

RAPPORT

Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op habitattype H1130 in het Eems estuarium



RAPPORT

Samenvatting effecten baggeren en verspreiden

Samenvatting behorend bij:
Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op
habitattype H1130 in het Eems estuarium

- Deel 1: Abiotische effecten
- Deel 2: Biotische effecten

Klant: RWS

Referentie: BI1678-WM-RP-220715-0739

Status: Definitief/1.0

Datum: 15 juli 2022

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB Nijmegen
Water & Maritime
Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Samenvatting effecten baggeren en verspreiden

Sub titel: Samenvatting behorend bij: Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op
habitattypen H1130 in het Eems estuarium- Deel 1: Abiotische effecten - Deel 2:
Biotische effecten

Referentie: BI1678-WM-RP-220715-0739

Status: 1.0/Definitief

Datum: Friday, 15 July 2022

Projectnaam: studie

Projectnummer: BI1678

Auteur(s): Petra Dankers

Opgesteld door: Petra Dankers

Gecontroleerd door: Saskia Mulder, Bas van Maren

Datum: 15 juli 2022

Classificatie

Projectgerelateerd

Samenvatting

Deze samenvatting betreft een overkoepelende samenvatting van de volgende twee documenten:

- Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op habitatype H1130 in het Eems estuarium: Deel I Abiotische effecten. Deltares rapport 11206835-000-ZKS-0005, Vroom, J., De Vries, B., Dankers, P., Van Maren, B. 2022
- Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op habitatype H1130 in het Eems estuarium: Deel 2 Biotische effecten. RHDHV rapport BI1678-WM-RP-220715-0739. Sierdsma, F, Mulder, S., Dankers, P.

Beide rapporten zijn sterk aan elkaar gelinkt en horen in combinatie te worden beschouwd.

Doel van de rapporten

In 2020 is gestart met het opstellen van een Supplement Natura 2000-beheerplan Eems-Dollard. Het supplement omvat de uitwerking van de Habitatrichtlijn in het gebied. Voor de Waddenzee bestond al een beheerplan; een document dat de ecologische staat van instandhouding beschrijft en aangeeft wat er gedaan kan worden om de instandhoudingsdoelen te behalen. Het Supplement Eems-Dollard zal daaraan worden toegevoegd. Onderliggend document is een aanvulling op de Nadere Effect Analyse (NEA) ten behoeve van het Supplement beheerplan Eems-Dollard. Een NEA beschrijft het huidige gebruik van (in dit geval) de Eems-Dollard, en wat de effecten zijn van dit huidige gebruik op het behalen van de instandhoudingsdoelstellingen. Tijdens het opstellen van de NEA voor de Eems-Dollard is gebleken dat er onvoldoende zicht is op de cumulatieve effecten van de bagger- en verspreidingsactiviteiten en welke impact deze activiteiten hebben op de beschermde omgeving, met name het door Nederland in de Eems-Dollard aangewezen Natura 2000 habitatype H1130 Estuaria. Om meer inzicht te krijgen in deze effecten zijn de twee bovengenoemde documenten opgesteld.

De twee documenten hebben als doel meer inzicht te geven in de cumulatieve effecten van de bagger- en verspreidingsactiviteiten. Het betreft hierbij zowel de baggeractiviteiten t.a.v. de grootschalige ingrepen in de afgelopen decennia (vaargeulverruiming en verdiepingen) als de bagger- en verspreidingsactiviteiten t.b.v. het huidige vaargeulonderhoud. Er is gekeken naar de activiteiten op Nederlands en op Duits grondgebied en de effecten hiervan op het abiotische en biotische systeem in het algemeen en meer specifiek op het doelbereik van de instandhoudingsdoelstellingen van habitatype H1130 (estuaria). Deelrapport I gaat in op de abiotische effecten, zoals veranderingen in dynamiek en veranderingen in sedimentconcentraties. Deelrapport II gaat in op de biotische effecten, enerzijds t.g.v. de veranderingen die worden beschreven in deelrapport I maar anderzijds ook de gevolgen van verhogingen van de sedimentconcentratie en baggeractiviteiten an sich op het ecosysteem zoals dit bekend is vanuit literatuur.

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veelevoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Het effect van grootschalige ingrepen zoals baggeractiviteiten voor aanleg van vaarwegen

Het Eems-estuarium is een natuurlijk systeem dat al eeuwenlang aan het veranderen is. Deels betreft dit een autonome ontwikkeling, deels een ontwikkeling t.g.v. antropogene ingrepen zoals inpolderingen, delfstoffenwinning, bedijkingen, het aanleggen, verdiepen en onderhouden van vaarwegen en havens. Deze grootschalige ingrepen hebben een effect (gehad) op de werking van het estuarium. Van belang in het kader van dit rapport, waarbij gekeken wordt naar de effecten van baggeren t.b.v. verdiepen van vaargeulen en vaargeulonderhoud op H1130, is vooral de verandering in hydrodynamiek en de daaruit volgende verandering van de morfologie van platen en geulen en de verandering in sedimentconcentraties in het water en op de bodem.

De responstijd van de morfologie van een estuarium op grootschalige ingrepen is lang. Ingrepen van decennia geleden, zoals de eerste verdiepingen, hebben nu nog steeds een effect op de morfologie. Kenmerkende aanpassingen van de morfologie die de laatste decennia worden gezien zijn:

- sedimentatie op het Eemshornwad (de voormalige verbinding met de Oostereems);
- sedimentatie in de Bocht van Watum;
- verdieping van het Oost-Friesche Gaatje;
- sedimentatie langs de oostzijde van Hond-Paap met een netto verbreding van de Hond-Paap tot gevolg.

Deze grootschalige morfologische veranderingen zijn deels het gevolg van landaanwinningen, en deels van vaargeulverdiepingen. De landaanwinningswerken in de Dollard hebben geleid tot een verschuiving van een tweegeulen naar een enkelgeulssysteem met een dominant Oost-Friesche gaatje en een verlandende Bocht van Watum en verbinding met Oostereems. Deze processen lijken echter versneld te zijn door de vaargeulverdiepingen vanaf het begin van de 20^e eeuw.

De grootschalige ingrepen (waaronder voor een belangrijk deel de baggeractiviteiten voor verdiepingen en aanleg van vaarwegen) en de daaruit volgende morfologische en hydrodynamische veranderingen hebben geleid tot een toename van de zwevendstofconcentratie (SSC) in delen van het Eems estuarium en in de Eems rivier. Alhoewel er discussie is over de mate van toename van SSC en de gebieden waar deze toename heeft plaatsgevonden kan met zekerheid worden gesteld dat de grootschalige ingrepen hebben geleid tot een toename van de SSC in de Eems rivier, in het gebied rond de Bocht van Watum en in de Dollard.

In de overige gebieden kan minder goed a.d.h.v. meetdata worden aangetoond dat de SSC toeneemt. Belangrijk punt hierbij is dat er weinig goede meetgegevens beschikbaar zijn in de periode vóór 1990 (de periode dat juist veel grootschalige ingrepen hebben plaatsgevonden). In de periode ná 1990 zijn meer en betere meetdata beschikbaar. Deze, in combinatie met modelresultaten, laten een duidelijk toename zien van de SSC voor de Eems rivier, de Bocht van Watum en de Dollard:

- In de Dollard lijkt de toename van SSC samen te hangen met vaargeulverdiepingen in het estuarium en de daaruit volgende toename van zoutgedreven estuariene circulatie;
- In de Bocht van Watum lijkt de toename van SSC grotendeels samen te hangen met landaanwinningen en de daaruit resulterende sedimentatie in de Bocht van Watum (door afname van de komberging, toename van de vloeddominantie en afname van afzetgebieden voor slib), maar ook met het baggeren (verdiepen/onderhoud) van het Oost Friesche Gaatje en het verspreiden van gebaggerd slib in de Bocht van Watum;
- In de Eemsrivier heeft de toename van SSC te maken met de grote veranderingen in hydrodynamiek t.g.v. de vaargeulverdiepingen.

Belangrijk bij de data omtrent SSC is dat er grote langjarige fluctuaties zijn in SSC. Dit geldt voor zowel het Eems-estuarium als voor de Eems rivier. Dit betekent dat meerdere decennia aan metingen nodig is om harde conclusies te kunnen trekken. Voor de Eems rivier, de Bocht van Watum en de Dollard zijn deze gegevens aanwezig en kan daarom een goede conclusie worden getrokken.

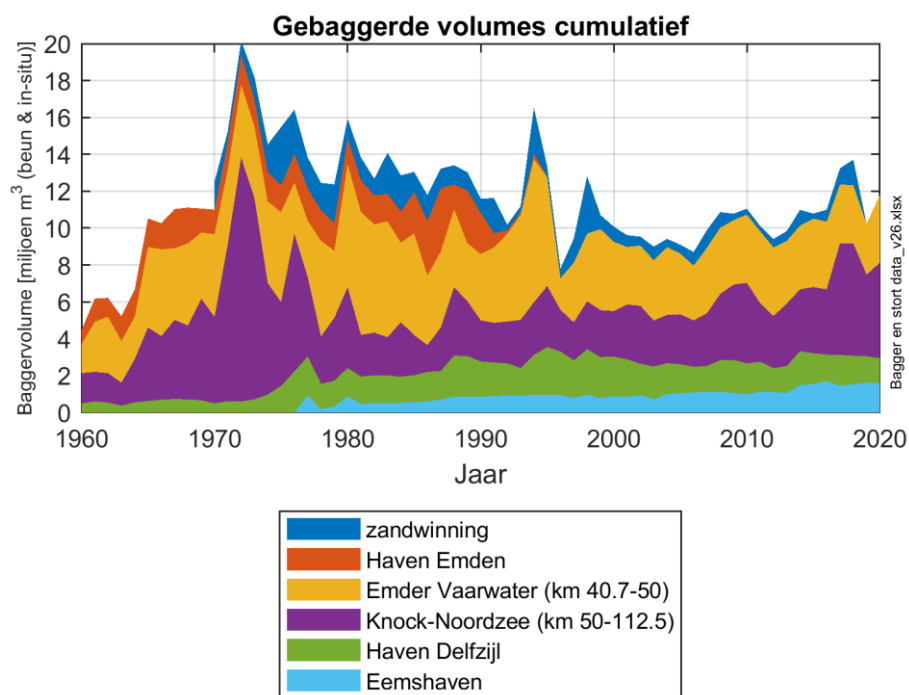
Onderhoudsbaggeren en verspreiden, de hoeveelheden en de locaties

Onderhoudsbaggeren

Het is duidelijk dat de grootschalige ingrepen in het systeem tot grote veranderingen hebben geleid en tot een verhoging van SSC. Om de grootschalige ingrepen in stand te kunnen houden is onderhoudsbaggerwerk noodzakelijk. Dit onderhoudsbaggerwerk vindt in alle havens en vaarwegen plaats. Op sommige plekken vrijwel continu en op sommige plekken minder vaak. Ook dit onderhoudsbaggerwerk kan een effect hebben op de SSC.

Om het effect van onderhoudsbaggeren en verspreiden als activiteit an sich op de SSC te bepalen is er een inventarisatie gedaan van bagger- en verspreidingsgegevens vanaf 1960, voor zowel de Nederlandse als Duitse bagger- en verspreidingslocaties. Het overzicht van gegevens is het meest complete overzicht dat momenteel beschikbaar is met zowel langjarige data (vanaf 1960) als seizoensdata (over de afgelopen 5 jaar). Helaas is niet altijd alle data beschikbaar en mist er regelmatig meta-data, zoals informatie over de percentages zand en slib, de verhouding tussen aanleg en onderhoud en de eenheid waarin gerapporteerd is.

Een overzicht van het totaal aan baggervolume sinds de jaren '60 is weergegeven in Figuur 1. In deze figuur is geen opsplitsing gemaakt in baggeractiviteiten voor aanleg en onderhoud. De grote hoeveelheden in de jaren '70 t/m '90 zijn dan ook deels een gevolg van aanleg/verdiepingen en het wegbaggeren van drempels. In de periode na 2000 is dit in veel mindere mate het geval. Er is wel een piek te zien in 2017 als gevolg van de verdieping van het traject Eemshaven-Noordzee.



Figuur 1 Baggervolumes in het Eemsestuarium voor de periode 1960-2020. Inclusief zandwinning en exclusief data van de Eemsrivier. Baggervolumes in de Eemsrivier bedragen 2-3 miljoen m³/j en worden hoofdzakelijk op land gebracht. Het volume op traject Knock – Noordzee tussen 1960 en 1996 betreft uitsluitend de hoofdvaargeul, zonder de aftakkingen naar

de havens van Delfzijl (Oversteek Paapsand Süd) en Eemshaven (Aanloop Eemshaven of 'H'). Sinds de Oversteek Paapsand Süd wordt onderhouden, in 1996, is dit volume opgeteld bij het totaal. En sinds 2013 geldt hetzelfde voor de Aanloop Eemshaven. De zandwinvolumes zijn beschikbaar sinds 1970 (NL) en 1975 (D). Alle baggervolumes zijn in de beun, behalve tussen Emden en Eemshaven vanaf 2018 (in deze figuur opgeteld bij tracé Knock-Noordzee), die zijn in-situ.

Het jaarlijkse onderhoudsbaggervolume in het Eemsestuarium schommelt vanaf 2000 ongeveer tussen de 8 en 12 miljoen kubieke meter per jaar ('nat in het beun' van de baggerschepen). Het baggervolume lijkt sinds 2000 licht toe te nemen. Dit zal vooral onderhoudsbaggerwerk zijn omdat er geen grote aanpassingen meer zijn gedaan behalve de verdieping van de Eemshaven (2009 – 2013) en de verdieping vaarweg Eemshaven-Noordzee (2017).

De grootste baggerinspanning vindt plaats in het Emder Vaarwater en het naastgelegen Gatjebogen en de havens (Eemshaven en Delfzijl). Het is opvallend dat de baggerinspanning in het Emder Vaarwater zo groot is terwijl het slechts een beperkte trajectlengte betreft. De baggerinspanning in het Emder Vaarwater is van een zelfde orde grootte heeft als het onderhoudsbaggerwerk langs het veel langere traject Knock-Noordzee. Daarnaast wordt nog ca. 2.5-3 miljoen m³/j in de Eemsrivier gebaggerd, met het zwaartepunt nabij Papenburg. Het materiaal dat in de Eemsrivier wordt gebaggerd, wordt grotendeels op land gebracht.

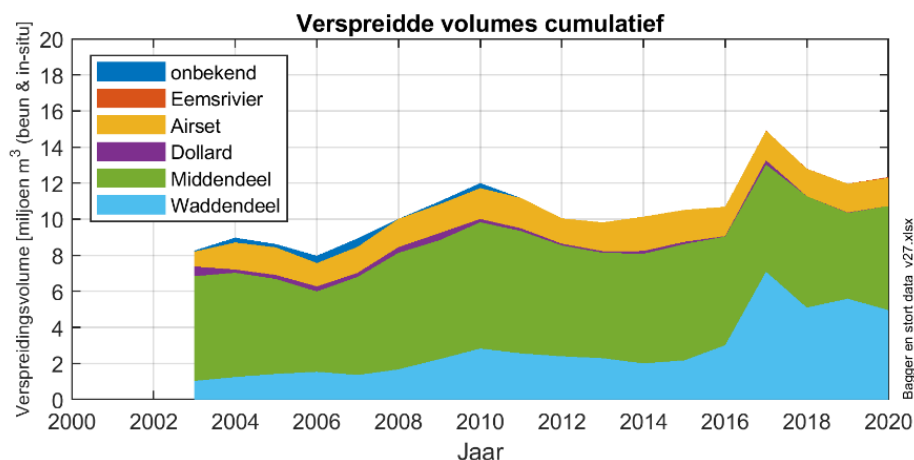
De gebaggerde volumes zijn op de meeste locaties al decennia redelijk constant. In de Eemshaven nemen de baggervolumes licht toe. Ook lijkt de recente verdieping tussen de Eemshaven en de Noordzee tot een verhoging van het baggerbezwaar te hebben geleid.

Voor het bepalen van de effecten van onderhoudsbaggerwerkzaamheden op habitatype H1130 Estuaria is het relevant om kennis te hebben over de periodes binnen het jaar waarin de baggerwerkzaamheden plaatsvinden. Daarom is er op basis van meer gedetailleerde baggergegevens gekeken naar de seizoensvariatie van onderhoudsbaggerwerkzaamheden. In het Emder Vaarwater en in het bovenstroomse deel van de Eemsrivier blijkt dat het meeste sediment wordt gebaggerd in de zomer terwijl de SSC dan het laagst is. Mogelijk is dit het gevolg van een seizoensvariatie in de valsnelheid (als gevolg van flocculatie).

Verspreiden van gebaggerd slib

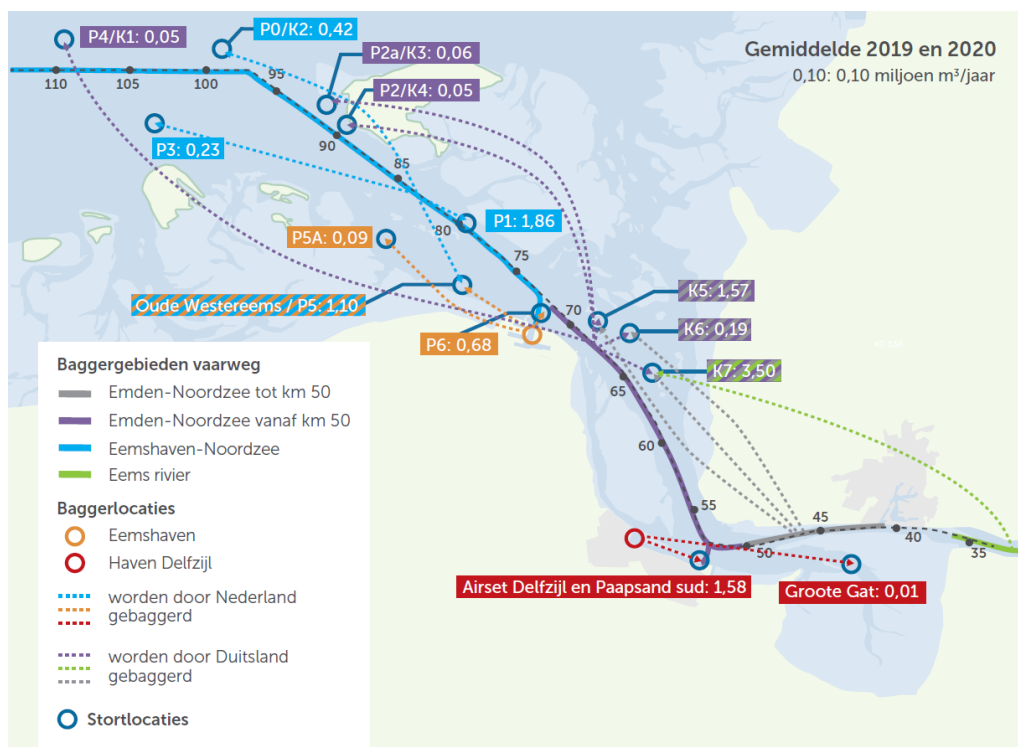
Verspreidingsgegevens zijn grotendeels beschikbaar vanaf 2003. Om een goed beeld te kunnen vormen van de effecten van verspreiding is er gekeken naar de gemiddelde verspreidingshoeveelheden over de lange termijn (vanaf 2003) en de verspreidingshoeveelheden in de afgelopen jaren (2017 – 2020). Belangrijk bij het analyseren van dit soort gegevens is het besef dat baggerverspreidingslocaties worden bepaald door economische motivaties (zo dichtbij de baggerlocatie als mogelijk), milieutechnische aspecten (bij afgeven vergunningen wordt de biologische impact geminimaliseerd, wat tot grotere vaarafstanden kan leiden), maar ook praktische aspecten (verspreidingslocaties kunnen vol raken, bijvoorbeeld K5).

Een overzicht van de totale hoeveelheid verspreid slib sinds 2003 is weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2 Verspreide volumes in het Eemsestuarium. Wat in de Eemsvier is verspreid zijn in-situ volumes, Dollard betreft beunvolumes, het middendeel is een mix van beun en in-situ volumes en het Waddendeel zijn uitsluitend beunvolumes.

Het slib wordt op verschillende verspreidingslocaties (Klapstellen) verspreid. In Figuur 3 staat een overzicht van de hoeveelheden en oorsprong van verspreid slib (gemiddeld over de jaren 2019/2020) per verspreidingslocatie.



Figuur 3 Kaart met de meest recente verspreidingsvolumes en locaties. Getallen tonen het gemiddelde van de jaren 2019 en 2020.

Er wordt vooral veel baggerspecie verspreid op Klapstelte 5 en 7, via airset uit de haven van Delfzijl en op P1 en P5 in de Waddenzeezone. Het verspreide materiaal op Klapstelte 7 is slibrijk en op Klapstelte 5 meer zandig.

De start van het gebruik van airset in de haven van Delfzijl in 2001 wordt gevolgd door een toename van de bagger volumes in Oversteek Paapsand Süd. In plaats van het verder weg brengen van de

baggerspecie uit de haven van Delfzijl naar de aangewezen verspreidingslocaties, wordt het materiaal nu gemobiliseerd waarna het met de getijstrooming wordt meegenomen. Dit leidt tot meer sedimentatie in de Oversteek Paapsand Süd, waar het vervolgens ook weer wordt opgewoeld met airset.

Bagger- en verspreidingshoeveelheden in perspectief

Voor het bepalen van de effecten van bagger- en verspreidingsactiviteiten op een (eco)systeem is het van belang om de hoeveelheden in perspectief te plaatsen. Dit geeft zicht op de mate waarin effecten zouden kunnen worden aangetoond en van belang zijn.

De in recente decennia jaarlijks gebaggerde volumes (10 – 12 Mm³) zijn klein ten opzichte van de jaarlijkse bruto volumeveranderingen als gevolg van voornamelijk geulmigratie en het jaarlijkse bruto sedimenttransport (de hoeveelheid zand en slib welke gedurende elke getijcyclus heen en weer wordt getransporteerd). Dit betekent dat, in de grote hoeveelheden van sediment die continu heen en weer gaan, het lastig is om, bijvoorbeeld op basis van meetgegevens, directe effecten van baggeren en verspreiden te herkennen. Alleen met lange termijn meetgegevens zijn trends waar te nemen.

De jaarlijks gebaggerde en verspreide volumes zijn echter groot ten opzichte van de netto slibsedimentatie in het estuarium (ca. 4 miljoen m³/j, Tabel 2.2) en de daaraan gerelateerde netto slibtransporten. Dit betekent dat het baggeren en verspreiden een substantieel effect heeft op het sedimenttransport in het estuarium. Het baggeren en verspreiden draagt in belangrijke mate bij aan het herverdelen van sediment in het estuarium.

In de paragraaf Grootschalige ingrepen wordt ook gesproken over het effect van baggeractiviteiten op SSC doordat verdiepingen de morfologie en daarmee waterbeweging beïnvloeden. Aan de hand van lang termijn meetgegevens is hier aangetoond dat grootschalige ingrepen hebben geleid tot een verhoging van de SSC in delen van het estuarium. Belangrijk om hierbij te beseffen is dat er wordt gesproken over grootschalige ingrepen zoals vaargeulverdiepingen. Deels werden inderdaad grote delen van vaargeulen verruimd en verdiept. Echter, vaak werd er ook zeer lokaal verruimd, bijvoorbeeld door het weghalen van drempels. Toch hebben deze relatief kleine aanpassingen in het systeem geleid tot grootschalige veranderingen in de morfologie en waterbeweging en hebben ze daarmee een duidelijk effect gehad op de SSC.

Bij het interpreteren van de resultaten en het trekken van conclusies is het van belang om onderscheid te maken tussen zand en slib. Het gebaggerde en verspreide materiaal bestaat uit een mengsel van zand en slib. De verhouding verschilt per locatie. Het gebaggerde materiaal in de havens en de Eemsrivier bestaat grotendeels uit slib, in de vaargeul van Emden uit iets meer slib dan zand en in de vaarweg van de Eemshaven naar de Noordzee grotendeels uit zand. Slib heeft een effect op de troebelheid van de waterkolom, zand heeft dit effect nauwelijks.

Effecten van baggeren en verspreiden op het abiotisch systeem

Naast deze effecten van verdiepingen leidt het baggeren en verspreiden t.b.v. vaargeulonderhoud ook tot een verhoging van SSC. Door vaargeulverruiming zal er meer sedimentatie plaatsvinden in de vaargeulen en om deze op diepte te houden zal dit gesedimenteerde materiaal weer gebaggerd en verspreid moeten worden, wat leidt tot een toename in SSC. Daarnaast leidt het continu baggeren en verspreiden t.b.v. onderhoud van vaargeulen en havens voor een aanpassing van de slibeigenschappen. Het slib wordt gemakkelijker geërodeerd (bijv. vanaf de verspreidingslocaties waar dan ook hogere SSC voorkomen) en zal weer in de havens en vaarwegen terechtkomen. Dit zorgt in principe voor een continue verhoging van de SSC in het estuarium maar het netto effect is sterk afhankelijk van de frequentie van baggeren en de locaties van verspreiden. Bijvoorbeeld, havens fungeren als een bezinkput voor slib. Het slib langer op deze locaties laten liggen zorgt voor een betere sterkte-ontwikkeling (slib wordt dan na verspreiden mogelijk minder gemakkelijk geresuspendeerd). Daarnaast kan het invangen van slib in

havens of vaargeulen zorgen voor een tijdelijke afname van SSC. Let wel, dit is dan een tijdelijke afname op lokale of grotere schaal welke los staat van de grote toename in SSC t.g.v. de grootschalige ingrepen zoals verdiepingen.

