreidingslocatie Oort in het Friesche zeegat, de oorspronkelijke locatie is aangegeven in de rode kleur, de actuele locatie is aangegeven met de zwarte stippellijn.



Figuur 9-11 Verspreidingslocaties in de Eems-Dollard.



Bijlage C

Voorwaarden baggerwerken Natura 2000-beheerplan Waddenzee

B3.3.1 Voorwaarden baggerwerken (onderhoud); subparagraaf 7.3.

Het voorwaardenkader volgt het beleidskader Structuurvisie Derde Nota Waddenzee (voorheen PKB) en de algemene principes Natura 2000. Daarbij is de huidige situatie van baggerwerkzaamheden als uitgangspunt genomen (bestaande en regelmatig terugkerende onderhoudsbaggeractiviteiten), ongeacht of er sprake is van gebruik met of zonder bestaande Nb-wetvergunning. Nieuwe plannen of projecten op het gebied van baggerwerkzaamheden worden niet onder autonome ontwikkeling geschaard en vallen buiten beschouwing van dit voorwaardenkader (zie ook subparagraaf 7.3.3). Voor ontwikkelingen die niet binnen het gestelde voorwaardenkader vallen, blijft het vergunningstraject van toepassing. Het voorwaardenkader wordt in de planperiode herzien als wijzigingen in de technieken of kennis – gericht op beter behalen van de doelen – daartoe aanleiding geven.

De volgende voorwaarden zijn van toepassing:

1. In de Waddenzee mag alleen baggerspecie worden verspreid uit de vaargeulen van de Waddenzee en de rechtstreeks daarmee in verbinding staande havens;
2. Bij verspreiding van baggerspecie die wordt gelost door middel van bodemdeuren of een kraan, moet worden verspreid op de op kaart aangegeven verspreidingslocaties. Dit zijn relatief diepe locaties (geuldelen waar weinig bodemfauna aanwezig is), met relatief hoge stroomsnelheden (voor optimale verspreiding) en waar de speciespreiding niet in conflict komt met ander beheer;
3. Bij verspreiden van de specie zo weinig mogelijk verspreidingslocaties gebruiken om verstoring in ruimtelijke zin te beperken;
4. Bij slibhoudende baggerspecie (vooral in havens) vindt het baggeren en verspreiden bij voorkeur plaats tijdens de winterperiode (in verband met een lagere primaire productie in deze periode). Wanneer het om nautische- of veiligheidsredenen niet mogelijk is om de werkzaamheden in deze periode uit te voeren kan het werk buiten deze periode uitgevoerd worden. Ook wanneer baggeren, indien geconcentreerd in een (winter)periode, zou leiden tot toename van de hoeveelheid baggerspecie kan van bovenstaande regel worden afgeweken;
5. De maximum jaarlijks aan de Waddenzee te onttrekken hoeveelheid zand bij het onderhoudsbaggerwerk is (voorlopig) vastgesteld op 0,5 miljoen m³. Deze voorwaarde wordt gewijzigd vanaf 2018 (zie subparagraaf 7.3.3);
6. Baggerspecie mag niet worden verspreid:
 - a. binnen 1000 meter van gebieden met rijke flora en fauna, waaronder mossel-, oester- en kokkelbanken en mosselpercelen;
 - b. binnen 500 meter van vogelbroedgebieden en hoogwaterrustplaatsen;
 - c. binnen 1500 meter van rust- en zoogplaatsen van zeehonden;
 - d. op locatie P1 in het Randzelgat: in de periode tussen 1 juni en 1 september bij aanwezigheid eiders op nabijgelegen ruilocatie, bij kleinere afstand dan 1200 meter tot rust- en zoogplaatsen van zeehonden, bij kleinere afstand dan 500 meter tot foerageergebied van steltlopers (tenzij er wordt verspreid tijdens hoogwater en de vogels elders verblijven);
 - e. bij voorkeur niet tijdens de kentering;