Ten slotte zorgen de bagger- en verspreidingsactiviteiten zelf, ter plekke voor veranderingen in SSC. Bij het opzuigen van sediment uit havens en vaargeulen zorgen de bodemverstoring en overflow voor vertroebeling. Bij het verspreiden van het gebaggerde materiaal ontstaat een baggerpluim die zorgt voor vertroebeling.

Het is lastig gebleken om bagger- en verspreidingsgegevens van onderhoud te koppelen aan meetdata van SSC. Dit heeft o.a. te maken met de eerder genoemde grote variabiliteit van SSC op de kortere tijdschalen. Echter, in combinatie met kennis over het systeem en modelberekeningen kunnen de volgende conclusies ten aanzien van onderhoudsbaggeren, verspreiden en SSC worden getrokken:

- Het is waarschijnlijk dat de gemeten flinke toename in SSC in de Bocht van Watum in de jaren 1970 en 1980 (Figuur 2-22) een gecombineerd gevolg is van het gebruik van de Bocht van Watum als verspreidingslocatie en de algemene verlanding van de geul (waardoor dit een veel slibrijker systeem werd).
- Modelberekeningen van het effect van baggeren én verspreiden (d.w.z. baggeren in havens en verspreiden in het estuarium ten opzichte van de situatie waarin geen havens aanwezig zijn en deze dus ook geen accumulatiegebied voor slib vormen) laten over langere tijdschalen gemiddeld een herverdeling van sediment zien met een toename van SSC over een ~10 km breed gebied nabij verspreidingslocaties en een afname van de SSC buiten deze verspreidingslocaties. Let wel, dit is zonder de toename van SSC t.g.v. het verdiepen van de vaargeulen (aanleg).
- Het jaargemiddeld effect van bovenstaande aspecten (dus specifiek het baggeren en verspreiden ten behoeve van onderhoud) is een verhoging van de SSC in bijna het gehele estuarium. De verandering in SSC is niet gelijkmatig door het hele estuarium: in een brede zone rondom verspreidingslocaties neemt SSC toe terwijl SSC in andere gebieden, voornamelijk in de buurt van havens, ook licht kan afnemen door de slibaanzuigende werking van de havens.

Effecten van onttrekken en interactie met de Eems rivier op het abiotisch systeem

Naast het effect van de vaargeulverdiepingen en het onderhoudsbaggerwerk spelen ook andere processen en activiteiten een rol. Zo werd er in het verleden veel gebaggerd slib uit het systeem gehaald (= aan land gebracht). Het onttrekken van slib (tot 1991 uit de haven van Emden, tot op heden uit de Eemsrivier en in mogelijk toenemende mate in het kader van ED2050) leidt tot een verlaging van de SSC in het estuarium. Numerieke modelsimulaties suggereren dat de grootschalige slibonttrekkingen uit de haven van Emden tot aan het begin van de jaren 90 gedurende die periode waarschijnlijk hebben geleid tot een verlaging van de SSC in het middendeel van het estuarium en de Dollard (van Maren et al., 2016).

De rol van de zeer troebele Eemsrivier op de SSC in het estuarium (uitstralend effect) is nog onderwerp van onderzoek. De processen die rondom de monding van de Eemsrivier (in het Vaarwater naar Emden en over de Geiseleidamm) een rol spelen zijn zeer complex. Recentelijke metingen, uitgevoerd in het kader van de EDoM'18 meetcampagne, hebben geleid tot een beter inzicht in de transportprocessen en zullen op termijn leiden tot modelaanpassingen. Wanneer de hoge aanslibbing in het vaarwater naar Emden beter wordt gemodelleerd, kan ook het effect van de grote verspreidingsvolumes nabij K5 en K7 inzichtelijk worden gemaakt. Verwacht wordt dat deze slibverspreiding een belangrijke rol speelt in de geobserveerde slibsedimentatie op het Emshornwad, en ook bijdraagt aan vertroebeling rondom deze verspreidingslocaties.

Effecten van verdiepingen en onderhoudsbaggerwerk op het biotische systeem

Voor het habitatype H1130 estuaria is natuurlijke estuariene dynamiek de belangrijkste abiotische kwaliteitseis aan de omgeving. Estuariene dynamiek leidt tot geleidelijke overgangen van diep naar ondiep,

van droog naar nat, van zoet naar zout, van hoogdynamisch naar laagdynamisch en van zand naar slib. Hierdoor ontstaat een grote ruimtelijke en temporele variatie in leefomstandigheden voor planten en dieren. Een open verbinding met de zee en de rivier is hiertoe essentieel voor een goed functioneren van een estuarium. Het estuarium zelf heeft voldoende ruimte nodig zodat alle essentiële processen kunnen doorgaan en alle ruimtelijke gradiënten de ruimte ook hebben. De aanvoer van zoetwater is continu en natuurlijk. Het aangevoerde rivierwater heeft een voldoende waterkwaliteit en is matig voedselrijk tot voedselrijk. De hydrologische processen, op hun beurt weer mede sturend voor het sedimentgehalte in het water, zijn in sterke mate afhankelijk van de geomorfologie van het gebied. De diepte van de zone waarin voldoende zonlicht doordringt voor fotosynthese is gering en kan heel erg verschillen door seizoensgebonden (natuurlijke) vertroebeling van het water.

De landschappelijke samenhang tussen en de afwisseling van de ecotopen vormen een wezenlijk aspect van de structuur en functie van het habitatype. De kwaliteit van het habitatype wordt bepaald door deze habitatdiversiteit en de daarmee gepaard gaande biodiversiteit. Veel soorten brengen een deel van hun levenscyclus door in verschillende deelgebieden binnen het habitatype of juist ook daarbuiten in het zoete en/of het zoute aangrenzende gebied, waardoor het estuarium ook een verbindingfunctie heeft tussen rivier en zee.

In deel 1 (Abiotische effecten) van deze studie wordt ingegaan op het effect van verdiepingen en onderhoudsbaggerwerk op het abiotische systeem, met name op de sedimentconcentraties in het water en in de bodem. In deel 2 van deze studie worden deze effecten vertaald naar biotische effecten, met andere woorden: de effecten op de ecologische kwaliteitskenmerken van habitatype H1130 Estuaria (zie onderstaand kader). Naast effecten van sedimentconcentraties wordt ook ingegaan op de overige abiotische kwaliteitseisen van habitatype H1130 Estuaria die door verdiepen en baggeren en verspreiden worden beïnvloed.

De Eems-Dollard is aangewezen als Habitatrichtlijngebied, zowel aan de Nederlandse als aan de Duitse zijde. Het bestaat grotendeels uit water en intergetijdengebieden die deel uitmaken van het habitatype estuaria (H1130). Dit habitatype bevat een mozaïek van diverse habitats, waarbij de verschillende biogene structuren (schelpdierbanken en zeegrasvelden) als kenmerkende onderdelen van de structuur en functie van habitatype H1130 estuaria worden beschouwd. Het (mozaïek van habitats van het) estuarium vormt een landschapsecologisch geheel met habitatypen van kwelders en met het zeegebied waar het in uitstroomt. De kwaliteitskenmerken die horen bij habitatype H1130 estuaria zijn beschreven in een door het Ministerie van LNV opgesteld profieldocument (ministerie van LNV 2016)¹. De kwaliteitskenmerken gaan over een drietal hoofdthema's: abiotische kenmerken, biotische functie en structuren en typische soorten. Aan al deze hoofdthema's zijn specifieke kenmerken gekoppeld zoals bijvoorbeeld aanwezigheid van biotische structurerende elementen en seizoensgebonden vertroebeling van het water. De kwaliteitskenmerken en specifieke kenmerken zijn gebruikt om in deze studie de effecten van verdiepen en onderhoudsbaggerwerk te duiden. Verder is, voor de indeling en het beschrijven van mogelijke effecten van baggeren en verspreiden in dit rapport de indeling in verstoringsfactoren gehanteerd, zoals die in de effectenindicator van het ministerie van LNV wordt aangereikt (<https://www.synbiosys.alterra.nl/bij12/effectenindicator.aspx>). Deze effectenindicator geeft negentien mogelijke storingsfactoren waarmee in ieder geval rekening moet worden gehouden ten aanzien van in Natura 2000-gebieden beschermde waarden.

Een analyse van relevante aspecten heeft geleid tot een overzichtstabel met relevante verstoringsfactoren en kwaliteitskenmerken voor deze studie.

Tabel 1 Samenvatting relevante verstoringsfactoren en kwaliteitskenmerken (zie **Error! Reference source not found.**) waarop deze verstoringsfactoren mogelijk een effect hebben.

Verstoringsfactoren	Effect	Kwaliteitskenmerken
Oppervlakteverlies	Verandering van de (natuurlijke) verhoudingen tussen verschillende ecotopen binnen habitatype, afname geleidelijke/natuurlijke overgangen/gradienten, afname onverstoord gebied	Landschappelijke samenhang en afwisseling ecotopen, Diversiteit bodemdieren, Primaire productie
Verontreiniging	(Her)verspreiding verontreinigde bagger	Diversiteit bodemdieren, Schelpdierbanken, Zeegras(velden), Vissen
Verandering overstromingsfrequentie	Verhoging platen door neerslaan slib	Diversiteit bodemdieren, Schelpdierbanken, Zeegras(velden), Primaire productie
Verandering dynamiek substraat	Verandering bodemdichtheid, Verandering bodemsamenstelling (slibgehalte bodem)	Diversiteit bodemdieren, Schelpdierbanken, Zeegras(velden), Primaire productie
Verstoring door mechanische effecten	Vertroebeling, Bodemberoering, Bodembedekking	Abiotische kwaliteitskenmerken, Primaire productie, Diversiteit bodemdieren, Schelpdierbanken, Zeegras(velden), Vissen
Verandering in populatiedynamiek	Sterfte (direct effect), Verandering in soortensamenstelling	Diversiteit bodemdieren

Op basis van een literatuurstudie zijn vervolgens de in literatuur bekende relaties tussen de in Tabel 1 genoemde verstoringsfactoren en (ecologische) kwaliteitskenmerken in beeld gebracht en is aangegeven in hoeverre dit (mogelijk) relevant is voor bagger- en verspreidingsactiviteiten in de Eems-Dollard.

Hieronder zijn de belangrijkste conclusies ten aanzien van biotische effecten samengevat:

- Door verdiepingen (maar ook door niet aan baggeractiviteit gerelateerde ingrepen zoals inpolderingen) in het verleden is de **landschappelijke samenhang** significant veranderd. Dit wordt in stand gehouden door (onderhouds)baggeren en het verspreiden van bagger binnen het Eemsestuarium.
- In een deel van het Eems estuarium wordt de bruto **primaire productie** sterk gelimiteerd door de slibconcentratie. Verdiepen, onderhoudsbaggeren en verspreiden draagt bij aan een verhoogde troebelheid ten opzichte van de natuurlijke situatie waarbij er niet wordt gebaggerd en sediment wordt vastgelegd in sedimentatiegebieden. De activiteit draagt daarmee bij aan de lichtlimitatie van de primaire productie. Significante effecten van baggeren en verspreiden op het kwaliteitskenmerk primaire productie door een verhoogde troebelheid kunnen niet worden uitgesloten.
- Een toename van slib in de bodem (verandering in dynamiek substraat) heeft waarschijnlijk geresulteerd in een verschuiving van de soortensamenstelling van **bodemdieren**. Of deze conclusie klopt moet nog blijken uit analyse van SIBES-data. De toename in bodemslibgehalte is voornamelijk veroorzaakt door grootschalige morfologische ontwikkelingen in het verleden, waaronder de verdiepingen van de vaargeulen, maar kan worden versneld door het verspreiden van baggerspecie bij het onderhoud van de vaargeulen. Door onderhoud van de vaargeulen door middel van baggeren en verspreiden wordt 'worst case' 6% van het Eems estuarium vrijwel permanent verstoord (het betreft hier de gebieden die onder invloed staan van de near-field pluim). Door baggeren en verspreiden van sediment wordt ter plaatse van de bagger- en verspreidingslocaties de populatiedynamiek in het estuarium beïnvloed door sterfte van bodemdieren. Daarnaast kunnen veranderingen van de (natuurlijke) verhoudingen tussen de verschillende ecotopen, minder geleidelijke/natuurlijke overgangen en veranderingen in abiotische omstandigheden (zoals slibgehalte in de bodem) leiden tot veranderingen in populatiedynamiek van bodemdieren. Afhankelijk van de frequentie van bodemberoering door baggeren en/of bodembedekking

door verspreiden kan de soortensamenstelling van de bodemfauna tijdelijk of permanent veranderen. Significante effecten door baggeren en verspreiden op het kwaliteitskenmerk Diversiteit bodemdieren kunnen niet worden uitgesloten.

- Hogere concentraties slib in het water en in de bodem leiden tot een verminderde groei van **mosselbanken**. Baggeren en verspreiden draagt bij aan een verhoogde troebelheid ten opzichte van de natuurlijke situatie en draagt daarmee bij aan de limitatie van de groei van mosselbanken.

Significante effecten van baggeren en verspreiden op het kwaliteitskenmerk mosselbanken door een verhoogde troebelheid kunnen niet worden uitgesloten.

- Hogere concentraties slib in het water leiden doorgaans tot een verminderde groei van **zeegras**. Baggeren en verspreiden draagt bij aan een verhoogde troebelheid ten opzichte van de natuurlijke situatie en draagt daarmee mogelijk bij aan de limitatie van de groei van zeegras(velden). Baggeren en verspreiden kan daarnaast bijdragen aan veranderingen in de hoogteligging van platen en sedimentstabiliteit (maar dit is niet aangetoond voor het Eems estuarium) en kan daarmee eveneens een bijdrage leveren aan de limitatie van de groei van zeegras(velden). Significante effecten van baggeren en verspreiden op het kwaliteitskenmerk zeegras(velden) door een verhoogde troebelheid kunnen niet worden uitgesloten.
- Het baggeren en verspreiden leidt bovendien tot een toename van de troebelheid en een daling van het zuurstofgehalte. Baggeren en verspreiden draagt daarmee bij aan een verminderde kwaliteit van het leefgebied van diverse **vissoorten**.
- Effecten op het verschillende kwaliteitskenmerken kunnen doorwerken verderop in de voedselketen.



Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op habitattype H1130 in het Eems estuarium



Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op habitatype H1130 in het Eems estuarium

Auteur(s)

Julia Vroom

Bente de Vries

Petra Dankers

Bas van Maren

Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op habitatype H1130 in het Eems estuarium

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Mevrouw ir. C.A. Schmidt
Referenties	KPP WR09 Hydromorfologische verbetering ED2050
Trefwoorden	Eemsestuarium, baggeren, verspreiden, havens, vaargeulen, gesuspendeerde sedimentconcentraties, bodemslibgehalte, morfologische veranderingen

Documentgegevens

Versie	3.0
Datum	3 juni 2022
Projectnummer	11206835
Document ID	
Pagina's	78
Classificatie	
Status	Definitief.

Auteur(s)

	Julia Vroom	
	Bente de Vries	
	Petra Dankers	
	Bas van Maren	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Julia Vroom	Roy van Weerdenburg	Philip Visman	
2.0	Bas van Maren	Peter Herman	Philip Visman	
3.0	Bas van Maren	Peter Herman	Toon Segeren	

Samenvatting

Tijdens het opstellen van het Natura2000 supplement beheerplan voor Eems-Dollard is gebleken dat er te veel onduidelijkheden rond cumulatieve effecten van baggeren waren, en dat het onduidelijk was of deze effecten een kwaliteitsverbetering van habitattype H1130 in de weg staan. Daarom heeft Rijkswaterstaat aan Deltares en Royal HaskoningDHV gevraagd het cumulatieve effect van baggeren en verspreiden op habitattype H1130 in het Eemsestuarium te beschrijven. Deze beschrijving is uitgevoerd op basis van het huidige begrip van de systeemwerking in estuaria in het algemeen, de meest actuele en complete bagger- en verspreidingsgegevens in het Eemsestuarium en bestaande literatuur. Het effect van baggeren en verspreiden betreft zowel het onderhoudsbaggerwerk als de vaargeulverdiepingen.

Uit de bagger- en verspreidingsgegevens blijkt dat zowel de bagger- als de verspreidingsvolumes over de afgelopen decennia op de meeste locaties redelijk constant zijn gebleven. Het effect van baggeren en verspreiden op de SSC is daardoor zeer moeilijk uit metingen te bepalen; de SSC metingen laten zeer grote fluctuaties op verschillende tijdschalen zien terwijl de bagger- en verspreidingsvolumes juist relatief constant zijn door de tijd. Het baggerbezwaar vanuit de geul tussen Eemshaven en de Noordzee lijkt echter sterk toegenomen te zijn sinds de meest recente verdieping. Deze meetreeks is echter nog zeer kort, en meer data is nodig om vast te stellen hoe structureel deze verandering is.

Het totale volume dat wordt gebaggerd in het Eemsestuarium varieert tussen de 8 en 12 miljoen m³/j, plus nog 2-3 miljoen m³/j die uit de Eemsrivier wordt onttrokken. De grootste volumes worden gebaggerd in het Emders Vaarwater, Gatjebogen, de havens (Eemshaven en Delfzijl) en het meest bovenstroomse deel van de Eemsrivier (nabij Papenburg). Deze baggervolumes zijn slibrijk. De baggerspecie uit het Emders Vaarwater en een klein deel van de Eemsrivier worden verspreid op “Klapstellen 5, 6 en 7” gelegen in het estuarium tussen Eemshaven en Knock. Deze verspreidingslocaties liggen dichtbij het sedimentatiegebied Emshornwad, waardoor het verspreiden van slib op deze locaties mogelijk de slibsedimentatie op het Emshornwad heeft versneld. Het verslibben van het Emshornwad is een sterke morfologische verandering in het Eemsestuarium en daarom zou het belang van baggeren en verspreiden hierop nader onderzocht moeten worden, evenals het effect van verspreiding op deze locaties op de vertroebeling in het estuarium.

Menselijke ingrepen hebben waarschijnlijk geleid tot een toename van de Suspended Sediment Concentration (SSC, in het Nederlands ook Zwevend Stofgehalte) in het Eemsestuarium en de Eemsrivier. In de Eemsrivier zien we in de periode vanaf 1950 een zeer sterke toename in SSC (factor 10), die veroorzaakt is door vaargeulverdiepingen. Als gevolg daarvan is de waterbeweging vloeddominanter geworden waardoor er meer slib richting de Eemsrivier kon worden gebracht. Het water is troebeler geworden en na verloop van tijd vormden zich bij de bodem zulke dikke sliblagen dat de hydraulische weerstand is verlaagd. Als gevolg daarvan slingert het getij nog verder op en kan nog meer slib naar binnen worden gepompt. In hoeverre deze hypertroebelende condities op de Eemsrivier een uitstralend effect hebben op het estuarium wordt momenteel onderzocht.

De veranderingen in het Eemsestuarium zijn meer complex, omdat deze niet alleen door vaargeulverdiepingen worden beïnvloed maar ook door landaanwinningen en baggeren en verspreiden. Daarnaast zijn de veranderingen in SSC als gevolg van menselijk ingrijpen minder groot dan in de Eemsrivier, en vergelijkbaar met de natuurlijke variabiliteit in SSC. Over de periode 1990 – 2010 nam de slibconcentratie in een groot deel van het Eemsestuarium significant toe. De periode na 2012 liet voor een aantal stations echter weer een afname in

SSC zien, waardoor de toename over de periode 1990 – 2010 deels is toe te schrijven aan langjarige fluctuaties. Voor het estuarium zijn de fluctuaties sinds de start van consistente metingen in 1990 vastgesteld op een factor 2, wat betekent dat de SSC tijdens sommige aaneengesloten jaren twee keer zo hoog (of laag) kan zijn als het langjarig gemiddelde. Voor het estuarium is er voor de periode 1990-heden geen statistisch significante trendmatige toename in SSC vastgesteld. In de Dollard lijkt de wintergemiddelde SSC (november – februari) wel toe te nemen over deze zelfde periode.

Het Eemsestuarium wordt al sinds ongeveer een millennium beïnvloed door de mens. Eerst via landaanwinningen, welke in de grootschalige morfologie een verandering van een systeem met twee geulen naar een systeem met één geul in gang heeft gezet. De Bocht van Watum is hierbij steeds kleiner geworden. Afgelopen decennia is deze verlanding in de Bocht van Watum versneld doordat het Oostfriesche Gaatje werd onderhouden als vaargeul en er in de Bocht van Watum baggerspecie werd verspreid. Het verlies van intergetijdengebied door landaanwinningen heeft waarschijnlijk ook geleid tot een toename in SSC (door afname van de komberging, toename van vloeddominantie en afname van de afzetgebieden voor slib). De SSC metingen in de periode waarin landaanwinningen plaatsvonden zijn echter summier en inconsistent, waardoor de toename niet met zekerheid op basis van metingen kan worden vastgesteld. Modelsimulaties suggereren wel dat het verlies aan intergetijdengebied heeft geleid tot een toename in SSC. Ook het effect van vaargeulverdiepingen op SSC is niet op basis van veldmetingen aan te tonen. Modelresultaten laten zien dat de vaargeulverdiepingen in het Eems estuarium hebben geleid tot een toename in SSC in de Dollard, met name door een toename in zoutgedreven estuariene circulatie.

Het verspreiden van slib uit de havens leidt tot een toename van de SSC in grote delen van het estuarium maar omdat de havens ook functioneren als een slibvang leidt slibaccumulatie in de havens tegelijkertijd tot een verlaging van de SSC in andere delen van het estuarium. Het netto effect van continue baggeren en verspreiden (rondpompen van sediment via onderhoudsbaggerwerk, niet de vaargeulverdiepingen) is daarom een herverdeling van sediment, waarbij de SSC binnen ~10 km rondom de verspreidingslocaties toeneemt maar daarbuiten licht afneemt. Daarbovenop leiden baggerwerkzaamheden mogelijk tot een verhoging van SSC door een verhoging van de erodeerbaarheid van het slib.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Introductie	8
1.1	Doel	8
1.2	Afbakening en leeswijzer	8
1.3	Definities	10
2	Beschrijving van het abiotisch systeem	11
2.1	Het estuarium anno 2021	11
2.1.1	Waterstanden en stroomsnelheden	12
2.1.2	Saliniteit	15
2.1.3	Sedimentsamenstelling op en in de bodem	17
2.2	Menselijke ingrepen	19
2.2.1	Vaargeulverdiepingen	20
2.2.2	Landaanwinningen	21
2.2.3	Delfstoffenwinning	23
2.2.4	Bodemdaling en zeespiegelstijging	23
2.3	Morfologische veranderingen	24
2.3.1	Historische ontwikkelingen	24
2.3.2	Recente ontwikkelingen	27
2.4	Veranderingen in vertroebeling	29
2.4.1	Ontwikkeling in SSC vóór 1990	30
2.4.2	Ontwikkeling in SSC vanaf 1990	32
2.4.3	De rol van de Eemsrivier op de SSC	35
3	Bagger- en verspreidingsgegevens	38
3.1	Bagger- en verspreidingslocaties	38
3.2	Langjarige baggergegevens (1960 – 2020)	39
3.2.1	Overzicht estuarium	39
3.2.2	Overzicht deeltrajecten	41
3.2.3	Traject Knock – Noordzee (Eems km 50-112.5)	42
3.2.4	Traject Emden – Eemshaven (Eems km 40.7-~74)	43
3.2.5	Eemsrivier	44
3.2.6	Havens	44
3.3	Seizoensfluctuaties in baggervolumes (2017 – 2020)	46
3.3.1	Variaties in het Waddendeel	46
3.3.2	Variaties in het middendeel	47
3.3.3	Variaties in de havens	49
3.3.4	Variaties in de Eemsrivier	50
3.4	Verspreiding	51
3.4.1	Lange termijn (vanaf 2003)	51
3.4.2	Korte termijn (2017-2020)	53
3.5	Conclusies bagger- en verspreidingsgegevens	55

4	Effectbeschrijving: veranderingen in (a)biotisch systeem als gevolg van baggeren en verspreiden	57
4.1	Effecten van menselijk ingrijpen in estuaria	57
4.1.1	Morfologie	58
4.1.2	Waterbeweging en sedimenttransport	58
4.1.3	Slibeigenschappen en slibbeschikbaarheid	59
4.1.4	Rol landaanwinningen, vaargeulverdiepingen en onderhoudsbaggerwerk	59
4.1.5	Interacties van processen en dynamiek in het systeem	60
4.2	Het Eemsestuarium	61
4.2.1	Directe menselijke ingrepen op de morfologie	61
4.2.2	Effecten van vaargeulverdiepingen op de waterbeweging	61
4.2.3	Effecten van vaargeulverdiepingen en onderhoudsbaggerwerk op SSC	62
4.2.4	Effecten van vaargeulverdiepingen en onderhoudsbaggerwerk op morfologie en baggerhoeveelheden	67
5	Conclusies en aanbevelingen	68
5.1	Conclusies	68
5.2	Aanbevelingen	71
6	Referenties	73
A	Bijlagen	77
A.1	Inconsistenties in de aangeleverde baggerdata	77

1 Introductie

1.1 Doel

In 2020 is gestart met het opstellen van een Supplement Natura 2000-beheerplan Eems-Dollard. Het supplement omvat de uitwerking van de Habitatrichtlijn in het gebied. Voor de Waddenzee bestond al een beheerplan; een document dat de ecologische staat van instandhouding beschrijft, aangeeft wat er wel en niet gedaan kan worden om de instandhoudingsdoelen te behalen die er voor zorgen dat de Europese biodiversiteit blijft behouden en waar mogelijk te verbeteren, evt. met middelen en maatregelen. Het Supplement Eems-Dollard zal daaraan worden toegevoegd. Onderliggend document van het Supplement beheerplan ED is een Nadere Effect Analyse (NEA). De NEA beschrijft het huidige gebruik van in dit geval het Eemsestuarium en wat de effecten zijn van dit huidige gebruik op de instandhoudingsdoelstellingen. Tijdens het opstellen van de NEA is gebleken dat er onvoldoende zicht is op de cumulatieve effecten van alle bagger- en verspreidingsactiviteiten en welke impact deze activiteiten hebben op de beschermde omgeving, met name het Natura 2000 habitatype H1130 Estuaria. Het voorliggende rapport heeft als doel meer inzicht te geven in de cumulatieve effecten van de bagger- en verspreidingsactiviteiten, zoals de volumes en de methoden die daarmee gepaard gaan. We beschouwen zowel de activiteiten op Nederlands en op Duits grondgebied en de effecten hiervan op het abiotische en biotische systeem in het algemeen en meer specifiek op het doelbereik van de instandhoudingsdoelstellingen van habitatype H1130 (estuaria).

1.2 Afbakening en leeswijzer

Habitatype H1130 is gedefinieerd als de benedenstroomse delen van riviersystemen die onder invloed staan van zeewater en de werking van getijden. Om zicht te krijgen op het effect van baggeren en verspreiden op H1130 is het belangrijk om de meest recente kennis over relaties tussen baggeren en sedimentconcentraties en tussen baggeren/sedimentconcentraties en de ontwikkeling van habitatype H1130 concreet te benoemen zodat deze kennis nu al kaderstellend kan gaan werken voor nieuwe vergunningaanvragen. Tot het onderzoeksgebied valt het gehele Eemsestuarium vanaf de stuw bij Herbrum in Duitsland tot aan de Noordzee (km 112.5).

Om het inzicht te vergroten zijn er drie taken uitgevoerd:

1. Een beknopte systeembeschrijving met betrekking tot hydrodynamiek, morfologie, vertroebeling en menselijke ingrepen (hoofdstuk 2);
2. Een inventarisatie van alle bagger- en verspreidingsactiviteiten in en langs het estuarium (methoden, locaties, hoeveelheden, seizoentaliteit, etc.) opdat een zo volledig mogelijk beeld beschikbaar is van de bagger- en verspreidingshoeveelheden, nu en in het verleden (hoofdstuk 3);
3. Een analyse waarin de vaargeulverdiepingen en onderhoudsbaggerwerk worden gerelateerd aan (veranderingen in) het abiotisch en biotisch systeem, om vervolgens het effect op de beschermde natuurwaarden met focus op H1130 te bepalen. De abiotische effecten van de vaargeulverdiepingen en van het onderhoudsbaggerwerk worden beschreven in Hoofdstuk 4, terwijl de biotische effecten (inclusief de doorvertaling naar H1130) zijn opgenomen in een aparte rapportage.

De effectanalyses zijn uitgevoerd op basis van een conceptueel denkmodel over de werking van het abiotisch systeem. Dit denkmodel beschrijft hoe de morfologie, waterbeweging, vertroebeling, en bodemslibgehalten elkaar beïnvloeden, en waar de mens kan ingrijpen op dit samenspel van dynamische factoren. Ook geeft het aan wat het (mogelijk) effect is geweest

van menselijk ingrijpen. Het conceptueel denkmodel is algemeen toepasbaar op slibdynamiek in estuaria, en is gebaseerd op kennis van een groot aantal estuaria wereldwijd. Vervolgens is geanalyseerd welke veranderingen er in het Eemsestuarium hebben plaatsgevonden en welke menselijke ingrepen er zijn gedaan en wat, op basis van het conceptueel denkmodel, daarvan de te verwachten effecten zijn. Op basis van metingen en eerdere simulaties met numerieke modellen proberen we zo'n verwacht effect vervolgens te detecteren en te kwantificeren.

De autonome (morfologische) ontwikkeling van het estuarium is de (morfologische) ontwikkeling van het estuarium onder de huidige condities en verwachtingen voor de toekomst (bijvoorbeeld zeespiegelstijging). Deze autonome ontwikkeling wordt echter door meerdere menselijke ingrepen (op korte en lange tijdsschalen) beïnvloed (bijvoorbeeld verdiepingen vaargeulen, aanleg havens, natuurcompensatiemaatregelen). Deze ingrepen hebben ook onderling effect en door deze wederzijdse beïnvloeding is het niet eenvoudig de effecten van ingrepen te meten of te kwantificeren (bijvoorbeeld het verdiepen van de Eemsrivier tussen 1991-1994 viel in de tijd samen met het stoppen van de sedimentonttrekking). Dit wordt nog verder bemoeilijkt door de combinatie van de grote natuurlijke dynamiek in het systeem (in vertroebeling, bodemslibgehalten en ecologie) en de - in verhouding daarmee - beperkte meetgegevens. Bovendien kan er niet met terugwerkende kracht worden gemeten: dit is relevant omdat aanzienlijke ingrepen in het systeem hebben plaatsgevonden voordat er uitgebreide en consistente monitoring plaatsvond.

Numerieke modelsimulaties geven wel mogelijkheid terug te kijken in de tijd ('hindcast') en het effect van een individuele ingreep of ontwikkeling te kwantificeren. Waar nodig worden de metingen uit het veld daarom aangevuld met resultaten uit eerder uitgevoerde modelsimulaties voor het Eemsestuarium (Van Maren et al. 2015a,b, Herrling & Niemeyer, 2008).

Bij het beschrijven van het abiotisch systeem in hoofdstuk 2 beschouwen we verschillende tijdschalen, afhankelijk van de databeschikbaarheid. Grootschalige veranderingen, zoals de verandering in grootte van het estuarium, worden bekeken op de tijdschaal van een millennium. Bij vaargeulverdiepingen beschouwen we ongeveer de afgelopen eeuw. Gegevens over de hydrodynamiek en vertroebeling worden beschreven voor een tijdschaal van decennia.

Baggergegevens zijn sinds 1960 beschikbaar (hoofdstuk 3). Echter, alleen voor de afgelopen jaren zijn voldoende gegevens beschikbaar om te kijken naar de seizoensdynamiek in baggeren en verspreiden. De analyse van de seizoensdynamiek geeft meer inzicht in de dominante sturende processen in de baggervolumes. De verspreidingsgegevens zijn minder goed gerapporteerd dan de baggergegevens en hebben we kunnen achterhalen voor de afgelopen 20 jaar.

In hoofdstuk 4 worden de effecten van de menselijke ingrepen op het abiotisch systeem beschreven. Startpunt is de beschrijving van het conceptuele denkmodel van de systeemwerking. Vervolgens wordt voor de verschillende elementen van het conceptueel denkmodel (morfologie, hydrodynamiek, vertroebeling, bodemslibgehalte) beschreven wat de effecten van menselijke ingrepen hierop zijn.

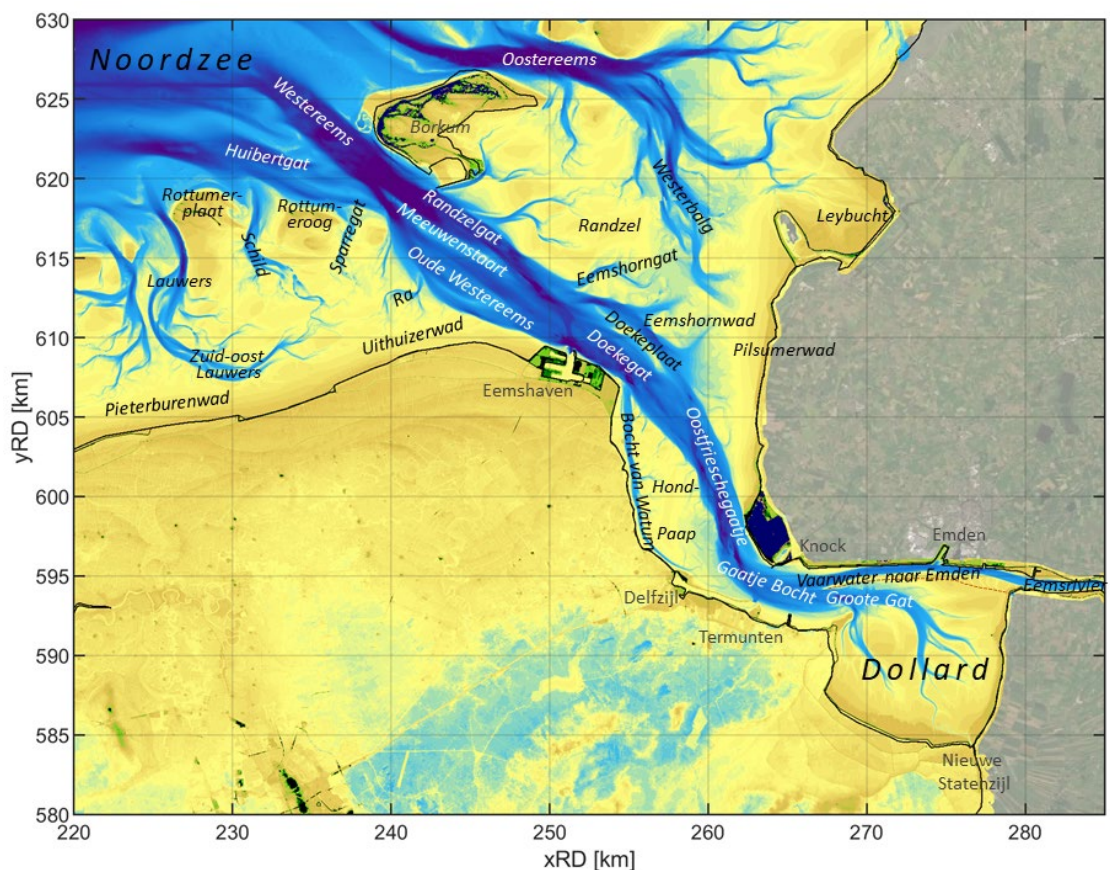
1.3 Definities

Definitie	Toelichting
Airset	Het opwoelen van slib door middel van water- en luchtinjectie, waardoor het slib zich gaat gedragen als een vloeistof en met de stroming kan worden meegenomen.
Baggeren	Het weghalen van sediment (zand en slib) uit havens en vaargeulen met baggerschepen of door middel van opwoeling (airset). Baggeren kan zowel verdiepingswerkzaamheden of onderhoudswerkzaamheden betreffen.
H1130	Habitatype H1130 Estuaria. Dit habitatype wordt gekenmerkt door benedenstroomse delen van riviersystemen die onder invloed staan van zeewater en de werking van getij. Estuaria hebben een waarneembare zoet/zout gradiënt en zijn van nature troebel.
Netto sedimentatie	De hoeveelheid sediment die over een periode tussen T1 en T2 en gesommeerd over een bepaald gebied is afgezet, bepaald door van de bodemligging op T2 de bodemligging op T1 af te trekken.
Onderhoudsbaggerwerk	Het onderhouden van de vaargeuldiepte en diepte van havens op een gelijkblijvend niveau.
SSC	Suspended Sediment Concentration of Zwevend stofgehalte: de massa van sediment die aanwezig is in het water, uitgedrukt in massa per eenheid volume (zoals mg/l of kg/m ³)
Vaargeulverdieping en/of -verruiming	Het éénmalig aanbrengen van een grotere diepte en/of breedte in een vaargeul, waardoor de bodemligging verandert.
Verspreiden	Het in water loslaten van gebaggerd sediment uit het beun van een baggerschip of door middel van opwoeling (airset)
Vertroebeling	De mate waarin de lichtdoordringing in de waterkolom wordt beperkt door deeltjes (sediment, algen) in het water. Niet uitgedrukt in massa per eenheid volume, maar in een eenheid gerelateerd aan lichtdoordringing, vaak NTU of FTU.

2 Beschrijving van het abiotisch systeem

2.1 Het estuarium anno 2021

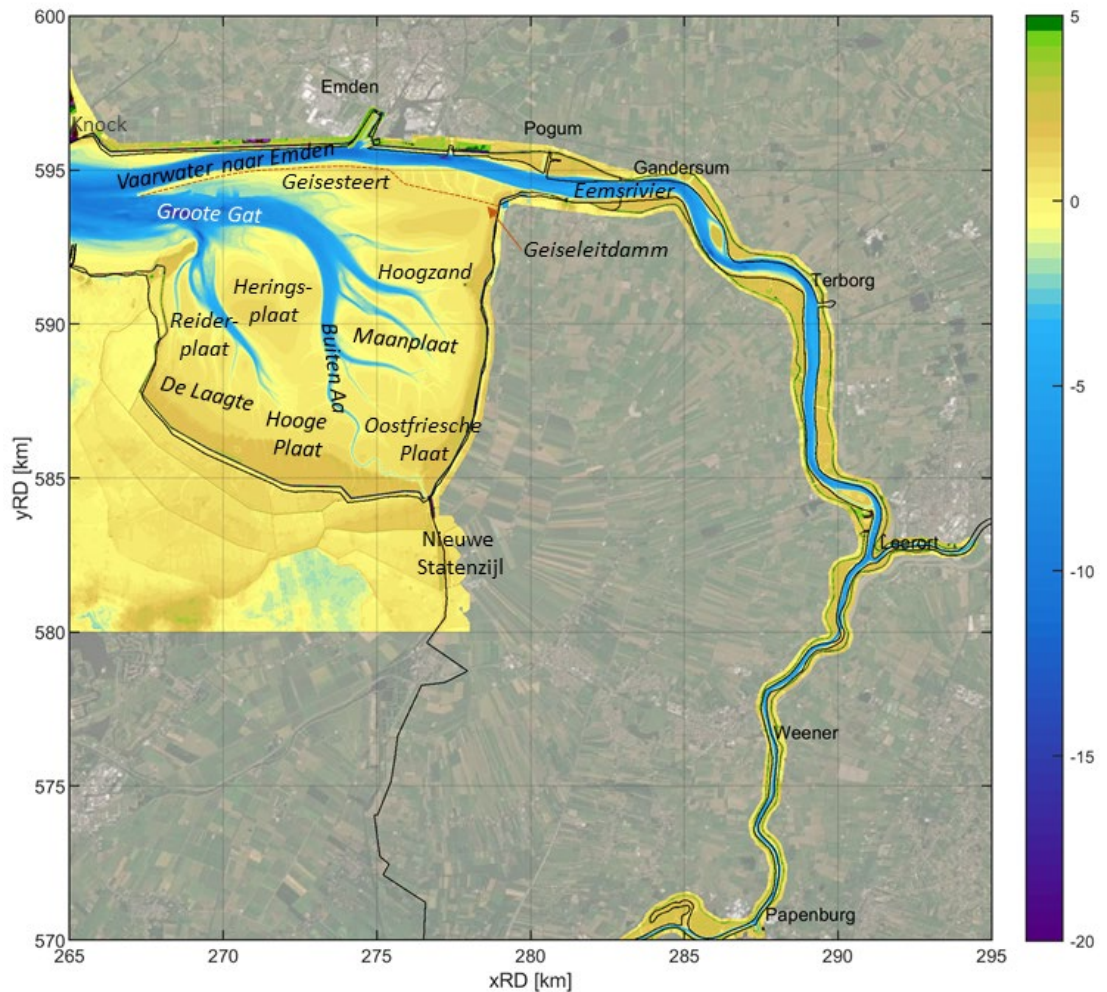
Het Eemsestuarium ligt op de Nederlands-Duitse grens en loopt van de Noordzee tot aan de stuw bij Herbrum, ten zuiden van Papenburg (Figuur 2-1 en Figuur 2-2). Benedenstrooms (km 65-90, zie kilometrering in Figuur 3-1) zijn de grootste geulen het Ranzelgat, de Oude Westereems en het Doekegat. Er zijn twee kleine platen: de Meeuwenstaart en de Doekeplaat. In de buitendelta zijn de Westereems en het Huibertgat de grootste geulen. Het middendeel (monding van de Dollard tot de Eemshaven) wordt gekenmerkt door de geulen het Oostfriesche Gaatje, de Bocht van Watum en de plaat Hond-Paap. De Dollard is een relatief ondiep gedeelte met grote droogvallende platen (80% van het oppervlak tegenover 50% in het meer benedenstrooms gelegen gebied) wat omringd is door kwelders (Figuur 2-2) en aan de noordzijde wordt begrensd door de Geiseleitdamm en daarachter het Vaarwater naar Emden, die verderop overgaat in de Eemsrivier. Bij Nieuwe-Statenzijl mondt de Westerwoldsche Aa, een klein riviertje, door middel van sluizen uit in de Dollard. Tussen Pogum en de stuw bij Herbrum wordt de Eemsrivier beïnvloed door het getij. Dit gedeelte wordt in Duitsland de Unterems genoemd.



Figuur 2-1 Naamgeving van geulen en platen in het Eemsestuarium. Gaatje Bocht heet in het Duits Gatjebogen. De Oversteek Paapsand Süd ligt tussen de ingang van de haven van Delfzijl (Zeehavenkanaal) en de hoofdvaargeul in Gaatje Bocht. Bodemligging van 2019/2020 in het Eemsestuarium.

Aan de westzijde gaat het estuarium over in het Nederlandse deel van de Waddenzee. Dit gedeelte, met het Groninger Wad, de Lauwers en meerdere kleinere kombergingsgebieden en

de onbewoonde eilanden Rottumeroog en Rottumerplaat, kent weinig beheer (zoals onderhoud aan vaargeulen). Aan de oostzijde gaat het estuarium over in de Duitse Waddenzee en het kombergingsgebied van de Oostereems. Vroeger waren deze gebieden sterker met elkaar verbonden, maar door de grootschalige morfologische ontwikkeling van beide bekken heeft er veel sedimentatie op dit overgangsg gebied plaatsgevonden. Desalniettemin vindt ook nu nog veel uitwisseling plaats over dit relatief lage wantij.

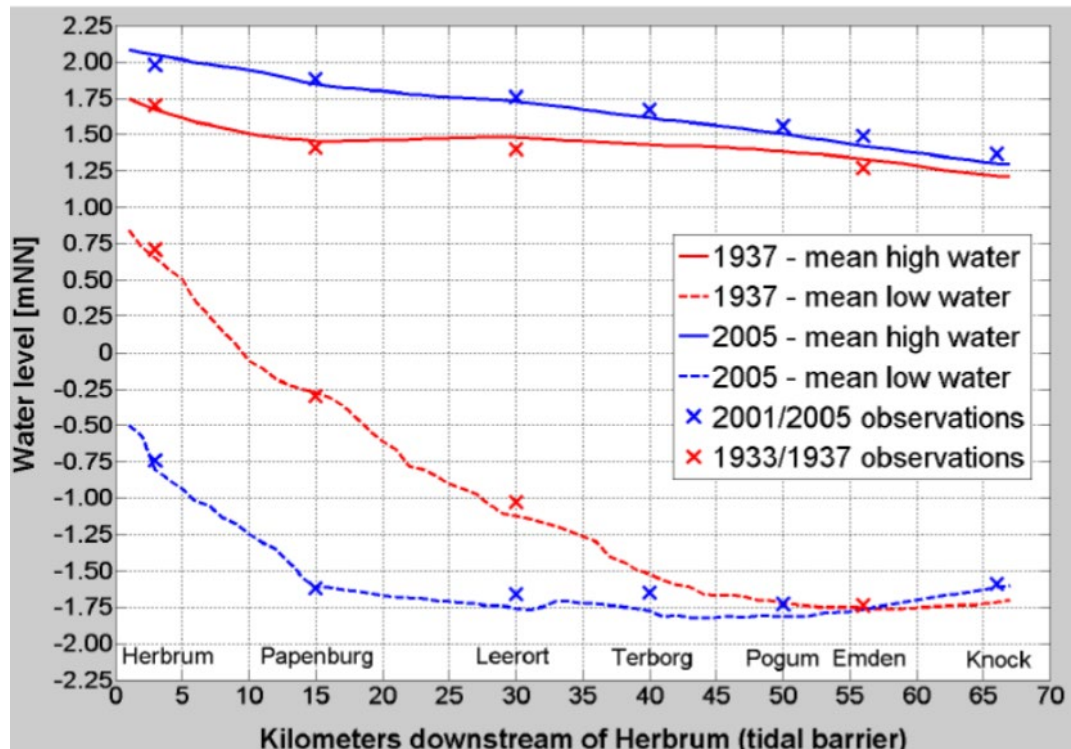


Figuur 2-2 Naamgeving van geulen, platen en plaatsen in de Dollard en de Eemsrivier. Bodemligging in de Dollard van 2019/2020 en in de Eemsrivier van 2005.

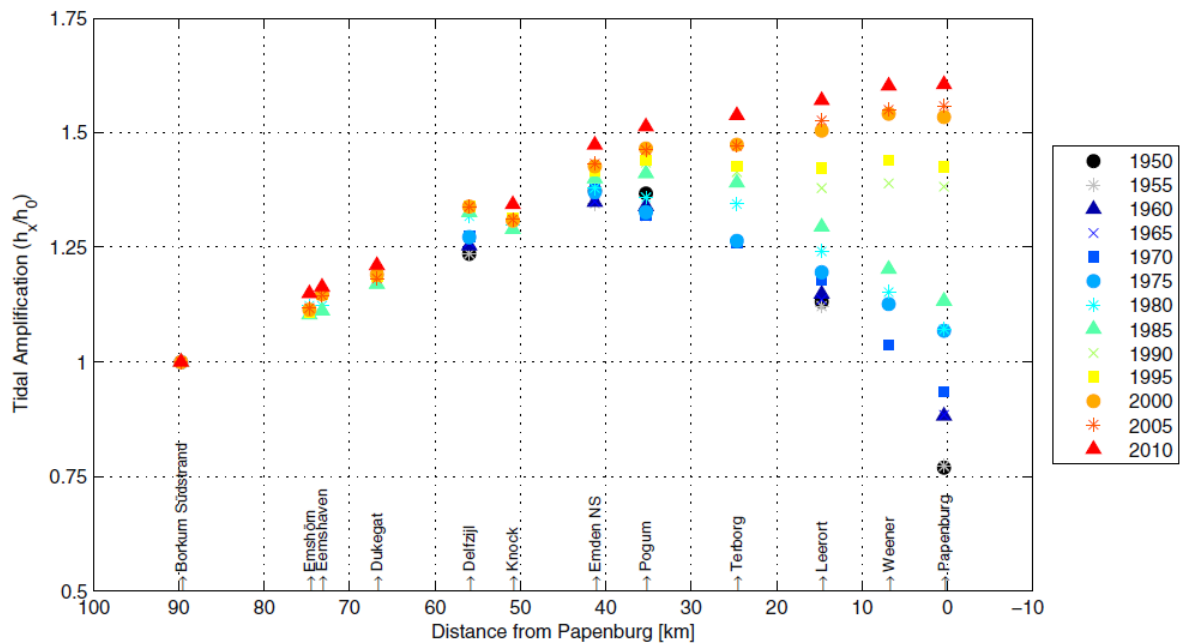
2.1.1 Waterstanden en stroomsnelheden

De getijslag in het Eemsestuarium neemt toe van ~2,2 m in de Noordzeemoning (Huibertgat) naar ruim 3 m bij Delfzijl tot ca. 3,5 meter bij Papenburg (Figuur 2-3; Figuur 2-5). Sinds 1950 is de getijslag toegenomen (Figuur 2-5): in het estuarium is het hoogwater sinds 1933 met 10-25 cm toegenomen. In de mondingszone en aan de zeewaartse rand is de getijamplitude met ca. 10 cm toegenomen over de periode 1933-2005. De getijamplitude in de Eemsrivier is veel sterker toegenomen (Figuur 2-3, Figuur 2-4, Figuur 2-5) door zowel een verhoging van de hoogwaters als een verlaging van de laagwaters (Herrling & Niemeyer, 2008; Vroom et al., 2012). De getijamplificatie, het verschil tussen de getijslag in het estuarium ten opzichte van de getijslag in de monding, toont in hoeverre veranderingen in de getijslag van buiten zijn opgelegd of intern in het estuarium zijn veroorzaakt. De getijamplificatie in het middendeel van het estuarium (Borkum – Knock) is beperkt veranderd, wat aangeeft dat veranderingen in het

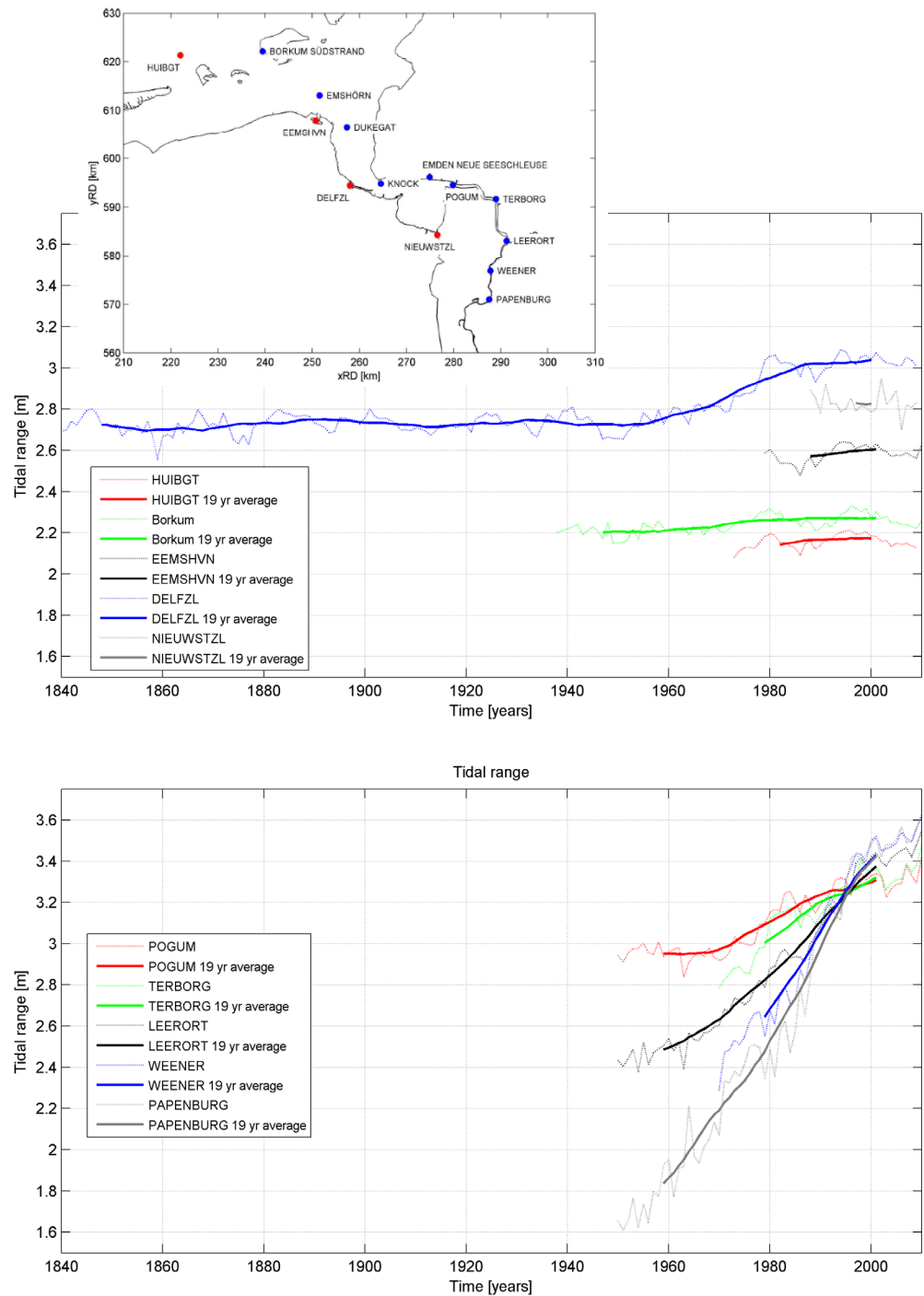
estuarium zelf een klein effect hebben gehad op de getijslag. In de Eemsrivier daarentegen, is de getijamplificatie sterk toegenomen. Dit is wel te wijten aan veranderingen in de Eemsrivier zelf.