7. In voorkomende situaties zal in het werkplan op basis van de Flora- en Faunawet opgenomen en uitgewerkt worden, dat buiten de betonde vaargeul zo veel mogelijk afstand wordt gehouden tot groepen ruiende en foeragerende watervogels.
8. Steekzuigen is niet toegestaan in verband met het ontstaan van grote putten in de bodem;
9. Transport naar verspreidingslocaties met een persleiding alsmede ‘rainbowen’ worden nu niet toegepast en zijn niet toegestaan binnen dit kader. Mocht er gezien de bereikbaarheid van de locatie behoefte aan zijn, dan dient de vergunning-procedure gevolgd te worden;
10. Het opwoelen en ‘op stroom zetten’ voor verspreiding van baggerspecie (agiteren, ploegen) binnen of in de omgeving van het werkgebied is toegestaan, maar mag niet leiden tot transport van het opgewoelde sediment naar aangrenzende baggerlocaties;
11. Ten behoeve van afstemming werkzaamheden vindt minstens éénmaal per jaar overleg plaats in het eerste kwartaal tussen Nb-wet bevoegd gezag vergunning-verlening (Ministerie van EZ) en een vertegenwoordiger van de vaarweg- en havenbeheerders;
12. Jaarlijks wordt bekeken of er een tussentijdse aanpassing van de vastgestelde verspreidingslocaties (zie deelkaarten B3.2a tot en met B3.2^c in deze bijlage) nodig en wenselijk is (door middel van een quickscan). Eenmaal per 3 jaar wordt het gebruik van de verspreidingslocaties op alle facetten geëvalueerd en afgestemd op de natuurlijke dynamiek, kwetsbare locaties (schelpdierbanken, foerageergebieden van vogels en rustplaatsen van zeehonden) en voortschrijdend inzicht. Over deze evaluatie en eventuele aanpassing van de verspreidingslocaties vindt afstemming plaats met EZ;
13. Jaarlijks worden de baggeractiviteiten geregistreerd door de beheerders en doorgegeven aan het Ministerie van EZ. Daarbij worden de volgende aspecten geregistreerd:
 - a. hoeveelheid gebaggerd materiaal;
 - b. kwaliteit (voldoen aan eisen Besluit bodemkwaliteit);
 - c. samenstelling van het sediment;
 - d. verspreidingslocatie, -periode en -diepte;
 - e. monitoring effecten verspreidingslocaties (zie punt 11, nader uit te werken);
 - f. motivering baggeren en verspreiden buiten winterperiode.
14. Toezicht zandonttrekking: Alle vaar- en werktuigen betrokken bij het onttrekken van zand moeten zijn voorzien van een registratiesysteem. Daarbij wordt ondermeer de registratie van varen, zuigen/ploegen, storten en stilliggen onderscheiden;
15. Van opgetreden incidenten, waaronder alle gebeurtenissen waarbij schadelijke stoffen vrijkomen dan wel waardoor anderszins schade aan het betrokken beschermde gebied kan worden toegebracht, dient onverwijld melding te worden gedaan aan de Ministeries van EZ en IenM onder overlegging van alle relevante gegevens.

Bijlage D

Kennisvragen die niet zijn beantwoord

Algemeen

- › **4.1-6** *In de Agenda voor het Waddengebied 2050 zijn lange termijn doelen opgenomen voor het Waddengebied. Wat betekenen deze doelen voor de huidige praktijk en toekomstige ontwikkelingen m.b.t. baggerwerkzaamheden?*

In de Agenda voor het Waddengebied 2050 is de thematische opgave Duurzame bereikbaarheid uitgewerkt, waarbij de opgaves en dilemma's zijn opgenomen en strategieën zijn benoemd (Omgevingsberaad Waddengebied en Bestuurlijk overleg Waddengebied, 2023). Hierin is onderkend dat het nodig is om het haven- en vaargeulonderhoud te optimaliseren.