Figuur 2-3 Metingen en gemodelleerde waarden van de waterstanden langs het Eemsestuarium voor de periode 1933 tot 2005. Meetpunten zijn genomen bij gemiddeld hoogwater en gemiddeld laagwater (Herrling & Niemeyer, 2008).

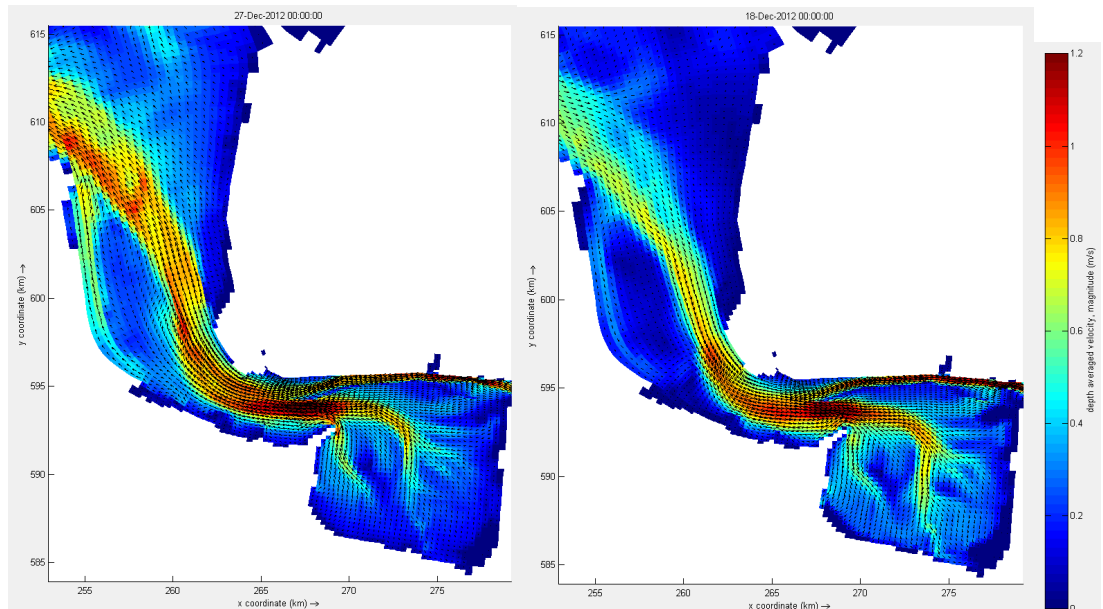


Figuur 2-4 Amplificatie van de getijslag in het estuarium, waarbij de getijslag in elk station gedeeld is door de getijslag in de monding (Borkum Südstrand). Uit: Van Maren et al. (2015a).



Figuur 2-5 Getijslag in het benedenstroomse (boven) en bovenstroomse (onder) gedeelte van het Eemsestuarium (Vroom et al., 2012).

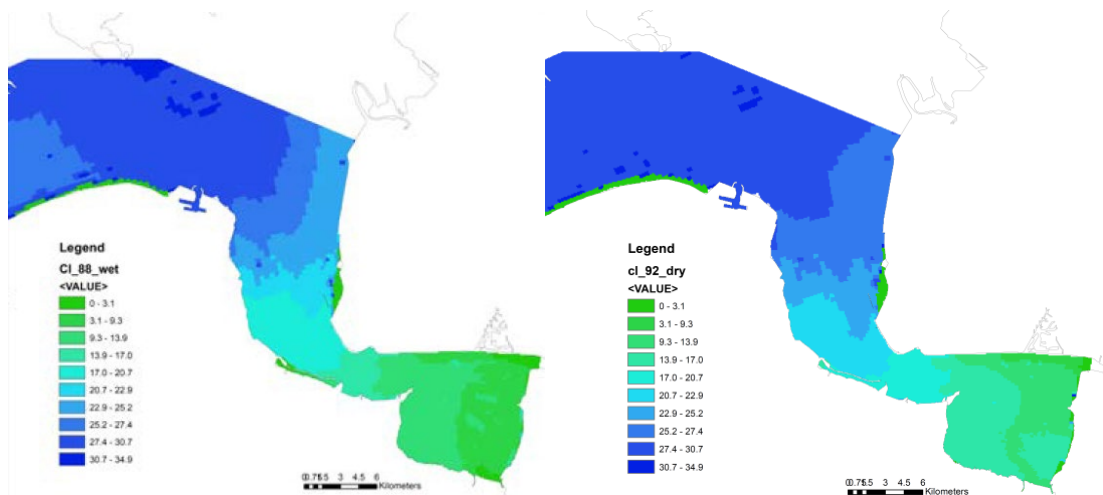
De stroming in het Eemsestuarium is bekend uit hydrodynamische modellen (Pein et al., 2014; Van Maren et al. 2017; van Maren et al. 2019). De typische piekstromnelheden op basis van modelresultaten tijdens eb en vloed zijn weergegeven in Figuur 2-6. Piekstromnelheden in de hoofdgeulen van het Eemsestuarium liggen rond de 1-1,5 m/s. In kleinere geulen (Bocht van Watum, Buiten Aa) zijn de piekstromnelheden in de orde van 0,5-1,0 m/s en op de platen lager dan 0,5 m/s.



Figuur 2-6 Benadering van de maximale stroomsnelheden tijdens eb (links) en tijdens vloed (rechts) op basis van het Eems-Dollard model (van Maren et al., 2017; 2019). De weergegeven stroomsnelheden zijn een benadering, omdat modelresultaten elke 2 uur worden opgeslagen en daardoor mogelijk niet corresponderen met de piek stromingscondities.

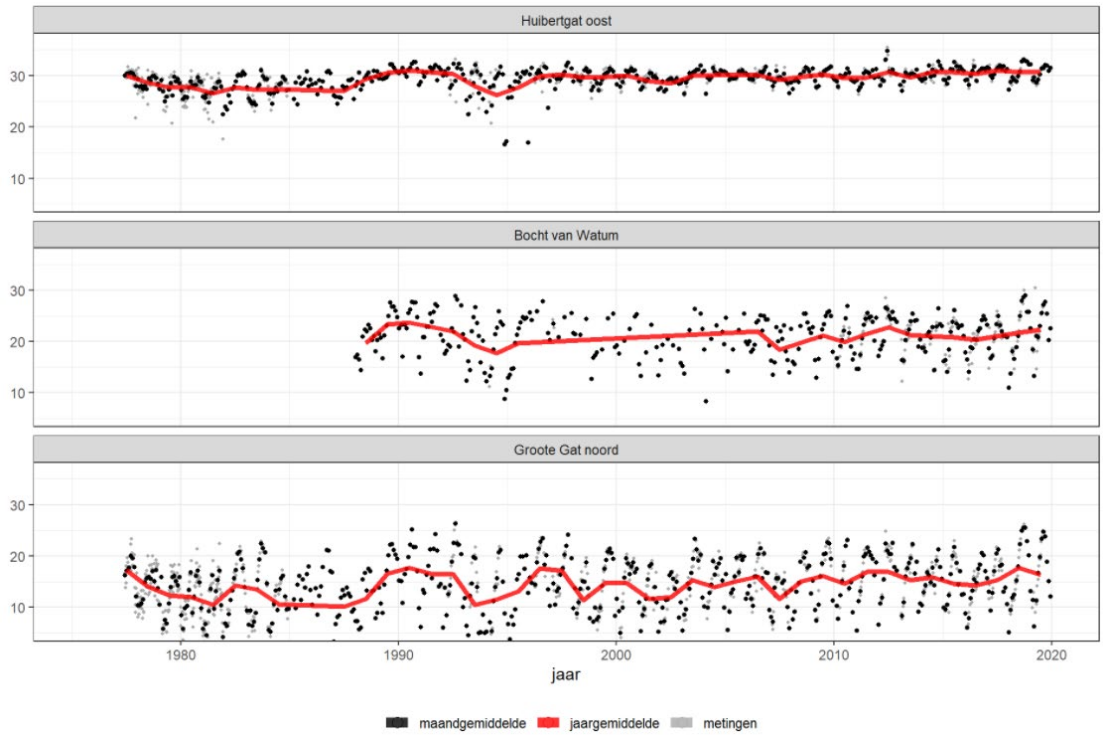
2.1.2 Saliniteit

Figuur 2-7 geeft de huidige situatie van de jaargemiddelde saliniteit in het Eemsestuarium weer voor een nat en een droog jaar. De saliniteit neemt af met de afstand tot de Noordzee.

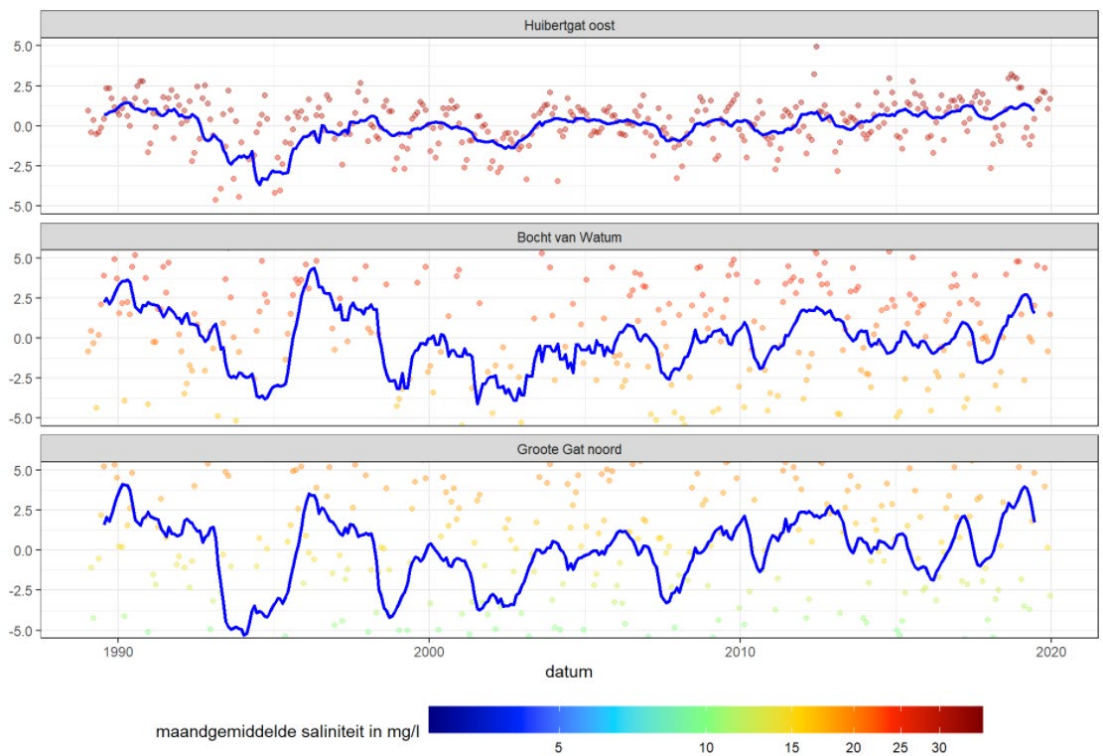


Figuur 2-7 Gemodelleerde gemiddelde zoutgehalte in het Eemsestuarium voor een nat (links) en een droog jaar (rechts) (Alkyon/Arcadis, Geovalley project, in Ysebaert et al., 2016). Waarden zijn weergegeven in gram NaCl per liter.

Metingen van de saliniteit sinds de jaren 1990 tonen aan hoe deze over de seizoenen fluctueert als gevolg van de afvoer van de Eemsvier en de Westerwoldsche Aa. Dieper in het estuarium is de fluctuatie groter dan dichterbij de Noordzee. Indien de relatieve afwijking van de saliniteit ten opzichte van het langjarig gemiddelde wordt berekend, zien we grote fluctuaties. De saliniteit over deze periode is licht toegenomen (Van Maren et al., 2015c).



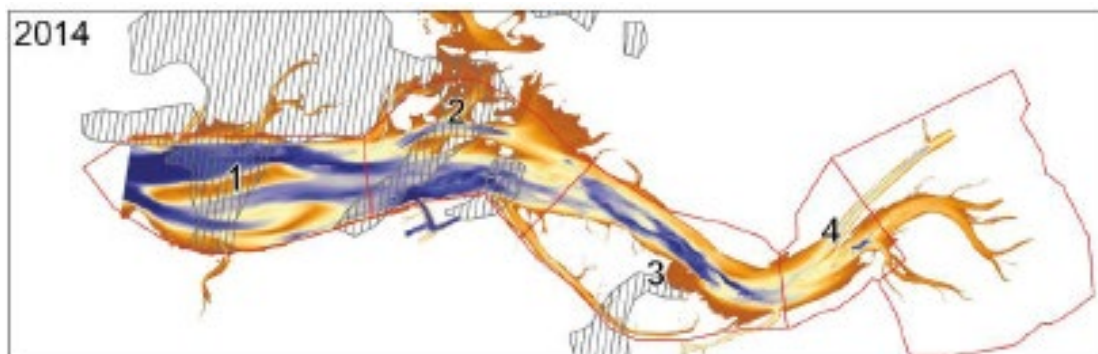
Figuur 2-8 Saliniteit op een drietal MWTL meetpunten in het estuarium tussen 1990 en 2020. Bron: Stolte et al. (draft).



Figuur 2-9 Anomalie van de saliniteit (afwijking van het langjarig gemiddelde) op een drietal MWTL meetpunten in het estuarium tussen 1990 en 2020. Bron: Stolte et al. (draft).

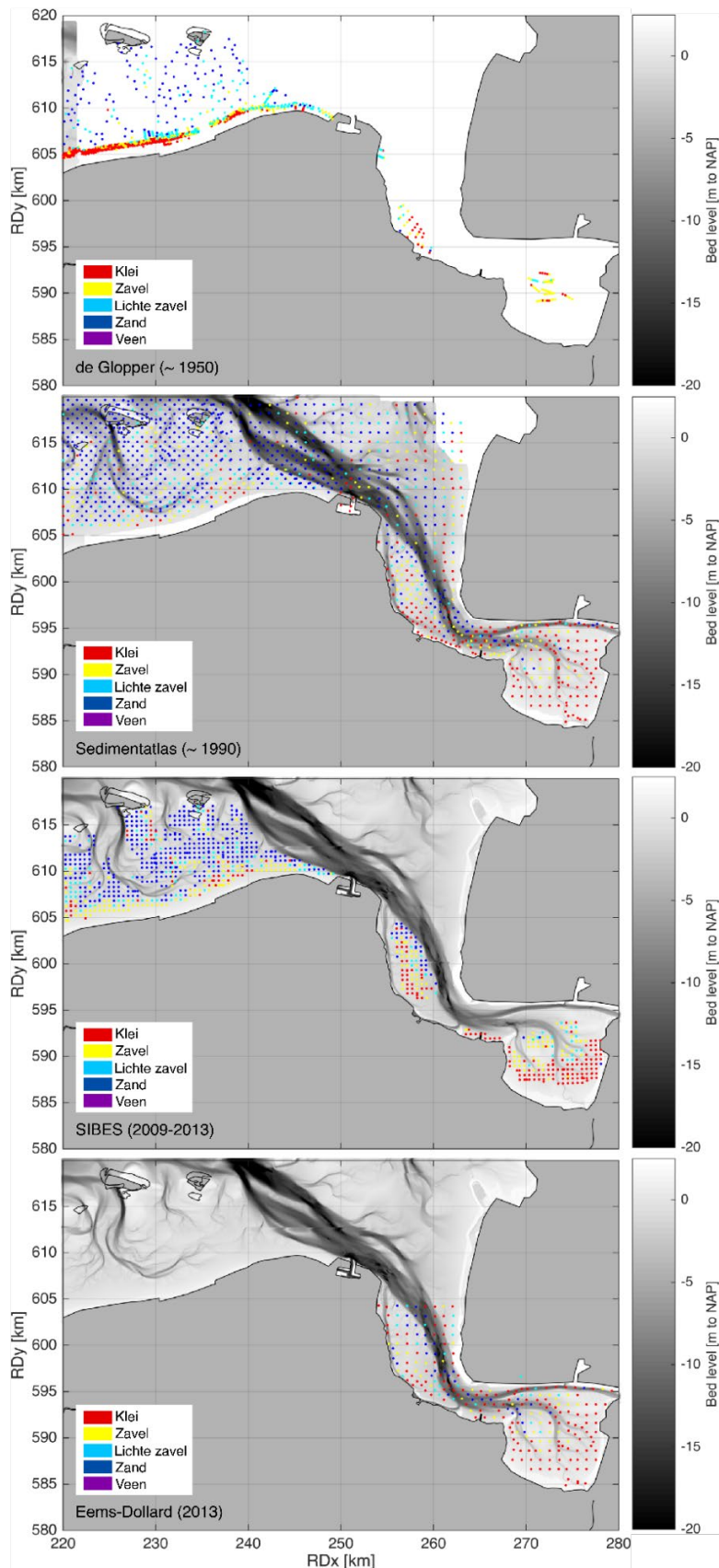
2.1.3 Sedimentsamenstelling op en in de bodem

Het Eemsestuarium bevat verschillende harde lagen in de bodem, waaronder keileem en potklei (Figuur 2-10). Deze harde lagen zijn veelal gevormd tijdens de ijstijden (Pleistoceen) of in het vroeg Holoceen. Het is gebleken dat de aanwezigheid van harde lagen in de ondergrond de diepte van de geulen in het estuarium beperkt. Op plekken waar Pleistocene harde lagen aan het oppervlak komen wordt het estuarium begrensd in diepte. Het estuarium is daar dan relatief breed. Bij toekomstige maatregelen of ontwikkelingen, waarbij het kombergend vermogen verandert en/of morfologische veranderingen optreden, spelen deze resistente lagen een belangrijke rol in de verwachte ontwikkeling van de geulen.



Figuur 2-10 De ligging van ondiepe harde Pleistocene lagen zijn grijs gearceerd weergegeven op de bathymetrie van 2014 (uit Pierik et al., 2019).

De bodemsamenstelling is gemeten in de jaren 1950, 1989, 2013, en als onderdeel van de SIBES metingen (vanaf 2009) – zie Figuur 2-11. Deze gegevens zijn niet uitgebreid genoeg om trends of veranderingen in bodemsamenstelling te detecteren. Data uit de jaren 1950 is bij lange na niet gebiedsdekkend. De sedimentatlas (~1990) en de meetcampagne uit 2013 zijn dat wel voor het zuidelijke deel van het estuarium en de Dollard. Er zijn geen grote verschillen in bodemsamenstelling waargenomen tussen de sedimentatlas en de meetcampagne in 2013. Verschillen worden ook deels veroorzaakt door een net iets andere monsterlocatie, en andere meetapparatuur (zelfde methode is gebruikt, maar niet exact hetzelfde instrument). Uit de dataset komt duidelijk naar voren dat Hond-Paap zandiger is aan de noordoostzijde en slibrijker aan de zuidwestzijde. Ook de Dollard is zeer slibrijk. De SIBES dataset is een andere databron voor de bodemsamenstelling rond 2013 op het intergetijdengebied. Bij vergelijking van de data uit het SIBES monitoringsprogramma en de 2013 campagne zijn wel verschillen waar te nemen in de bodemslibgehalten. Deze verschillen zijn toe te schrijven aan natuurlijke variatie en verschillen in monsternamen en monsterverwerking. Het geeft aan dat bij verschillen over de tijd rekening moet worden gehouden in een onnauwkeurigheid in de data als gevolg van natuurlijke variatie en monsternamen en -verwerking.



Figuur 2-11 Sedimentsamenstelling in het Eemsestuarium (aangepast uit: Colina Alonso, 2021) zoals bepaald door De Glopper in de jaren 1950, in de sedimentatlas rond 1990, volgens de SIBES meetcampagne voor de jaren 2009-2013 en voor de Eems Dollard meetcampagne in 2013. N.B. In de kaart van 1950 staat de Eemshaven ingetekend, maar die was destijds nog niet aangelegd.

2.2 Menselijke ingrepen

Het Eemsestuarium is sterk veranderd over de tijd. Menselijke ingrepen (Tabel 2.1) hebben veel invloed gehad op de ontwikkeling van het estuarium. Belangrijke economische activiteiten in het gebied zijn gaswinning (sinds 1964), havens (Eemshaven, Delfzijl, Emden), de Volkswagenfabriek en een scheepswerf bij Papenburg. In de volgende subparagrafen beschrijven we in meer detail enkele veranderingen in/van het estuarium gerelateerd aan vaargeulverdiepingen, landaanwinningen, delfstoffenwinning en bodemdaling.

Tabel 2.1 Veranderingen in het Eemsestuarium (op basis van Alkyon, 2007, Vroom et al 2012 en pers. comm. Herman Mulder). Verdiepingen zijn vetgedrukt.

Jaar	Ingreep
1277	Dollard ontstaat door overstromingen
1509	Dollard bereikt haar grootste omvang
1597-1924	Bedijkingen in de Dollard
1845-1848	Aanleg Emder Vaarwater
1860	Begin van het kanaliseren van de benedenloop van de Eemsrivier
1860-1899	Aanleg stuw bij Herbrum
1870-1968	Voortdurende aanleg en uitbreiding van kribben op de Geise
1876	Stuw bij Nieuwe Statenzijl
1898	Start baggeren Oost-Friesche Gaatje
1901*	Opening van de zeehaven van Emden. Het Vaarwater naar Emden wordt vanaf nu onderhouden op een diepte van 7m SKN (gemiddeld laag water springtij). Gaatjebocht wordt gebaggerd.
Begin 20e eeuw	Verlegging vaargeul van Bocht van Watum naar Oostfriesche Gaatje vanwege verondieping van de Bocht van Watum
1907	Nieuwe sluis bij Nieuwe Statenzijl
1911-1929*	De vaargeul tussen Emden en Leer wordt onderhouden op 4.8-5 m onder GHW en tussen Leer en Papenburg op 4-4.5 m onder GHW
1912-1924	Intergetijdengebied tussen Knock en Emden wordt bedijkt, aanleg strekdam Knock
1932	Verbinding geleidedam bij Knock naar Rijsum om de vaargeul te stabiliseren
1932-1939*	De vaargeul tussen Pogum en Leer wordt onderhouden op 5.5 m onder GHW en tussen Leerort en Papenburg op 4.1 m onder GHW
1954-1995	Ingebruikname Rysumer Nacken voor aan land brengen baggerspecie
1954	Stuw in de Leda
1955	Begin grote baggerwerken tussen Leerort en Papenburg
1954-1992	Gebruik landstort Emden-Riepe voor baggerspecie uit de haven van Emden
1959	Aanleg haven van Leer In Groningen wordt gestart met aardgaswinning
1960-?	Zomerdijken langs de benedenloop van de Eemsrivier worden vervangen door winterdijken
1960-1991	Dijken in NL worden verhoogd met zand uit het estuarium
1960	Verdieping van het Vaarwater naar Emden tot -8.5 m SKN (~GLWS) (in andere bronnen ook 1948 genoemd voor deze verdieping)
1961	Verdieping van het Vaarwater naar Emden tot -9 m SKN (~GLWS)
1963	Landaanwinning westelijk van Pogum
1963-1992	Dijken in Duitsland worden verhoogd met zand uit het estuarium
1969	Verruiming Huibertgat (diepgang 14 m)
1969-1972	Verlegging Oversteek Paapsand-Süd (aanloop naar Delfzijl) in westelijke richting. Oversteek Paapsand-Süd verbindt nieuwe ingang haven Delfzijl bij Oterdum met Gaatje Bocht
1971-1972	De toegang tot de haven van Emden wordt verdiept naar -12.5 m CD.

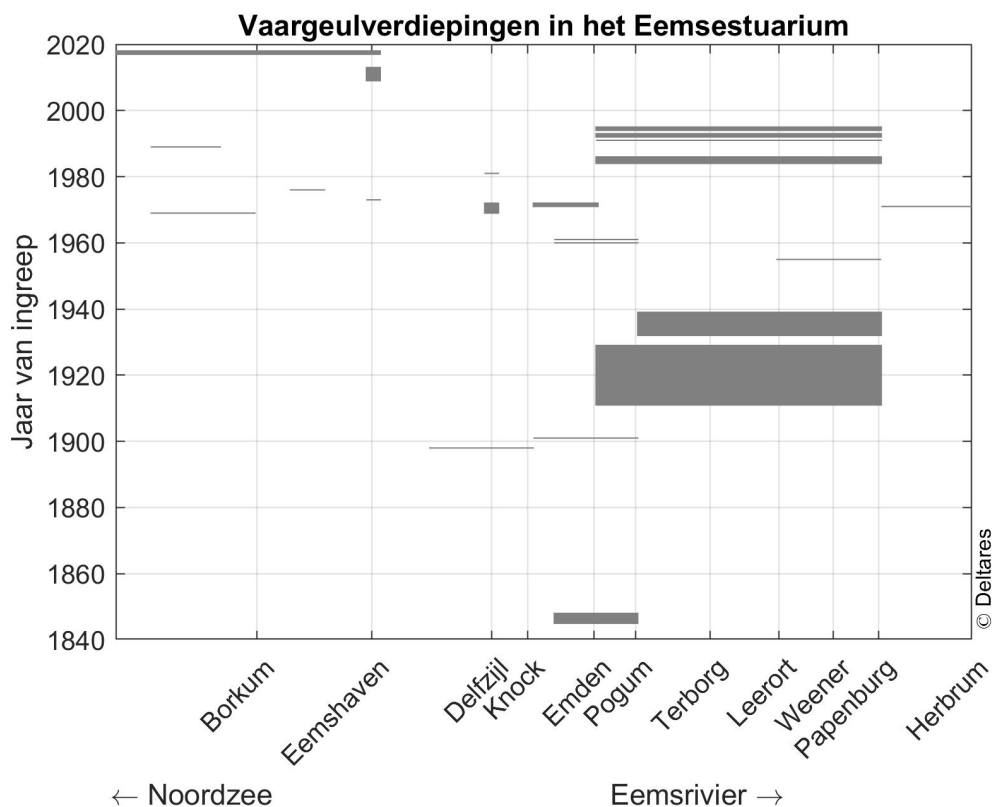
1971	Start baggeren bij sluis Herbrum
1972	Aanleg van het Zeehavenkanaal (lange strekdam bij de ingang) van de haven van Delfzijl Het baggeren van de Bocht van Watum wordt gestopt
1973	Opening van Eemshaven
1970's	Geiseleidamm raakt in verval
1976	Na verdieping drempel tussen Randzelgat en Doekegat verlegging hoofdvaarwater van Oude Westereems naar Randzelgat
1978-1987	Gebruik stortlocatie in de Mond van de Dollard voor baggerspecie uit Delfzijl
1981	Oversteek Paapsand-Süd bereikt streefdiepte van SKN -7,5 m (~GLWS)
1984-1986	Verdieping van de Eemsrivier tussen Emden en Papenburg naar -5.7 m GHW ('Homeric'-verdieping)
1987-1990	Gebruik stortlocatie bij Termunten (i.p.v. in de Mond van de Dollard) voor baggerspecie uit Delfzijl
1989	Verlegging hoofdvaarwater van Huibertgat naar Westereems (nadat deze op diepte was gebracht) Ingebruikname stortlocatie Oude Westereems voor baggerspecie Eemshaven (daarvoor ten noordwesten van Borkum)
1990	Ingebruikname stortlocatie Grote Gat
1991	Verdieping van de Eemsrivier tussen Emden en Papenburg naar -6.3 m GHW ('Zenith'-verdieping). Start waterinjectiebaggeren in haven Emden.
1992-93	Verdieping van de Eemsrivier tussen Emden en Papenburg naar -6.8 m GHW
1994-1995	Verdieping van de Eemsrivier tussen Emden en Papenburg naar -7.3 m GHW ('Oriana'-verdieping)
2001-2002	Aanleg Ems Sperrwerk bij Ditzum en verdieping vaarwater tussen Oldersum en Jemgum (Eemsrivier)
2001	Start met gebruik van airset voor het op diepte houden van de haven van Delfzijl
??-2004	Storten in de Bocht van Watum (gestopt in 2004)
2009	Start gebruik stortlocatie K2 in de mond van de Dollard door WSA
2009-2013	Verdieping van de Eemshaven en uitbreiding van de Beatrixhaven en Wilhelminahaven in Eemshaven
2017-2018	Verruiming Eemshaven – Noordzee, diepte 15,0 – 16,1 m

* Niet in overzicht Herman Mulder

2.2.1 Vaargeulverdiepingen

Het Eemsestuarium wordt al eeuwenlang beïnvloed door menselijke ingrepen. Al ruim een eeuw vinden vaargeulverdiepingen plaats en wordt er gebaggerd om de diepte te handhaven (Figuur 2-12). De eerste baggerwerkzaamheden concentreren zich rond het Oostfriesche Gaatje, het Vaarwater naar Emden en in de bovenstroomse delen van de Eemsrivier (tussen Leerort en Papenburg). Deze baggerwerken intensiverden en breidden zich in benedenstroomse richting uit. In het middendeel van het estuarium zijn de belangrijkste wijzigingen het verdiepen en uitruimen van het Oostfriesche Gaatje en het verlanden en uiteindelijk verlaten van de Bocht van Watum als vaarwater. Ook hebben er begin jaren 1970 wijzigingen plaatsgevonden rondom de haveningang van Delfzijl. In het Waddengedeelte van het estuarium is de vaargeul verplaatst van de Oude Westereems naar het Randzelgat en van het Huibertgat naar de Westereems. Ook is begin jaren 1970 de Eemshaven aangelegd. Heel recent is ook de vaargeul tussen Eemshaven en de Noordzee verder verdiept en verbreed. Details zijn opgenomen in Tabel 2.1. N.B. In Tabel 2.1 en Figuur 2-12 lijken verdiepingen rond het Oostfriesche Gaatje te ontbreken. Uit bodemkaarten (paragraaf 2.3.1) is wel een forse verdieping van het Oostfriesche Gaatje op te maken, maar het is lastig deze toe te wijzen aan specifieke vaargeulverdiepingen in een bepaald jaar.

In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op het effect van de vaargeulverdiepingen op de hydrodynamiek en de gesuspendeerde sedimentconcentraties.



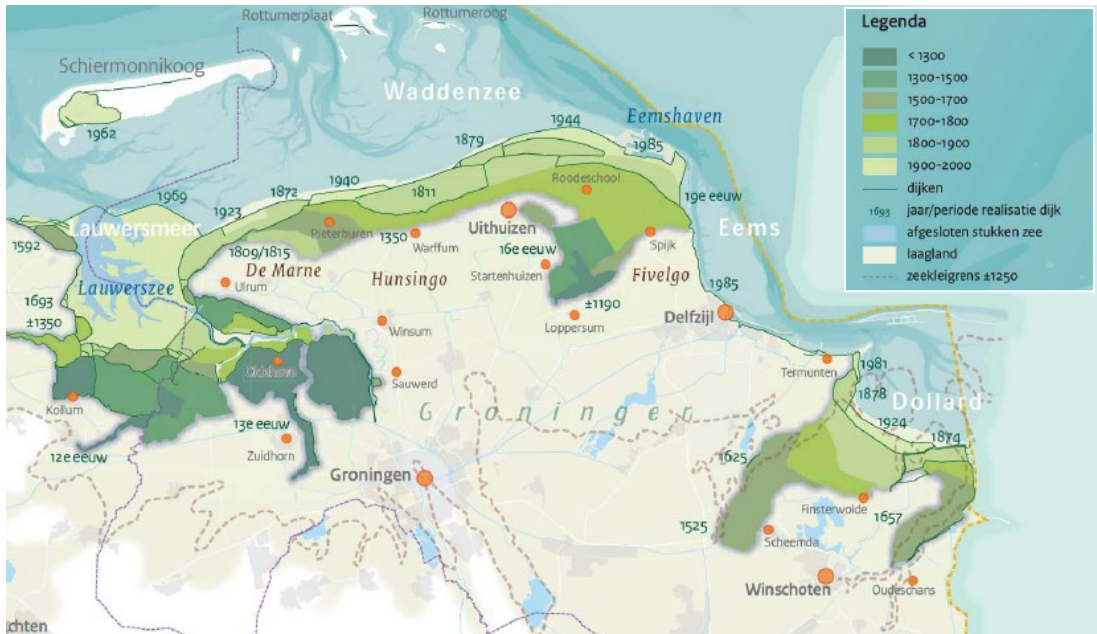
Figuur 2-12 Vaargeulverdiepingen langs het estuarium door de tijd. Lijnen/blokken geven het jaar of de periode aan waarin het betreffende traject is verdiept. Eerste balk in 1840's betreft de aanleg van het Vaarwater naar Emden. Het is niet bekend of dat gepaard is gegaan met baggerwerkzaamheden.

2.2.2 Landaanwinningen

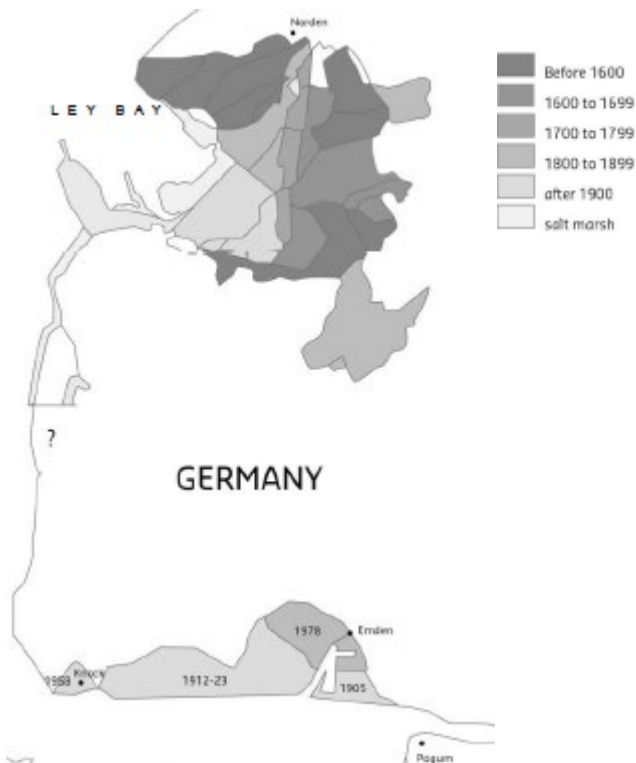
Sinds het ontstaan van de Dollard rond 1300-1500 zijn delen van de Dollard ingepolderd en is het Eemsestuarium bedijkt (De Smet & Wiggers, 1960; Van Maren et al., 2016) (Figuur 2-13; Figuur 2-14). In de Westerwoldsche Aa lag er sinds de 13^e eeuw al een sluis. In de loop der eeuwen is de sluis steeds noordelijker verlegd. De huidige sluis bij Nieuwe Statenzijl is in 1877 gebouwd.

Omdat in hoofdstuk 4 enkel wordt ingegaan op het effect van vaargeulverdiepingen en onderhoudsbaggerwerk op de vertroebeling, het bodemslibgehalte en de ecologie in het estuarium, wordt het effect van de landaanwinningen hier al beknopt beschreven.

De landaanwinningen hebben drie belangrijke effecten gehad op het hydromorfologisch functioneren van het estuarium. Allereerst is het kombergingsgebied verkleind, wat betekent dat de hoeveelheid water die in en uit het estuarium stroomt, is afgenomen. Ten tweede is de hoeveelheid plaatareaal (ook wel intergetijdengebied) afgenomen. Een afnemend oppervlak intergetijdengebied bij gelijkblijvend geulgebied leidt tot een sterkere vloeddominantie (bijv. Wang et al., 2002; Friedrichs, 2010), wat sedimentimport bevordert. Het derde effect is een verkleining van het oppervlak waarop slib kan sedimenteren door het verlies van intergetijdengebied (Dankers et al., 2019). Het gecombineerde effect van de landaanwinningen in de Dollard is dat er minder slib sedimenteert en meer slib in de waterkolom blijft. Dit heeft geleid tot een toename in de vertroebeling in het Eems estuarium (van Maren et al., 2016).



Figuur 2-13 Landaanwinningen en bedijkingen in het Eemsestuarium. Bron: brochure Morfologische veranderingen RWS.

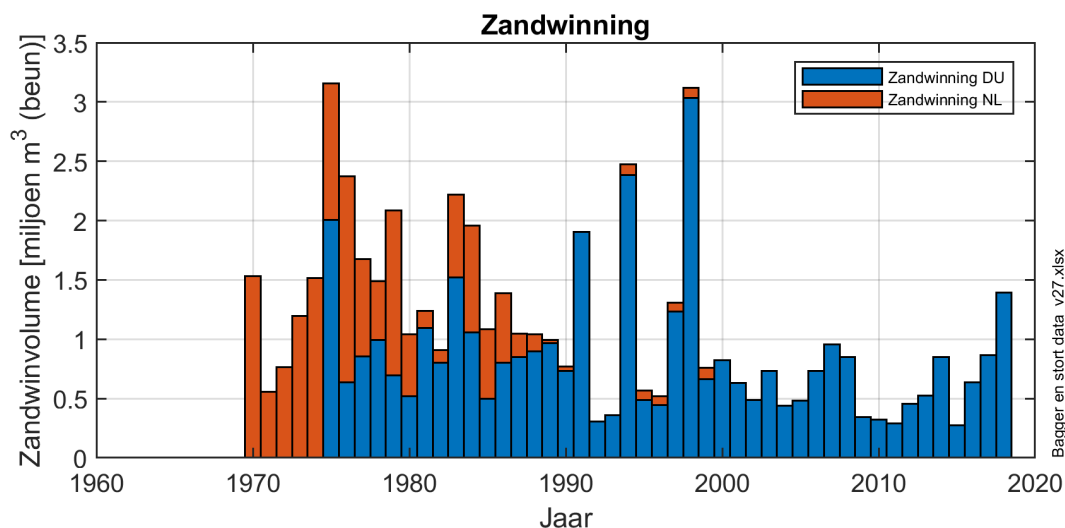


Figuur 2-14 Inpoldering van de Duitse gebieden, voor zover bekend (overgenomen van Vroom et al., 2012, aangepast van Esselink et al., 2011 naar Smet en Wiggers, 1960; Roeleveld, 1974, (van Cleveringa, 2008) en Niemeyer (1994)).

2.2.3 Delfstoffenwinning

Zand- en Schelpenwinning

In het estuarium vindt geen zand- of schelpenwinning meer plaats. Door regelgeving is de hoeveelheid zandwinning over de jaren heen afgenomen (Figuur 2-15). Sinds 2010 is het winnen van zand en schelpen door de Nederlandse overheid verboden, maar vanaf 2000 wordt al geen zand meer gewonnen door Nederland. Recent (1 januari 2020) is ook Duitsland gestopt met het afgeven van vergunningen voor commerciële zandwinning (conceptverslag 61^e Eemscmissie, 2019).



Figuur 2-15 Zandwinning in het Eemsestuarium.

Schelpenwinning werd voorheen gereguleerd toegestaan (Waddenzee.nl). Sinds 1998 is er een wijziging in het beleid waardoor er binnen het PKB-Waddenzee gebied (zie grens in Figuur 3-1) ten oosten van het wantij van Terschelling (dit bevat het Nederlandse deel van het Eemsestuarium) geen schelpenwinning meer plaatsvindt (MinLNV, 1998).

Olie- en gaswinning

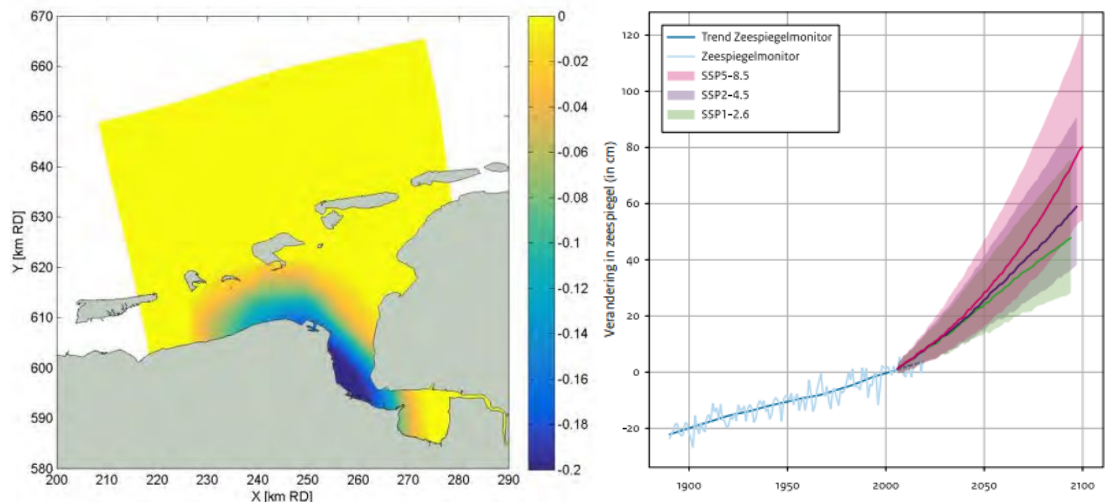
Binnen de grenzen van het Natura 2000-gebied wordt niet (meer) actief olie of aardgas gewonnen. Het uitvoeren van nieuwe olie- of gasboringen en proefboringen in het estuarium is volgens de Mijnbouwwet verboden (Derde Nota Waddenzee). Aan de rand van het Natura 2000-gebied bevindt zich in het dorp Bierum een actieve gaswinnings- en gasbehandelingslocatie (Kaart boringen | NLOG, ongedateerd). Naast een aantal boorputten op land loopt vanuit deze locatie een boortraject met vertakkingen (zogenoemde sidetracks) het Eemsestuarium in. In 2019 is vanuit alle boorputten op de locatie Bierum een hoeveelheid van 13 miljard m³ gas gewonnen (NAM, ongedateerd). In de Eemshaven en in de haven van Delfzijl vinden activiteiten voor de om- en opslag van gas en olie plaats (NAM, ongedateerd). De invloedssfeer van het Groninger Gasveld door bodemdaling reikt tot in het Natura 2000-gebied, zoals wordt getoond in de volgende paragraaf.

2.2.4 Bodemdaling en zeespiegelstijging

De ontwikkeling van het Eemsestuarium wordt beïnvloed door bodemdaling en zeespiegelstijging. Voor de bodemdaling door gaswinning wordt de voorspelling van NAM (2014) aangehouden (zie Figuur 2-16, links). Volgens deze voorspelling daalt de bodem van het estuarium lokaal nog maximaal 20 cm tot 2080. Uitgaande van een lineaire daling, komt dit neer op een bodemdaling van maximaal 10 cm in 2050.

Tot aan 2050 wordt een zeespiegelstijging van circa 20 cm voorspeld (Figuur 2-16, rechts). Hierbij is rekening gehouden met een bodemdaling van 0,5 mm/j. In 2021 zijn voor het jaar 2050, afhankelijk van het scenario, stijgingssnelheden van 0,28 tot 1,21 cm/j voorspeld door het KNMI.

Numerieke modelsimulaties (van Maren et al., 2019) suggereren dat het transport van zand onvoldoende is om zandige platen geheel mee te laten groeien met versnelde zeespiegelstijging. Echter, het aanbod van slib lijkt voldoende om zeespiegelstijging deels bij te houden middels slibsedimentatie. De slibrijke platen kunnen daarom waarschijnlijk redelijk goed meegroeien, maar zandige gebieden zullen slibrijker worden (Dankers, 2019; van Maren et al., 2019). De slibrijke platen (vooral in de Dollard) zullen daarom slibrijk blijven, maar platen zoals Hond-Paap welke ooit dominant zandig waren zullen steeds slibrijker worden bij bodemdaling en zeespiegelstijging. Dit wil zeggen dat de huidige slibrijke situatie bij autonome ontwikkeling nagenoeg blijft zoals deze nu is of slibrijker wordt.



Figuur 2-16 Links: voorspelde bodemdaling (2013-2080) door de gasproductie uit het Groningenveld (in m/eeuw), geprojecteerd op het gebied van het Eemsestuarium (o.b.v. NAM, 2014). Uit: Van Maren et al. (2017). Rechts: gemeten en voorspelde zeespiegelstijging inclusief 90%-bandbreedte volgens KNMI (2021).