- › **5.1-7** *Hoe staat de bodemberoering door baggeren in verhouding tot het effect van andere menselijke activiteiten in het gebied zoals b.v. de bodemberoerende visserij?*

De intensiteit van de bodemberoering door baggeren, visserij en andere bodemberoerende activiteiten, zoals de aanleg van en het onderhoud aan kabels en leidingen verschilt. De vanuit het voorzorgsprincipe gehanteerde aanname bij effectbepalingen van baggeren is dat het bodemleven geheel afsterft (en ook dat op de verspreidingslocatie bedekking hetzelfde gevolg heeft) en dat is niet het geval bij bodemberoerende visserij. De oppervlaktes waarover de verschillende activiteiten plaatsvinden verschillen duidelijk evenals de dichtheden aan bodemdieren op die locaties. Deze verschillen maken het niet mogelijk om de onderlinge verhouding tussen de verschillende activiteiten vast te stellen.

- › **5.1-22** *Rijkswaterstaat heeft een protocol gemaakt voor ecologisch verantwoord baggeren. Wat is de inhoud van dat protocol en hoe wordt het in de praktijk gehanteerd?*

De baggeraar (Combinatie Van der Kamp & De Boer) die voor Rijkswaterstaat de baggerwerkzaamheden uitvoert, werkt volgens een ecologisch werkprotocol (Stellema, 2023), waarin de voorwaarden uit het beheerplan en algemene afspraken over soortbescherming zijn opgenomen en specifiek zijn gemaakt voor alle verschillende bagger- en verspreidingslocatie waar wordt gewerkt. Hierbij wordt rekening gehouden met de verschillende ecologische waarden (zeehonden, stern, hoogwatervluchtplaatsen en foerageergebieden voor vogels, oester- en mosselbanken en zeegras. Onderdeel van het werkprotocol is de mogelijkheid om een ecologisch deskundige in te schakelen voor situaties waar het protocol niet in voorziet. De baggeraar werkt volgens het protocol bij het uitvoeren van de werkzaamheden en dat betekent onder andere dat voorafgaand aan baggerwerkzaamheden de mitigerende maatregelen worden doorgesproken. De vraag die niet beantwoord kan worden is hoe het protocol in de praktijk wordt gehanteerd.

- › **6.2-1** *Hoe kunnen we keuzes m.b.t. de baggerstrategie uitleggen aan verschillende gebruikers (vb. eilanders, forenzen, dag gasten, toeristen, etc.), specifiek minder ondiepe vaargeul Holwerd – Ameland, en daar begrip en draagvlak voor creëren?*

Voor het uitleggen van gemaakte keuzes en de consequenties daarvan voor de verschillende gebruikers zijn er verschillende strategieën op basis van modellen voor het omgevingsmanagement. Of het uitleggen betekent dat er begrip en draagvlak voor ontstaat heeft ook te maken met de consequenties voor de gebruikers. Het is niet mogelijk om een generiek antwoord te geven op deze vraag.

- › **6.2-2** *Is het wat betreft wet- en regelgeving mogelijk (en wenselijk) om de vaargeulen in de Waddenzee een andere status te geven, vergelijkbaar met die van havens, om overheidskosten te besparen? Toelichting: de overheid steekt nu veel geld in het onderhouden en openhouden van de vaargeulen. In het verleden was het baggeren een economische activiteit, m.a.w. hoe zou de kosten/baten analyse dan uitpakken?*

De vraag of het mogelijk is om de wet- en regelgeving aan te passen kan positief worden beantwoord. De vraag naar de wenselijkheid en de relatie met de kosten en baten is een veel complexere, die in het kader van dit onderzoek niet kan worden beantwoord, ook omdat het een waardeoordeel omvat.

Locatiespecifiek

Westelijke Waddenzee

- › **4.2-1** *Hoe zullen de belangrijke vaargeulen in de Westelijke Waddenzee, in dit geval de routes Harlingen-Terschelling/Vlieland, Harlingen-Noordzee en Den Helder-Texel, zich ontwikkelen onder invloed van de huidige verondieping en hoe zal het beeld veranderen onder invloed van een versnelde zeespiegelstijging? Wat betekent dit voor de bereikbaarheid en de baggerinspanningen?*

In het rapport is een algemene beschouwing opgenomen van de morfologische ontwikkelingen, in §4.4. Specifieke ontwikkelingen van de individuele geulen zijn niet beschikbaar.