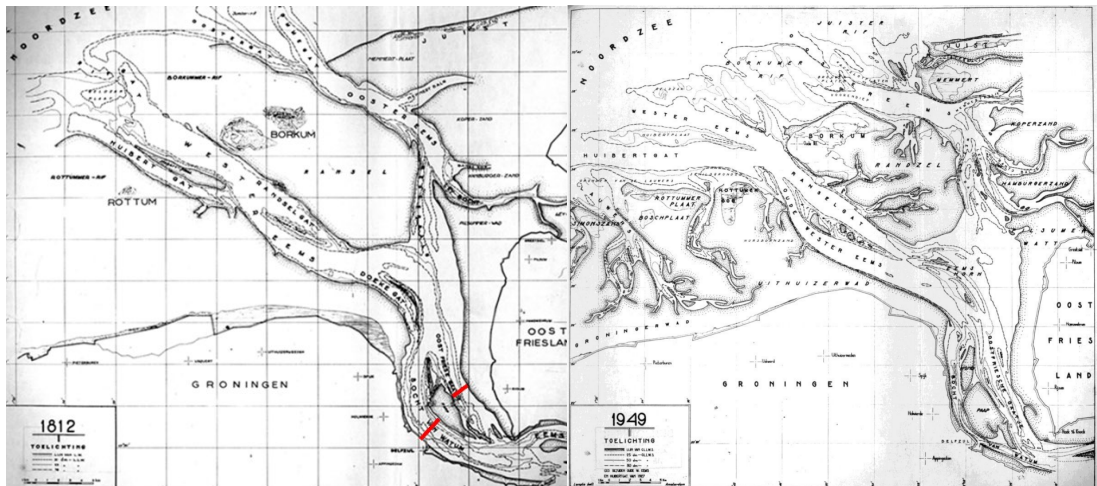
2.3 Morfologische veranderingen

2.3.1 Historische ontwikkelingen

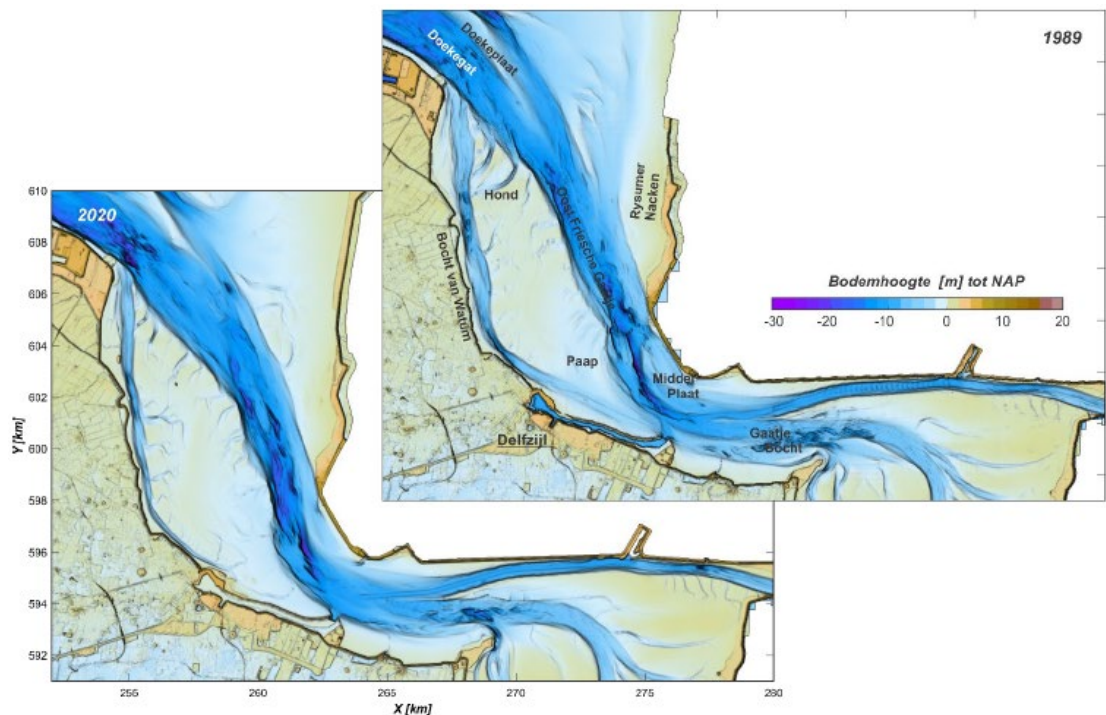
Een afname van het kombergingsgebied leidt tot een afname van het getijvolume (tenzij resonantie een rol speelt, zoals bij de afsluiting van de Zuiderzee). De sterke afname in komberging als gevolg van landaanwinningen (paragraaf 2.2.2) heeft het getijvolume dat in en uit het estuarium stroomt verkleind. Er is een correlatie tussen getijdevolume en dwarsoppervlak van geulen (bijv. Eysink, 1990; Gerritsen & de Jong, 1985). Als er voldoende sediment aanwezig is, leidt een verkleining van de komberging meestal tot een verkleining van de geulen en tot een afname in het aantal geulen. Belangrijke morfologische veranderingen in het systeem zijn de overgang van het twee-geulen systeem rond Hond-Paap naar een enkelgeulssysteem, en het degenereren van de Oostereems.

Rond 1812 was de Bocht van Watum de belangrijkste geul in het middendeel van het estuarium, breder dan het Oostfriesche Gaatje (Figuur 2-17). De Oostereems en de Westereems waren beiden belangrijke geulen, hoewel de Oostereems was gescheiden van het Doekegat via een drempel (Figuur 2-17). Tussen 1812 en 1949 verlandten zowel de verbinding tussen de Oostereems en het Doekegat, als wel de Bocht van Watum. Rond 1949 was het Oostfriesche Gaatje al de dominante geul, en dit verschil is nadien alleen maar

versterkt (Figuur 2-18). Een belangrijke vraag is welk mechanisme verantwoordelijk is geweest voor het verliezen van de verbinding met de Oostereems en de verlanding van de Bocht van Watum.



Figuur 2-17 Kaart van het Eemsestuarium in 1812 en 1949 (Gerritsen, 1952). De rode lijn geeft de locatie van het transect weer om de breedte van de vaargeulen in Figuur 2-19 te definiëren.



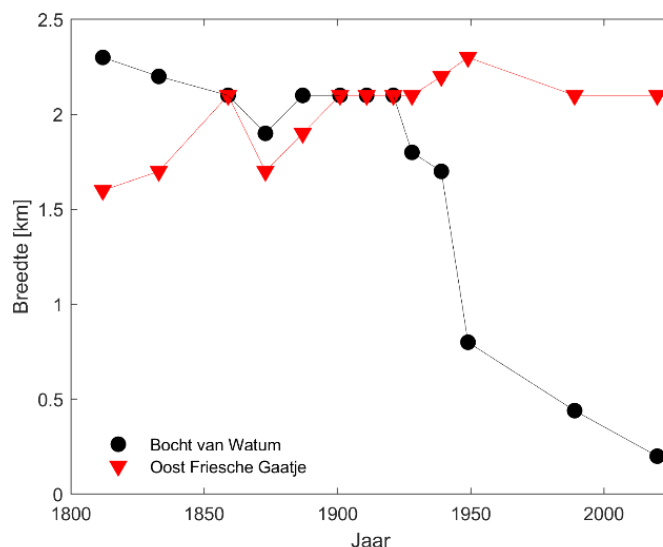
Figuur 2-18 Bodemligging in 1989 en 2020 (uit Elias et al., 2021).

Door Gerritsen (1952) wordt gesteld dat het inpolderen van de Dollard een grote invloed heeft gehad op de geulenpatronen in het Eems estuarium. Het getijprisma van de Dollard draineerde middels een sterk meanderende hoofdebeugel van de Dollard via Emden de bocht van Watum en de Westereems zeewaarts; deze hoofdebeugel werd geflankeerd door verscheidene vloedscharen. Een aanzienlijk deel van het getijprisma draineert nog via de Oostereems: volgens Gerritsen was de Oostereems oorspronkelijk de hoofdgeul. Dit relatief stabiele geulsysteem werd zwakker nadat het getijprisma vanuit de Dollard afneemt. Een belangrijke

overgang vind plaats rond 1901, wanneer een drempel tussen het Doekegat en het Oost Friesche Gaatje geleidelijk opgeruimd wordt. Deze opruiming wordt versneld door verdiepingswerkzaamheden in het Oostfriesche Gaatje in 1898-1901 (Gerritsen, 1952). Het Eemsestuarium is gevoelig voor verdiepingswerkzaamheden omdat de ondergrond deels uit harde Holocene en Pleistocene lagen bestaat (Pierik et al., 2022) welke niet door natuurlijke stromingen opgeruimd kunnen worden; verdiepingen waarbij dit harde materiaal wordt verwijderd kan daarom voor onomkeerbare veranderingen zorgen. Het is echter niet duidelijk in hoeverre dit harde materiaal is verwijderd tijdens de verschillende historische verdiepingen. Door de resulterende sterkere debieten door het Oostfriesche Gaatje vormt zich een drempel in de Bocht van Watum en treedt verlanding van deze laatste geul op. De stroming in het Oostfriesche Gaatje wordt lokaal versterkt door de aanleg van geleidedammen (eerst bij Knock, daarna ook naar Rysum, tussen 1912 en 1932 – zie Tabel 2.1). Hoewel de Bocht van Watum snel in breedte afneemt (Figuur 2-17) blijft deze nog wel diep: in 1949 zijn de Bocht van Watum en Oostfriesche Gaatje nog ongeveer even diep. Dit verandert snel in de periode daarna: de Bocht van Watum ten Zuiden van het eiland Paap is nog maar 5 meter diep rond 1989 (Figuur 2-18).

Een belangrijke vraag is dan ook in hoeverre deze veranderingen een gevolg zijn van de landaanwinningswerken in de Dollard, of van lokale ingrepen (baggerwerkzaamheden en waterbouwkundige ingrepen). Door van Maren et al. (2017) is met geïdealiseerde numerieke modellen onderzocht in hoeverre de opvulling van de Dollard kan leiden tot een verlanding van de doorgang naar de Oostereems en de Bocht van Watum (zoals gesteld door Gerritsen (1952). Hieruit bleek dat een enkel-geuls systeem het meest waarschijnlijk is voor de huidige situatie, terwijl een twee-geulen systeem verwacht mag worden in een Eemsestuarium waarbij de Dollard veel groter is (zoals enkele honderden jaren geleden). Maar hoewel het waarschijnlijk is dat de omvang van de Dollard bepalend is voor het voorkomen van een of twee geulen, vond de overgang van twee geulen naar een enkele geul plaats als direct gevolg van menselijk ingrepen.

Tot 1921 neemt de breedte van de Bocht van Watum geleidelijk af, en neemt de breedte van het Oostfriesche Gaatje geleidelijk toe (Figuur 2-19). Dergelijke geleidelijke veranderingen kunnen toegeschreven worden aan een vertraagde reactie op het opvullen van de Dollard. Het verdwijnen van de verbinding tussen de Westereems en Oostereems kan waarschijnlijk ook grotendeels worden toegeschreven aan de verlanding van de Dollard. Vanaf 1921 treedt een plotselinge sterke achteruitgang van de Bocht van Watum op. Deze sterke achteruitgang lijkt een gevolg van de dominantie van het Oostfriesche Gaatje (en resulterende drempelvorming in de Bocht van Watum) als gevolg van baggerwerkzaamheden en de aanleg van strek- en geleidedammen in het Oostfriesche Gaatje. Het lijkt er daarom op dat het geulensysteem instabiel werd door de inpoldering van de Dollard, maar dat baggerwerkzaamheden en waterbouwkundige werken de overgang aanzienlijk versnelden. Vanaf 1972 wordt de vaargeul door de Bocht van Watum niet meer onderhouden. Het verspreiden van baggerspecie in de Bocht van Watum (tussen 1972 en 2004) heeft vervolgens de sedimentatie in deze geul verder versneld. De teloorgang van de Bocht van Watum heeft niet geleid tot een verbreding van het Oostfriesche Gaatje (Figuur 2-19); wel is de geul dieper geworden (grotendeels door baggerwerkzaamheden).

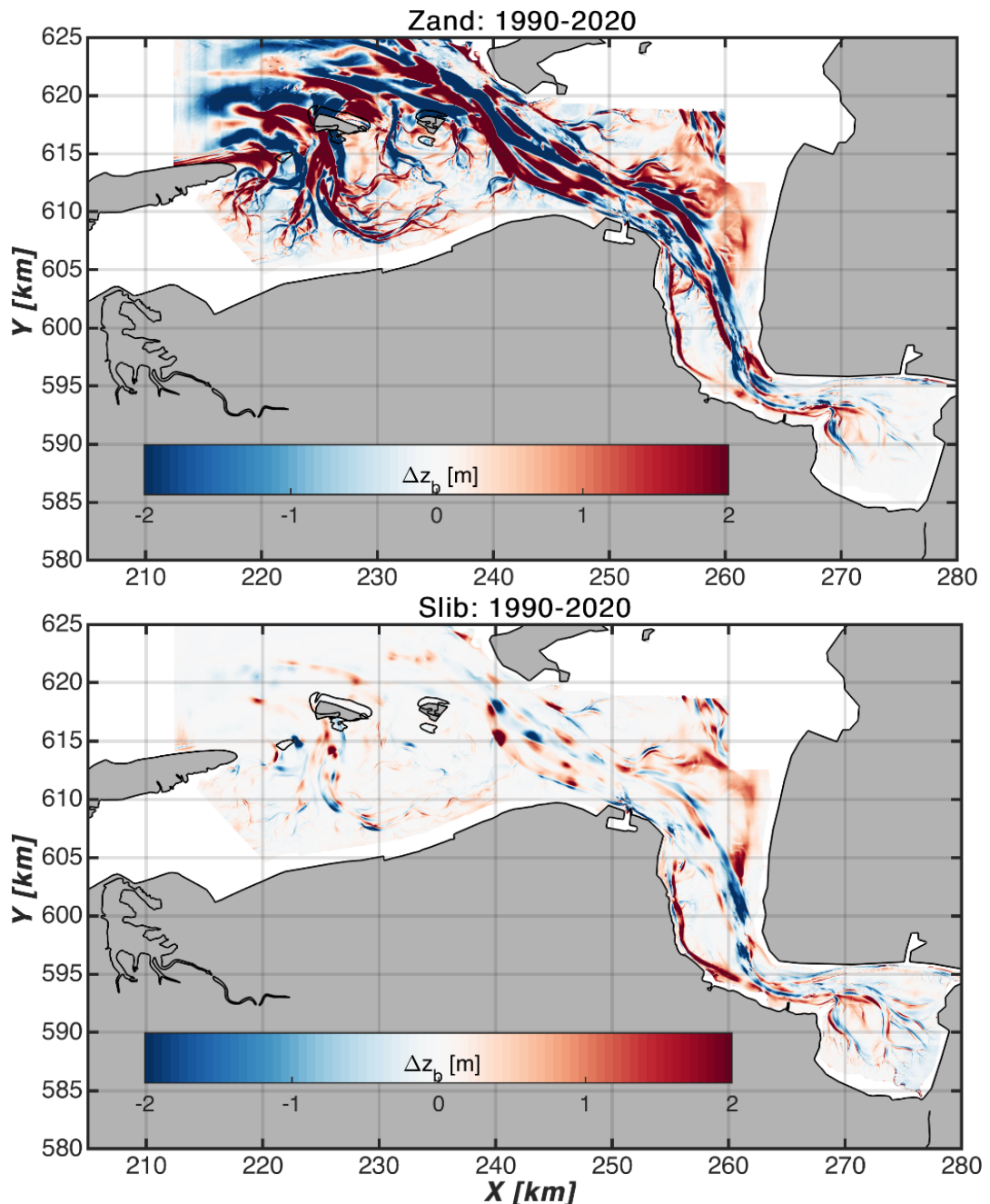


Figuur 2-19 Minimale breedte (gedefinieerd als de smalste breedte tussen de laagwaterlijnen) van de Bocht van Watum (tussen Delfzijl en het eiland Paap; zie locatie transect in Figuur 2-17) en Oost Friesche Gaatje (tussen het eiland Paap en de Rysummer Nacken). De breedte tussen 1812 en 1949 is geschat op basis van de kaarten van Gerritsen (1952) en tussen 1989 en 2020 op basis van de kaarten van Elias et al. (2021).

2.3.2 Recente ontwikkelingen

Een uitgebreide volumebalans voor het Eemsestuarium is gepresenteerd door Elias et al. (2021), gebruikmakend van bodemopnamen over de periode 1990-2020 en zand-slibverdelingen op basis van de sedimentatlas. Alle resultaten besproken in deze paragraaf zijn volledig gebaseerd op Elias et al. (2021). Om de leesbaarheid te vergroten wordt echter niet consequent gerefereerd naar deze rapportage.

Elias et al. (2021) laten zien dat de bodemveranderingen worden gedomineerd door bruto veranderingen van zand (vooral het mondingsgebied en middengebied) en slib (middengebied en Dollard), zie Figuur 2-20. Deze bruto veranderingen zijn vooral het gevolg van laterale migratie van geulen.



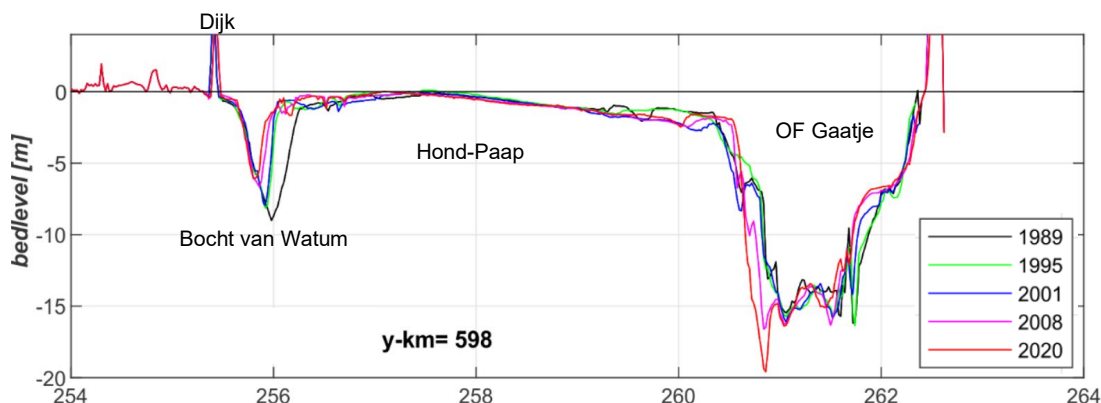
Figuur 2-20 Bijdrage van zand en slib aan de totale morfologische veranderingen over de periode 1989-2000. Uit Elias et al., 2021.

Daarnaast zijn er ook een aantal prominente netto veranderingen waar te nemen, namelijk:

- erosie van de kustzone (deels gecompenseerd door aanzanding rond de eilanden);
- sedimentatie op het Eemshornwad (de voormalige verbinding met de Oostereems);
- sedimentatie in de Bocht van Watum;
- verdieping van het Oost-Friesche Gaatje;
- sedimentatie langs de oostzijde van Hond-Paap.

Het betreft erosie en sedimentatie van zowel zand als slib. Netto veranderingen gemiddeld over de Dollard zijn klein. De sedimentatie op het Eemshornwad betreft ca. 75 miljoen m^3 over de periode van 30 jaar, waarvan 1/3 slib. Deze totale sedimentatie komt overeen met een gemiddelde hoogtoename van meer dan een meter over 30 jaar. In de Bocht van Watum is

over dezelfde periode ca. 30 miljoen m³ afgezet, waarvan de helft slib. Figuur 2-21 laat een doorsnede van het Eemsestuarium zien over de Bocht van Watum, Hond-Paap en het Oostfriesche Gaatje. Hierin is te zien hoe de plaat Hond-Paap aan weerszijden uitbreidt; hierdoor is de oppervlakte die boven de GLW ligt over de afgelopen 30 jaar toegenomen. De Bocht van Watum is smaller en ondieper geworden. Ter plaatse van deze doorsnede is de diepte meerdere meters afgenomen. Gemiddeld over de hele geul Bocht van Watum betreft de verondieping bijna 2 m. Bij het Oostfriesche Gaatje zien we aan de westzijde een verstelling van de geulwand. De geul wordt aan de westzijde dieper, terwijl de plaat Hond-Paap oostwaarts uitbreidt.



Figuur 2-21 Doorsnede in het middendeel van het Eemsestuarium, tussen Eemshaven en Delfzijl, ter hoogte van y-coördinaat 598 km (RD coördinatenstelsel).

Over de periode 1990 – 2019 is netto 105 miljoen m³ aan sediment afgezet in het Eemsestuarium (exclusief Waddeneilanden, kustzone en Groninger Wad). Hiervan is 58% zand en 42% slib: er wordt rond de 2 miljoen m³/j zand netto afgezet en 1.5 miljoen m³/j slib. De totale sedimentimport (van Waddenzee / Noordzee naar Eemsestuarium) is echter groter vanwege bodemdaling (vooral in slibrijke gebieden omdat hier de bodemdaling het sterkst was), sedimentonttrekkingen en kweldersedimentatie (slib). De import om voor bodemdaling te compenseren bedraagt 0,74 miljoen m³/j (Elias et al., 2021). Zandwinning in het estuarium leidde tot een onttrekking van ca. 0,5 miljoen m³/j (zie Figuur 2-15). Cleveringa (2018) heeft de sedimentatie in kwelders in het Eemsestuarium geschat op ongeveer 60.000 m³/j. Dit leidt tot een aanvullende import van 1.3 miljoen m³/j van vooral slibrijk materiaal. In de analyses van Elias et al. (2021) is echter geen rekening gehouden met onttrekkingen uit de Eemsrivier, wat een aanvullende post van 2.5-3 miljoen m³ (hoofdzakelijk slib) per jaar introduceert (gegevens uit dit rapport, zie paragraaf 3.2.5). Dit komt neer op een totale sedimentimport van 7,3 miljoen m³/j sediment; ruim de helft van dit materiaal bestaat uit slib (Tabel 2.2).

Tabel 2.2 Sedimentimport in miljoen m³ per jaar in het Eemsestuarium

Bijdrage	Zand	Slib	Totaal
Netto sedimentatie platen/geulen o.b.v. volumebalans	2	1,5	3,5
Bodemdaling	~0,37	~0,37	0,74
Onttrekkingen estuarium (zandwinning)	0,5	~0	0,5
Kweldersedimentatie	0,01	0,05	0,06
Onttrekkingen Eemsrivier	~0,5	2	2,5
Totaal	3,4	3,9	7,3

2.4 Veranderingen in vertroebeling

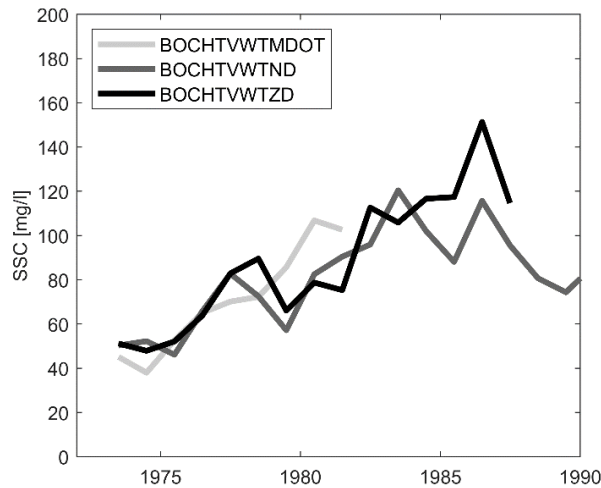
De SSC in het Nederlandse deel van het Eemsestuarium wordt op een consistente manier gemeten sinds 1990 (MWTL metingen). In het Duitse deel van het estuarium varieert de

begindatum, maar de meeste meetreeksen beginnen rond het jaar 2000 (vooral in de beneden Eemsrivier). Voor 1990 zijn metingen ad-hoc (eenmalige surveys) of inconsistent uitgevoerd (MWTL tussen 1973 en 1990). Indien metingen inconsistent zijn uitgevoerd, bijvoorbeeld steeds in een andere fase van het getij of op een andere diepte in de waterkolom bemonsterd, kan er niet worden vastgesteld of trends het gevolg zijn van veranderingen in het systeem of verandering van monitoringsmethode. Indien metingen ad-hoc zijn uitgevoerd, kunnen metingen zijn uitgevoerd in een periode met lagere of juist hogere vertroebeling. Als gevolg van seizoensfluctuaties en langjarige fluctuaties kan de SSC fluctueren met een factor 2 ten opzichte van het langjarig gemiddelde (Herman et al. 2018; Smits en van Maren, 2021).

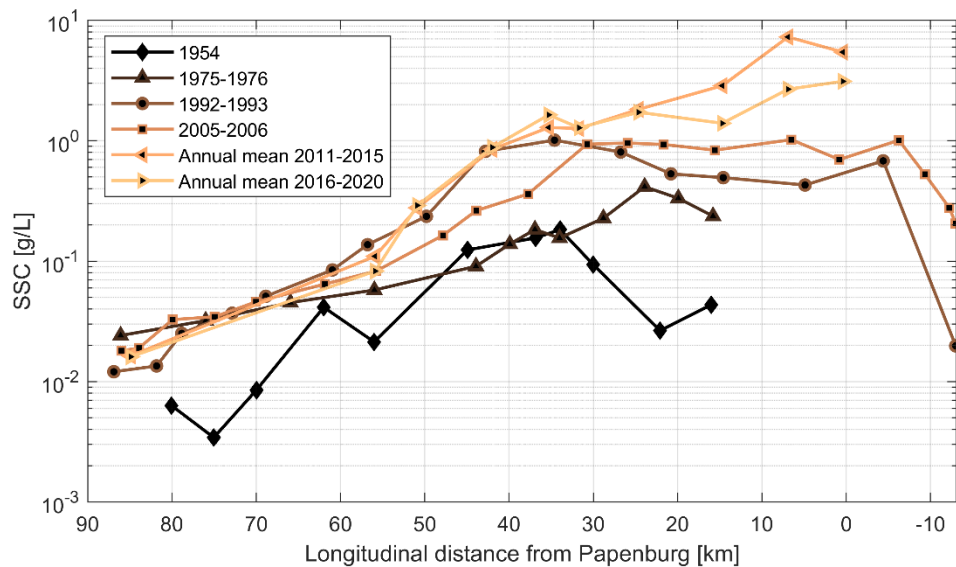
2.4.1 Ontwikkeling in SSC vóór 1990

Er zijn geen consistente, langjarige metingen van SSC beschikbaar die een gebiedsdekkend beeld kunnen geven van de vertroebeling en mogelijke veranderingen in de periode vóór 1990. Er zijn echter diverse indicaties, gebaseerd op directe observaties en modelsimulaties, dat de vertroebeling in bepaalde gebieden vóór 1990 wel degelijk is toegenomen. Het huidige niveau van vertroebeling wordt als hoog en onwenselijk beoordeeld. De belangrijkste aanwijzingen dat de SSC tot aan 1990 is toegenomen, zijn:

1. In de beneden Eemsrivier is de SSC toegenomen van enkele 100-en mg/l in de jaren 1950 tot enkele g/l tegenwoordig. Deze toename is met een factor 10 of meer groter dan de bandbreedte als gevolg van inconsistentie in de metingen. Ook is middels onderzoek vastgesteld dat de ingrijpende vaargeulverdiepingen in de Eemsrivier een terugkoppelingsmechanisme (zie beschrijving in paragraaf 4.1.5) in gang hebben gezet, die voor een toename van SSC heeft gezorgd in de Eemsrivier (Winterwerp & Wang, 2013; Dijkstra et al. 2019; Figuur 2-23). Voor de andere delen van het estuarium (zeewaarts van Knock) is dit terugkoppelingsmechanisme niet vastgesteld. N.B. Het mogelijk uitstralende effect van de zeer hoge SSC op de Eemsrivier het zeewaartse deel van het estuarium wordt momenteel nog onderzocht (Van Maren et al. 2021).
2. De concentraties tussen Pogum en Knock (km 35 en 53, grotendeels het vaarwater naar Emden) zijn ook toegenomen (Figuur 2-23). De metingen uitgevoerd in 1954 en 1975 lijken substantieel lagere SSC waarden aan te geven dan metingen uitgevoerd in 1993 en daarna.
3. De grote veranderingen in gemeten SSC tussen 1972 en 1990 in de Bocht van Watum. Deze veranderingen zijn groter dan veranderingen die kunnen worden toegeschreven aan gevolgen van inconsistente monitoring, en daarom geven deze metingen een reële trend weer. Figuur 2-22 toont dat de SSC in de Bocht van Watum meer dan verdubbeld is in de periode 1972-1990.
4. In het middendeel van het Eemsestuarium is de totale hoeveelheid biomassa van bodemfauna afgenomen sinds 1974, en is er een verschuiving vastgesteld van tweekleppigen (strandgaper, kokkel) naar slijbolerante bodemfaunasoorten zoals borstelwormen, slakken en het wadkreeftje (Compton et al., 2017). Dit suggereert dat het bodemslibgehalte in het middendeel van het estuarium is toegenomen (van Maren et al., 2020), hoewel er ook andere verklaringen kunnen zijn voor verschuivingen in bodemfaunasoorten zoals veranderingen in bodemdynamiek (intensiteit van erosie/sedimentatie).



Figuur 2-22 Jaargemiddelde SSC in de Bocht van Watum, gemeten tussen 1972 en 1990, in stations Bocht van Watum Oost (BOCHTVWTMDOT), Bocht van Watum Noord (BOCHTVWTND), en Bocht van Watum Zuid (BOCHTVWTZD). Uit van Maren et al. (2020).



Figuur 2-23 Logaritmische verdeling van SSC in het Eemsestuarium tussen 1954 en 2020. De SSC tot aan 2006 is op basis van scheepsmetingen gerapporteerd door de Jonge et al. (2014), de meer recente waarden zijn gemiddelden van continue metingen uitgevoerd door voornamelijk NLWKN (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserversorgung, Küsten- und Naturschutz). De scheepsmetingen zijn oppervlakte metingen, de continue metingen variëren (afwisselend een drijver of een meting op vaste hoogte boven de bodem). Zie voor details Smits en van Maren (2021). De verhoging van de concentratie in de Bocht van Watum is vooral goed te zien in Figuur 2-22 en niet in deze figuur, omdat voor deze figuur een ander station is gebruikt en de y-as een veel groter bereik heeft. Het buitendeel van het estuarium bevindt zich zeewaarts van km 53 (Knock); de Eems rivier landwaarts van km 35 (Pogum); Emden ligt bij km 40.

Bovenstaande punten geven aanwijzingen voor een toename in SSC in delen van het estuarium. Echter, zeewaarts van Knock zijn veranderingen niet aan te tonen. De zwevende stof metingen van Postma (1960), uitgevoerd in 1954, beschouwen het Oostfriesche Gaatje, de Bocht van Watum en het Doekegat. Deze metingen zijn op de meeste punten slechts in 1 fase van het getij genomen. In De Jonge (2014) zijn de metingen van het Oostfriesche Gaatje en de Bocht van Watum gemiddeld, terwijl de trends in SSC in beide geulen niet noodzakelijkerwijs hetzelfde hoeft te verlopen. Postma (1960) rapporteert een SSC in de zomer

van enkele mg/l tijdens kentering tot enkele tientallen (30-80) mg/l over de getijcyclus in de Bocht van Watum aan het wateroppervlak. Dit is vergelijkbaar met de waarden in Figuur 2-22. In het Oostfriesche Gaatje is de SSC ook enkele tientallen (8-70) mg/l. In de Dollard (Grote Gat) is tijdens vloed een SSC van 114 mg/l gemeten. Vanwege het niet systematische karakter en beperkte hoeveelheid metingen is niet te zeggen of de concentratie in 1954 werkelijk verschilde van die in 1975. Na 1975 zijn de concentraties af en toe hoger en af en toe lager, zonder een duidelijke, consistente trend.

Een oorzaak van de toename in delen van het estuarium kan worden gezocht in de veranderde morfologie. Uit numerieke modelsimulaties (Van Maren et al. 2015b) blijkt dat de sedimentimport en SSC is toegenomen als gevolg van morfologische veranderingen (zoals in Figuur 2-20). De morfologische veranderingen betreffen onder andere het verruimen van het Oostfriesche Gaatje door baggeren, zandwinning en/of morfologische ontwikkeling/respons op eerdere ingrepen of ingrepen elders, het sedimenteren van de Bocht van Watum (versterkt door verspreiden van baggerspecie in de Bocht van Watum) en sedimentatie op het Eemshornwad. In simulaties met enkel het effect van vaargeulverdieping (tussen Eemshaven en Emden) wordt een toename van de SSC in de Dollard berekend.

De veranderingen kunnen als volgt worden samengevat. In de Eems rivier heeft een zeer significante toename van de SSC plaatsgevonden (factor 10). Ook in de Bocht van Watum is het troebeler geworden, waarschijnlijk als gevolg van het dichtslibben van deze vaargeul in combinatie met verspreiden van gebaggerd slib. Elders in het Eems estuarium is geen verandering in SSC vast te stellen vanwege een gebrek aan consistent uitgevoerde metingen. In hoofdstuk 4 wordt in meer detail ingegaan op de relatie tussen ingrepen, waterbeweging, vertroebeling, bodemslibgehalte en morfologische veranderingen.

2.4.2 Ontwikkeling in SSC vanaf 1990

Eemsestuarium

Op basis van meetreeksen over de periode 1990 – 2011 is eerder vastgesteld dat de SSC in het Eemsestuarium significant toeneemt (o.a. Vroom et al., 2012; de Jonge et al., 2014). Echter, na deze periode lijkt de SSC weer af te nemen. Daarom zijn alle beschikbare SSC metingen na 1990 recent opnieuw onderzocht door Smits en van Maren (2021). Hierbij is de ruimtelijke en temporele variabiliteit geëvalueerd door de relatieve afwijking (anomalie) van de SSC uit te rekenen (Figuur 2-24). Hiervoor wordt de gemeten SSC gedeeld door een tijdsgemiddelde; een relatief hoge SSC leidt dan tot een anomalie boven 1 (en een lage SSC tot een waarde tussen 0 en 1).

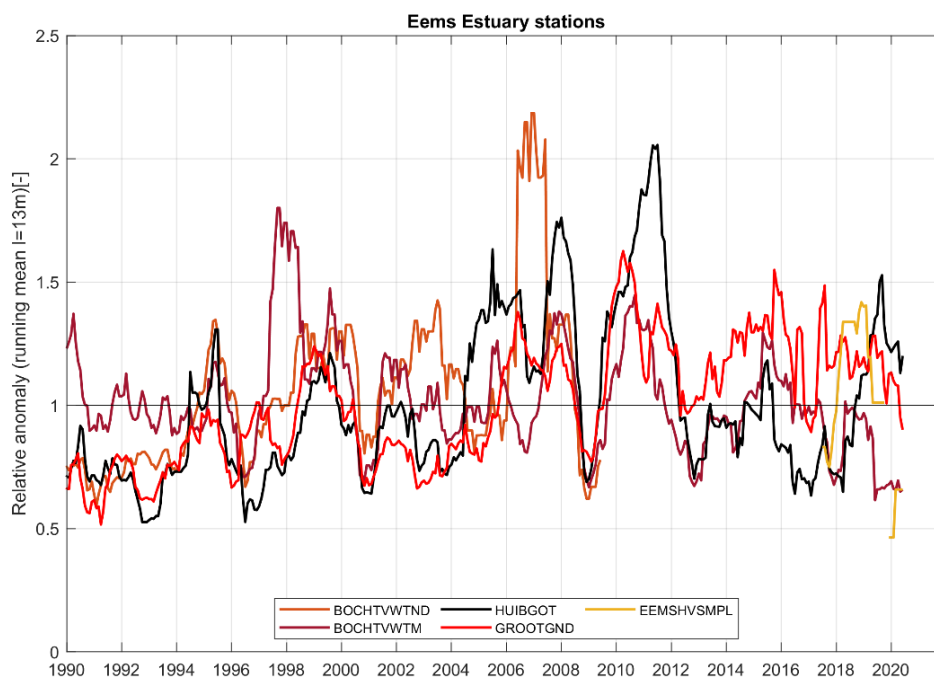
Een belangrijke bevinding van Smits en van Maren (2021) is dat de lange termijn verandering in SSC in het Eemsestuarium onderhevig is aan meerjarige cycli, waarbij periodes met verhoogde SSC afgewisseld worden met periodes met lagere SSC. Belangrijk voor een interpretatie van de mechanismen verantwoordelijk voor de temporele variabiliteit is de ruimtelijke samenhang van de meetreeksen. Opvallend is dat de verschillende meetstations in de Eems onderling correlatie vertonen. In Figuur 2-24 is te zien dat op alle stations de SSC laag is in 2009, gevolgd door een piek in 2010 – 2011, met opnieuw een minimum in 2013. Deze fluctuaties komen qua timing overeen met de fluctuaties die ook zijn waargenomen op de Waddenzee stations door Herman et al. (2018). Figuur 2-25 toont ter illustratie de samenhang in SSC fluctuaties tussen Huibertgat en Vliestroom (100 km westwaarts van Huibertgat): in de periode 2009 – 2013 treden de pieken gelijktijdig op. Dit betekent dat de fluctuaties over een veel groter gebied optreden dan het Eemsestuarium, en dus ook veroorzaakt worden door een grootschalig proces of forcering. Omdat de fluctuaties op de getoonde stations in het Eemsestuarium en de Waddenzee gelijktijdig optreden, is het onwaarschijnlijk dat deze worden veroorzaakt door lokale menselijk ingrepen in het

Eemsestuarium, zoals vaargeulverdiepingen of havenuitbreidingen. Omdat de variabiliteit moeilijk te relateren is aan de variabiliteit in de Noordzee is een koppeling met grootschalige ingrepen buiten de Waddenzee (bijvoorbeeld de aanleg Maasvlakte 2) ook onwaarschijnlijk (Herman et al., 2018). In Herman et al. (2018) en Herman et al. (2020) is de hypothese opgeworpen dat de variabiliteit in de tijd gekoppeld is aan meteorologische effecten (stormcondities of temperatuur en daarmee samenhangend biologische activiteit), die mogelijk leiden tot het opladen van tijdelijke slibbuffers in met name de Waddenzee en het Eems estuarium. De aanwezigheid van tijdelijke buffers leidt tot periodes met hogere SSC en periodes met lagere SSC. Meteorologische sturing lijkt vooralsnog de meest plausibele verklaring, maar meer onderzoek is nodig om hier meer zekerheid over te krijgen.

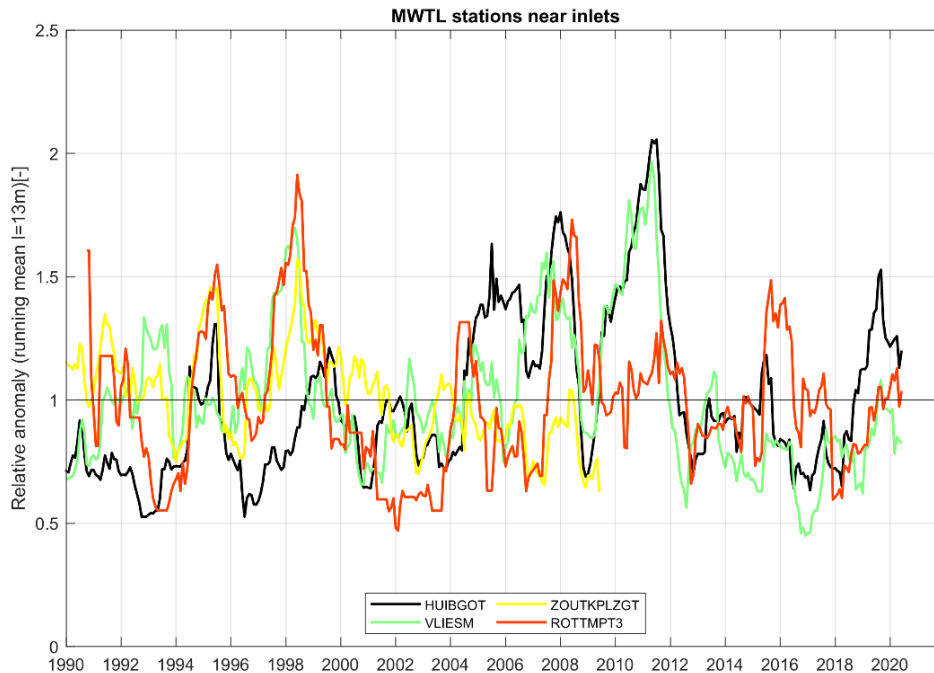
De meerjarige fluctuaties hebben geresulteerd in een periode met relatief hoge SSC in de periode 2004 – 2012 (Figuur 2-24). Een gevolg hiervan is dat trendanalyses uitgevoerd over de periode 1990 – 2011 (Vroom et al., 2012; de Jonge et al., 2014) een significante positieve toename suggereerden. Voor de stations in het zeegat en het middendeel van het Eemsestuarium (Huibertgat en Bocht van Watum) is bij heranalyse van de tijdreeksen over de periode 1990-2020 door Smits en Van Maren (2021) geen significante positieve trend vastgesteld. Dit geeft aan dat er bij het analyseren van SSC data en het uitvoeren van trendanalyses goed gekeken moet worden naar de langjarige variaties. Het is zeer belangrijk om tijdreeksen met voldoende lengte te gebruiken (3 decennia of meer).

Dollard

Dieper in het estuarium, op het meetstation Grote Gat Noord in de Dollard, neemt de SSC wel trendmatig toe (Figuur 2-24), en ook over de langere periode 1990-2020 is deze toename statistisch significant (Smits en van Maren, 2021). Het is waarschijnlijk dat dit meetstation representatief is voor een deel van de Dollard.. Het is niet bekend waarom deze toename in SSC optreedt; hier wordt in Hoofdstuk 4 verder op in gegaan.



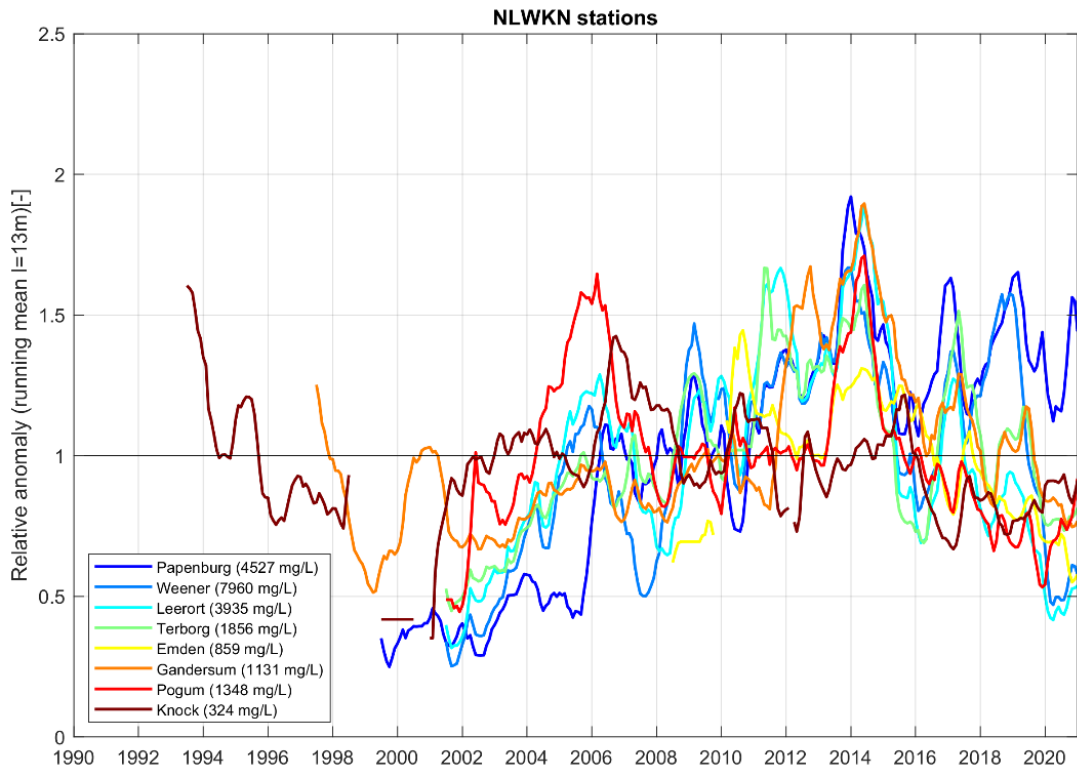
Figuur 2-24 Relatieve afwijking van SSC gemeten op MWTL stations in het Eemsestuarium: Bocht van Watum Noord (BOCHTVWTND), Huibert Gat (HUIBGOT), Meetpaal Eemshaven (EEMSHVSMPL), Bocht van Watum (BOCHTVWTM) en Grote Gat Noord (GROOTGND). Uit Smits en van Maren (2021).



Figuur 2-25 Relatieve afwijking van SSC gemeten op MWTL stations in toegangseulen van verschillende Waddenzee bekkens (HUIBGOT en ROTTMPT3 zijn stations in de toegangseul in het Eemsestuarium, VLIESM (Vliestroom) en ZOUTKPLZGT (Friesche Zeegat). Uit Smits en van Maren (2021).

Eemsrivier

De metingen in de beneden Eemsrivier (Papenburg – Pogum) zijn onderling redelijk goed gecorreleerd (Figuur 2-26). Tussen 2000 en 2014 lijkt de SSC toe te nemen, maar vanaf 2015 laten alle meetstations, op Papenburg na, een afname zien. Hoewel we correlatie binnen deelgebieden zien, is de correlatie tussen deelgebied estuarium (Figuur 2-24) en deelgebied Eemsrivier (Figuur 2-26) zwak of afwezig. Dit betekent dat de fluctuaties in de Eemsrivier en het estuarium niet synchron lopen, en ze dus door andere processen worden gestuurd. Ook in de beneden Eemsrivier zijn grote fluctuaties in SSC waarneembaar. Een periode van 20 jaar, zoals getoond in Figuur 2-26, is te kort om een trend te kunnen bepalen. Echter, met de oudere meetdata is op de tijdschaal van decennia een trendmatige toename van de SSC in de Eemsrivier waarneembaar (factor 10, zie Figuur 2-23). Dit betekent dat bovenop de langjarige toename in SSC grote fluctuaties in SSC optreden in de Eemsrivier.



Figuur 2-26 Relatieve afwijking van SSC gemeten op NLWKN stations tussen Knock (in het Eemsestuarium) tot aan Papenburg (meest landwaartse station in de beneden Eemsvier). Uit Smits en van Maren (2021).

2.4.3 De rol van de Eemsvier op de SSC

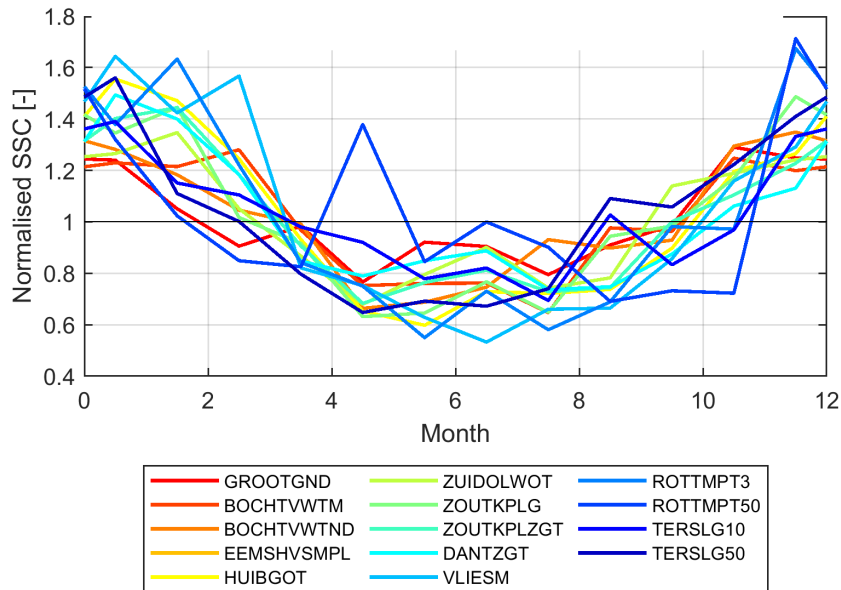
In de Waddenzee en het middendeel van het Eemsestuarium is de SSC hoger in de winter dan in de zomer (Figuur 2-28): in de winter typisch 30-50% hoger en in de zomer 30-50% lager dan het langjarig gemiddelde. Deze verdeling is vrij uniform: hoewel de mate van uitwijking varieert is de fasering consistent. Deze variatie is het gevolg van seizoensvariaties in golfenergie, meteorologische forcering en bio-fysische interacties. Het relatieve belang van deze processen is onbekend. De Eemsvier laat ook een seizoensvariatie in SSC zien. Deze wordt sterk gestuurd door de rivierafvoer (Figuur 2-28).

In het meest landwaartse station (Papenburg) is de SSC maximaal in de zomer (minimale zeewaartse spoeling door de rivierafvoer); in de zeewaartse stations is de SSC maximaal in de winter. Het wintermaximum in Knock (niet getoond) is waarschijnlijk een gecombineerd effect van meteorologie, biofysische interacties (als in Figuur 2-28) en deels de uitspoeling door de rivierafvoer.

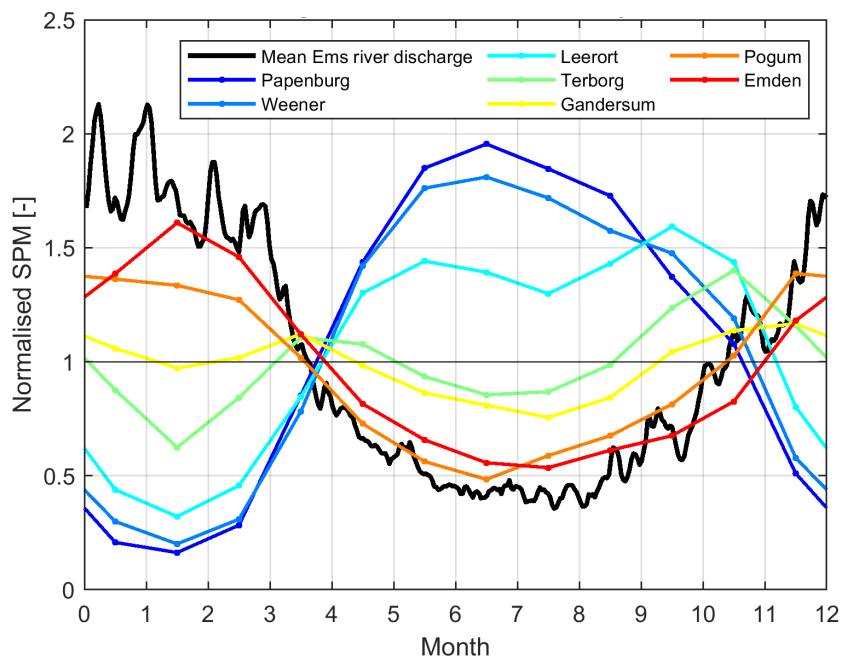
Het verloop van de zomergemiddelden en wintergemiddelden lijkt op sommige locaties door de tijd te verschillen. Voor zowel de stations Groote Gat Noord als Bocht van Watum Noord lijken de wintergemiddelden over de getoonde periode toe te nemen, terwijl de zomergemiddelden veel minder veranderen (Figuur 2-29). Dit is mogelijk een gevolg van uitspoeling van slib vanuit de Eemsvier tijdens de winter. Motivaties hiervoor zijn dat

- (1) de seizoenspatronen in SSC in de Eemsvier wijzen op uitspoeling, in ieder geval tot aan station Knock (waar de seizoensvariatie sterker is dan bij andere stations in het Eemsestuarium)
- (2) een toename van SSC in de Eemsvier (Figuur 2-23). Voor station Groote Gat Noord neemt ook de jaargemiddelde SSC toe, zoals eerder vermeld. Dit is een

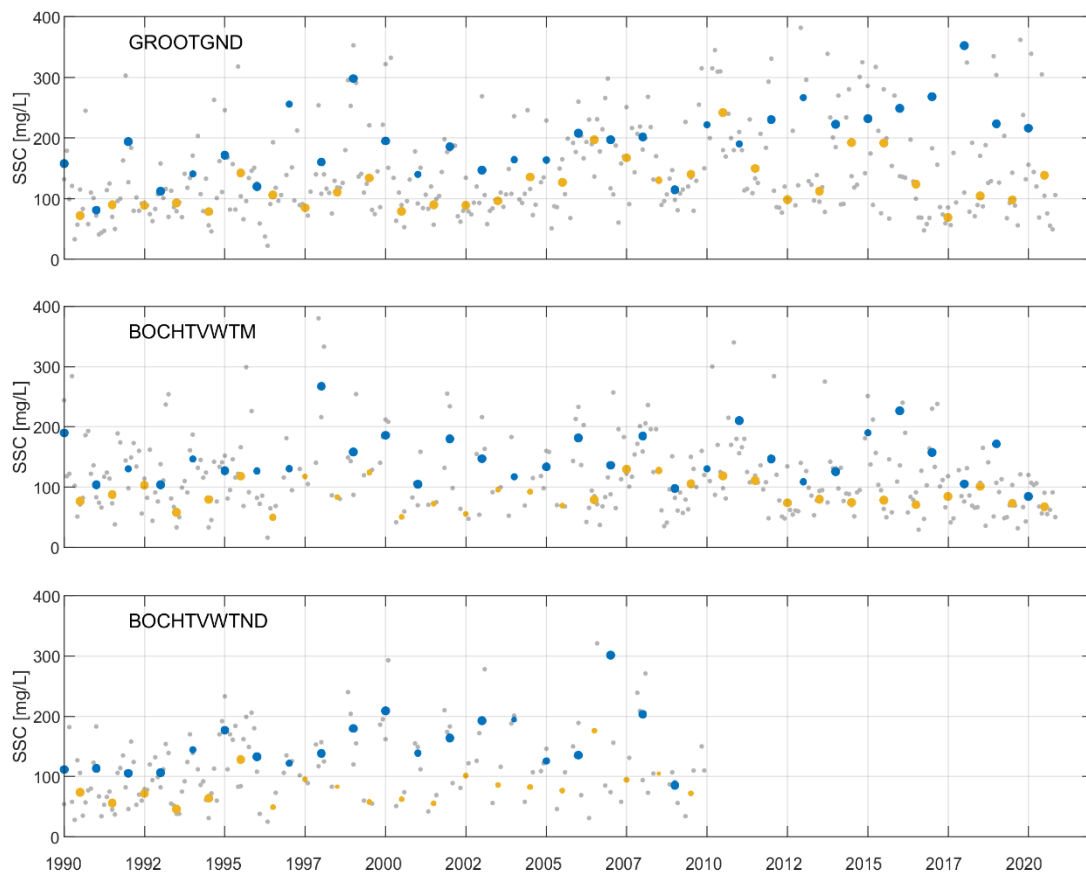
aanwijzing dat SSC bij Groote Gat wordt beïnvloedt door de Eems rivier, hoewel het geen bewijs is hiervoor.