Visserjagersgaatje

- › **4.2-2** *Het Visserjagersgaatje is een geul bij Den Oever. Hoe gaat deze geul zich de komende tijd ontwikkelen en wat betekent dit lokaal voor de scheepvaart en daarmee bereikbaarheid?*

Een specifieke analyse van de ontwikkeling van het Visjagersgaatje is opgenomen in Witteveen + Bos (2021).

De Boontjes

- › **3.2-1** *Welke morfologische en nautische criteria worden gebruikt voor het bepalen van de baggerinspanning in de Boontjes?*
- › **3.2-2** *Wat is concreet de opdracht die de aannemer heeft gekregen voor het op breedte en diepte houden van de vaargeul Boontjes? Ofwel: welke contractuele inspanning of resultaat moet worden geleverd door de aannemer? En wat zijn de mogelijke gevolgen in morfologische, ecologische en economische termen van deze opdracht?*

Rond de Boontjes loopt een eigenstandig bestuurlijk proces, onder leiding van de Provincie Friesland en Rijkswaterstaat. Daarvoor zijn al verschillende onderzoeken uitgevoerd: Colina Alonso et al. (2022); Arcadis (2022); Smits (2022). In deze rapporten is een deel van de antwoorden op deze vragen te vinden. Verder zijn de algemene antwoorden van toepassing op de vragen over de nautische criteria, die zijn opgenomen in het voorliggende rapport. Vanwege het lopende proces rond de Boontjes wordt niet nader ingegaan op de criteria zoals die zijn opgenomen in het contract.

Lauwersoog

- › **5.2-3** *Wat is het ecologisch effect van het verspreiden van bagger in het Oord uit de haven van Lauwersoog? Wat is het effect van het verspreiden daar met afgaand tij en oostenwind?*

In het rapport is een algemene beschouwing opgenomen van de morfologische ontwikkelingen en ecologische effecten, in §4.4. Specifieke ontwikkelingen over het transport van slib na het verspreiden onder specifieke condities zijn niet beschikbaar en dat geldt ook voor het beschouwen van de ecologische gevolgen daarvan. Hierbij past de opmerking dat de ook voor andere locaties vragen op dit niveau niet kunnen worden beantwoord met dit detailniveau.

Delfzijl en Harlingen & inzet Airset

- › **5.2-1** *Blijft de baggerspecie langer in suspensie door gebruik te maken van de airset techniek, waarbij het sediment op locatie in suspensie wordt gebracht (zoals toegepast in Delfzijl en Harlingen)?*

De algemene beschrijving van de inzet van lucht bij agitatiebaggeren is beschreven in §3.5. De Airset is een baggerschip waarmee zowel kan worden gebaggerd met water (water-injection dredging), als met toevoeging van lucht. Het is belangrijk om te weten welke techniek is ingezet.

Over Arcadis

Arcadis is de leidende wereldwijd opererende datagedreven duurzame ontwerp, advies en consultancyorganisatie op het gebied van de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij zijn met 36.000 architecten, dataanalisten, ingenieurs, projectplanners, water en duurzaamheidexperts. Onze gedeelde passie is: Improving quality of life. Toewijding aan de strategie 'accelerating a planet positive future' onderschrijft onze wereldwijde samenwerking met klanten en hoe we hen helpen met duurzame projectkeuzes. We combineren digitale met mensgerichte innovaties en omarmen toekomstgerichte vaardigheden op het gebied van milieu, energie, water, gebouwen, transport en infrastructuur. We werken vanuit meer dan dertig landen en rapporteerden in 2023 een bruto omzet van 5 miljard euro.

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 137
8000 AC Zwolle
Nederland

T +31 (0)88 4261 261
www.arcadis.com