Figuur 2-27 Genormaliseerde variatie in SSC in de Waddenzee, Noordzee en Eemsestuarium. Uit Smits en van Maren, 2021.



Figuur 2-28 Genormaliseerde variatie in SSC in de Eemsrivier, en gemiddelde rivierafvoer (zwart). Uit Smits en van Maren, 2021.



Figuur 2-29 SSC per individuele meting (grijs) en gemiddeld over zomer (geel) en winter (blauw) voor stations Grote Gat, Bocht van Watum en Bocht van Watum Noord. Uit Smits en van Maren, 2021.

3 Bagger- en verspreidingsgegevens

Dit hoofdstuk visualiseert de bagger- en verspreidingsgegevens zoals we die voor de periode vanaf 1960 hebben kunnen achterhalen. In deze gegevens zitten meerdere onzekerheden en missende stukken informatie:

- Het is soms onduidelijk in hoeverre aanlegvolumes als gevolg van vaargeulverdiepingen en havenuitbreidingen in de bagger- en verspreidingsgegevens zijn opgenomen;
- Er is nauwelijks gedetailleerde informatie over het zand/slibgehalte beschikbaar. Omdat slib in het beun over het algemeen veel meer water bevat dan zand, kan een toename van de baggervolumes ook worden veroorzaakt door een veranderde samenstelling van het gebaggerde materiaal;
- Sommige volumes zijn gerapporteerd in het beun, andere in tonnen droge stof (TDS). Het omrekenen van volumes naar massa is afhankelijk van de sedimentsamenstelling en daardoor niet eenvoudig.
- Bij de inzet van airset (in de haven en toegangsheul van Delfzijl) is het gerapporteerde baggervolume een grove schatting op basis van de tijdsduur waarop de airset in werking is geweest.

3.1 Bagger- en verspreidingslocaties

Het baggeren en verspreiden gebeurt op verschillende locaties in het Eems estuarium (Figuur 3-1). Het baggeren vindt voornamelijk plaats in de havens Eemshaven en Delfzijl, in de Eemsrivier en in de vaargeul door het estuarium. Om de locatie van de baggerwerkzaamheden in de vaargeul te kunnen aangeven wordt hier gesproken over baggervakken. De vaargeul ligt op Nederlands/Duits grondgebied. De vaargeul van de Eemsrivier tot Eemshaven (ongeveer tot km 73) wordt door Duitsland op diepte gehouden. Voor het verspreiden van gebaggerd materiaal maakt Duitsland gebruik van verschillende verspreidingslocaties (Klapstellen) K5, K6, K7 en de gezamenlijke Nederlands-Duitse locaties P0/K2, P4/K1, P2a/K3 en P2/K4. Op de gezamenlijke locaties wordt nauwelijks baggerspecie verspreid door Duitsland, omdat deze ver van de baggerlocaties liggen.

De vaargeul vanaf Eemshaven tot aan de Noordzee wordt op diepte gehouden door Nederland. Voor het verspreiden van gebaggerd materiaal kan Nederland gebruik maken van P1, P3, P5 en de gezamenlijke locatie P0/K2. Daarnaast wordt door Groningen Sea Ports baggerspecie uit de Eemshaven verspreid op P5A, Oude Westereems/P5 en P6. Een klein deel van de baggerspecie uit de haven van Delfzijl en Oversteek Paapsand Süd wordt op Groote Gat verspreid. Het merendeel van de baggerspecie wordt bij Delfzijl opgewoeld door middel van een airset (definitie zie paragraaf 1.3), waarna het door de ebstroming wordt meegenomen.



Figuur 3-1 Bagger- en verspreidingslocaties in het Eemsestuarium. Rode lijn geeft de grens van het beheergebied (PKB-gebied) aan. Een deel van de verspreidingsvakken en een deel van de vaargeul valt buiten het PKB-gebied.

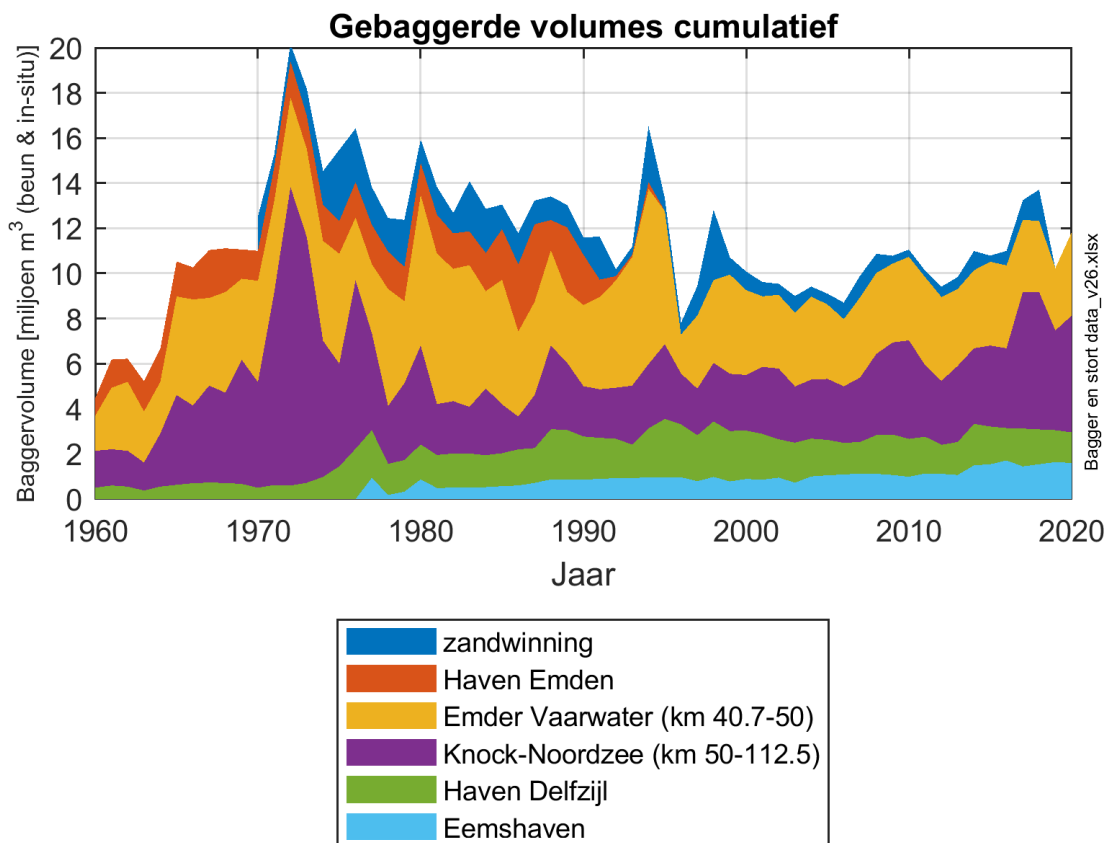
3.2 Langjarige baggergegevens (1960 – 2020)

3.2.1 Overzicht estuarium

Bagger- en zandwinvolumes in het Eemsestuarium (excl. Eemsrivier) zijn beschikbaar sinds 1960 (Figuur 3-2). In deze periode zijn veel verdiepingen uitgevoerd in het Emders Vaarwater, de Eemsrivier en het midden- en Waddendeel van het estuarium, waar drempels zijn verwijderd en de vaargeul is verlegd. In paragraaf 2.2 is een overzicht gegeven van de verdiepingen.

Het huidige jaarlijkse totale baggervolume ligt rond de 12 miljoen m³ (zand en slib) per jaar in beun en deels in-situ. In Figuur 3-2 is duidelijk te zien dat er vanaf ongeveer 1965 een sterke toename is geweest in baggervolumes ten gevolge van de verdiepingen. De hogere baggervolumes vonden vooral plaats tussen 1970 en eind jaren 1990. In de periode vanaf 2000 schommelt de totale hoeveelheid baggerwerk tussen de 9 en 14 miljoen m³ (zand en slib) per jaar.

In het Emders Vaarwater (km 40 – km 50) wordt ongeveer evenveel gebaggerd als in het gehele tracé benedenstrooms ervan, tot aan de Noordzee (km 50 – km 112). De baggervolumes van de Eemshaven en de haven van Delfzijl zijn vergelijkbaar van grootte, en die van Eemshaven vertonen een lichte toename over tijd.



Figuur 3-2 Baggervolumes in het Eemsestuarium voor de periode 1960-2020. Inclusief zandwinning en exclusief data van de Eemsvier. Baggervolumes in de Eemsvier bedragen 2-3 miljoen m³/j en worden hoofdzakelijk op land gebracht. Het volume op traject Knock – Noordzee tussen 1960 en 1996 betreft uitsluitend de hoofdvaargeul, zonder de aftakkingen naar de havens van Delfzijl (Oversteek Paapsand Süd) en Eemshaven (Aanloop Eemshaven of 'H'). Sinds de Oversteek Paapsand Süd wordt onderhouden, in 1996, is dit volume opgeteld bij het totaal. En sinds 2013 geldt hetzelfde voor de Aanloop Eemshaven. De zandwinvolumes zijn beschikbaar sinds 1970 (NL) en 1975 (D). Alle baggervolumes zijn in de beun, behalve tussen Emden en Eemshaven vanaf 2018 (in deze figuur opgeteld bij tracé Knock-Noordzee), die zijn in-situ.

Bij het bekijken en beoordelen van de baggerdata is het belangrijk om de volgende aspecten in gedachten te houden:

- De monding van de haven van Delfzijl is begin de jaren 1970 aangepast en sinds begin 2000 wordt de airset¹ gebruikt om het slib dat de haven binnenkomt terug naar het estuarium te spoelen;
- De Eemshaven is geopend in 1973 en leidde door haar ligging nabij de grote geulen van het estuarium tot relatief beperkt baggerbezwaar;
- Recentelijk, in 2017/2018, is de Eemshaven en de vaargeul tussen de Eemshaven en de Noordzee verdiept en verruimd. Sinds deze verdieping wordt dit tracé door Nederland onderhouden, waar het eerder onder de Duitse baggerinspanning viel²;
- Sinds 1995 wordt het slib in de haven van Emden met een airset binnen de haven in suspensie gehouden. Het slib dat voor 1995 werd gebaggerd in de haven van Emden werd op land gebracht.

¹ Het betreft een pomp vanaf een ponton in de havenmonding, aan het einde van het Zeehavenkanaal, die tijdens eb het slib vanuit een slibvang opwoelt. Slib dat dieper in de haven wordt afgezet, buiten de slibvang, wordt met een hopper verwijderd en verspreid in de Dollard.

² Als gevolg daarvan is een iets andere onderverdeling in deelgebieden gehanteerd.

- Nederland is vanaf 2000 gestopt met zandwinning. Duitsland geeft sinds 2020 geen vergunningen meer af voor commerciële zandwinning;
- In de Eemsvier wordt jaarlijks nog ca. 2.8 miljoen m³ (zand en vooral slib) gebaggerd en grotendeels op land gebracht.

3.2.2 Overzicht deeltrajecten

Door de grotere trajecten op te splitsen in deelgebieden wordt er inzicht verkregen in specifieke locaties met een grote(re) baggerinspanning. Dit blijft een lastige opgave omdat gegevens over baggervolumes per deelgebied pas deels beschikbaar zijn sinds 1990 en er data missen rond het jaar 2000. Daarnaast wordt, om de intensiteit van baggeren weer te geven, het jaargemiddeld baggervolume sinds 2000 uitgedrukt per km vaargeul (Tabel 3.1).

Uit Tabel 3.1 met jaargemiddelde baggervolumes kan het volgende worden opgemaakt:

- De gebieden met de grootste baggervolumes zijn de havens van Delfzijl en Eemshaven, het Emdr Vaarwater, Gatjebogen tussen km 40,7 en 53 en het meest bovenstroomse deel van de Eemsvier, tussen km 0 en 4.
- De Aanloop naar Eemshaven komt naar voren als een gebied met grote baggervolumes. Deze zijn sterk beïnvloed door de hoge volumes tijdens de verdieping van 2017/2018, het onderhoudsbaggerwerk zal waarschijnlijk lager zijn dan nu als gemiddelde is aangegeven.

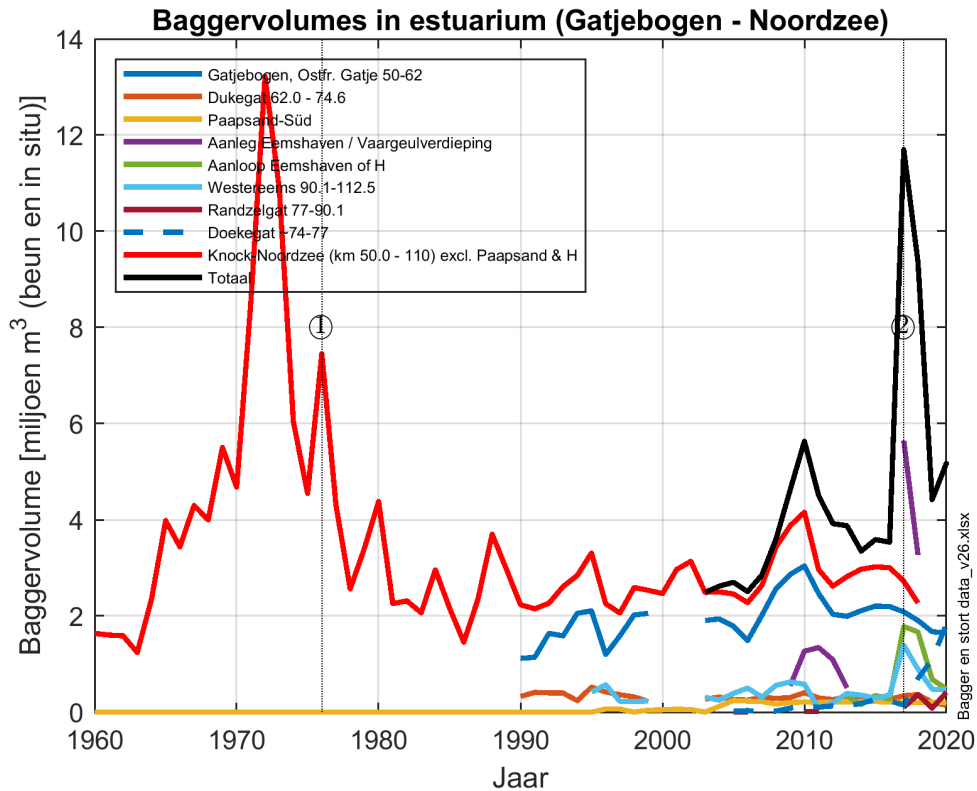
Tabel 3.1 Jaargemiddelde baggervolumes sinds 2000. Grootste volumes zijn vetgedrukt.

Traject	Opm.	Gemiddeld baggervolume [miljoen m ³ /j]	Gemiddeld baggervolume per km vaargeul [miljoen m ³ /j]
Westereems: km 90,1 - 112,5	Beun	0,47	0,02
Randzelgat: 77 - 90,1	Beun	0,12	0,01
Doekegat NL: 74 - 77	Beun	0,30	0,10
Aanloop Eemshaven	Beun	0,72	0,36
Eemshaven	Beun	1,20	n.v.t.
Dukegat D: 70-74,6	Beun, en sinds 2019 in-situ	0,08	0,02
Dukegat: 62.0 - 70.0	Beun, en sinds 2019 in-situ	0,21	0,03
Ostfr. Gatje: 57.0 - 62.0	Beun, en sinds 2019 in-situ	0,04	0,01
Gatjebogen 53.0 - 57.0	Beun, en sinds 2019 in-situ	0,20	0,05
Gatjebogen 50.0 - 53.0	Beun, en sinds 2019 in-situ	1,86	0,62
Oversteek Paapsand Süd	Beun/airset	0,17	
Haven Delfzijl	Beun/airset	1,63	n.v.t.
Emdr Vaarwater 47.7 - 50.0	Beun, en sinds 2019 in-situ	1,45	0,63
Emdr Vaarwater 40.7 - 47.7	Beun, en sinds 2019 in-situ	2,01	0,29
Unterems 30.0 - 40.7 incl. LW	In-situ, gegevens sinds 2016	0,30	0,03
Unterems 24.0 - 30.0	In-situ, gegevens sinds 2016	0,03	0,01
Unterems 20.0 - 24.0	In-situ, gegevens sinds 2016	0,27	0,07
Unterems 14.8 - 20.0	In-situ, gegevens sinds 2016	0,11	0,02
Unterems 11.0 - 14.8	In-situ, gegevens sinds 2016	0,19	0,05
Unterems 6.8 - 11.0	In-situ, gegevens sinds 2016	0,44	0,11
Unterems 4.0 - 6.8	In-situ, gegevens sinds 2016	0,44	0,16
Unterems 0.0 - 4.0	In-situ, gegevens sinds 2016	0,92	0,23
Totaal		13,16	

In de volgende paragrafen wordt er specifiek ingegaan op verschillende trajecten. Omdat de verschillende trajecten vaak ook weer worden opgedeeld in deeltrajecten en omdat dit op verschillende momenten is gebeurd is het onvermijdelijk dat er enige overlap is tussen de kilometrerings van de trajecten.

3.2.3 Traject Knock – Noordzee (Eems km 50-112.5)

Het lange traject tussen Knock en de Noordzee kan pas vanaf 2002 onderverdeeld worden naar deelgebieden. Voor de baggervolumes vóór deze periode wordt er gebruik gemaakt van de totale baggervolumes over dit traject, weergegeven in Figuur 3.3.



Figuur 3-3 Baggervolumes per jaar voor het Waddendeel en het middendeel van het estuarium (tussen Knock en de Noordzee). Tot 2002 is alleen data van het gehele traject beschikbaar. Vanaf 2002 is de data uitgesplitst per deeltraject beschikbaar. Het totaal in zwart betreft het totaal van alle deelgebieden in de legenda, excl. de rode lijn. Omcirkelde getallen focussen op het Waddendeel: 1) Verlegging van het hoofdvaarwater van de Oude Westereems naar Randzelgat, 2) Verdieping Eemshaven-Noordzee, onderhoudsbaggerwerk overgenomen van Duitsland door Nederland. Alle baggervolumes zijn in de beun, behalve tussen Emden en Eemshaven vanaf 2018 (in-situ).

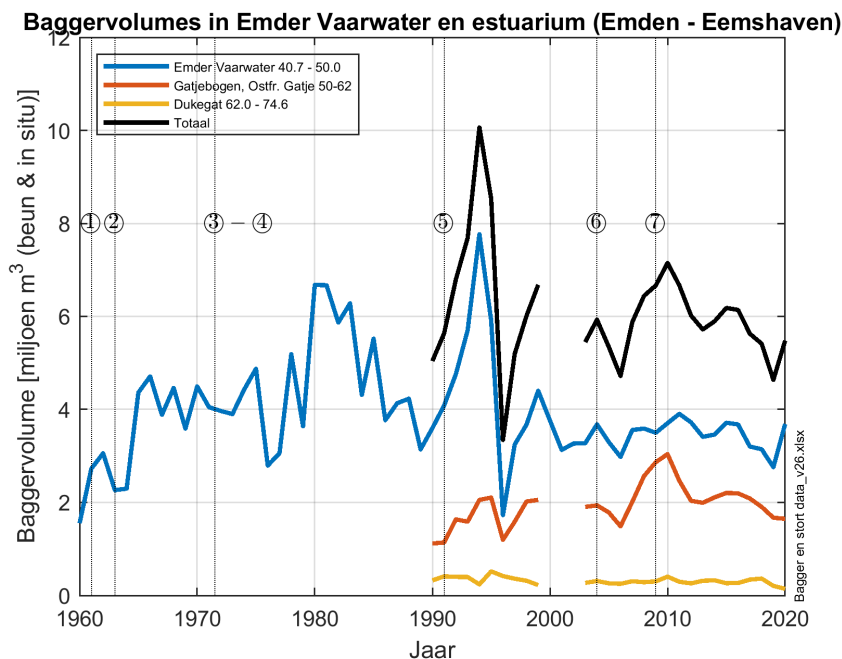
Uit Figuur 3.3 kunnen de volgende punten worden geconcludeerd:

- De baggervolumes waren erg hoog in de jaren 1970, toen er ook vaargeulen werden verdiept en havens uitgebreid.
- Tot midden jaren 1980 volgt er een afname in de baggervolumes omdat de meeste aanlegwerkzaamheden achter de rug zijn.
- Hierna lijkt het baggerbezuur weer geleidelijk toe te nemen, vooral als gevolg van baggeren in de Aanloop Eemshaven en Oversteek Paapsand Süd;
- De piek in de baggervolumes begin jaren 1970 is mogelijk gerelateerd aan de aanleg van de Eemshaven, maar het is onduidelijk in welke mate de baggervolumes voor aanleg in de tijdseries zijn opgenomen;

- De verlegging van het hoofdvaarwater van de Oude Westereems naar het Randzelgat in 1976 heeft mogelijk tot een verlaging van de baggervolumes geleid, hoewel de meeste baggerwerkzaamheden vermoedelijk meer stroomopwaarts in het estuarium plaatsvonden en niet in de monding;
- De Verdieping van het tracé Eemshaven – Noordzee in 2017 geeft een piek in baggervolumes, voornamelijk in de Aanloop Eemshaven; de ontwikkeling van de baggervolumes in de komende jaren zal uitwijzen in hoeverre de verdieping heeft geleid tot een permanente toename van de onderhoudsbaggervolumes.
- In het Doekegat (km 74-77) lijkt de laatste jaren het baggervolume sterk toe te nemen.

3.2.4 Traject Emden – Eemshaven (Eems km 40.7-~74)

Dit traject overlapt deels met het traject in de vorige paragraaf, omdat er voor 1990 alleen gegevens voor het hele traject Knock – Noordzee beschikbaar zijn.



Figuur 3-4 Baggervolumes per jaar vanaf 1960 en 1989 voor enkel het middendeel van het estuarium.

Omcirkelde getallen focussen op het middendeel van het estuarium: 1) Verdieping van het Vaarwater naar Emden tot -9 m SKN (~GLWS), 2) Landaanwinning westelijk van Pogum, 3) De toegang tot de haven van Emden wordt verdiept naar -12.5 m CD, 4) Geiseleitdamm raakt in verval, 5) Start gebruik airset in de haven van Emden, 6) Het verspreiden van baggerspecie in de Bocht van Watum wordt gestopt, 7) Start gebruik verspreidingslocatie K2 in de mond van de Dollard door WSA. Baggervolumes tot 2018 zijn in de beun, en vanaf 2018 in-situ.

Op het traject Emden - Eemshaven (Figuur 3-4) wordt er voornamelijk gebaggerd in het Emden Vaarwater, Gatjebogen en het Oostfriesche Gaatje. In de tijdreeksen van dit traject vallen de volgende zaken op:

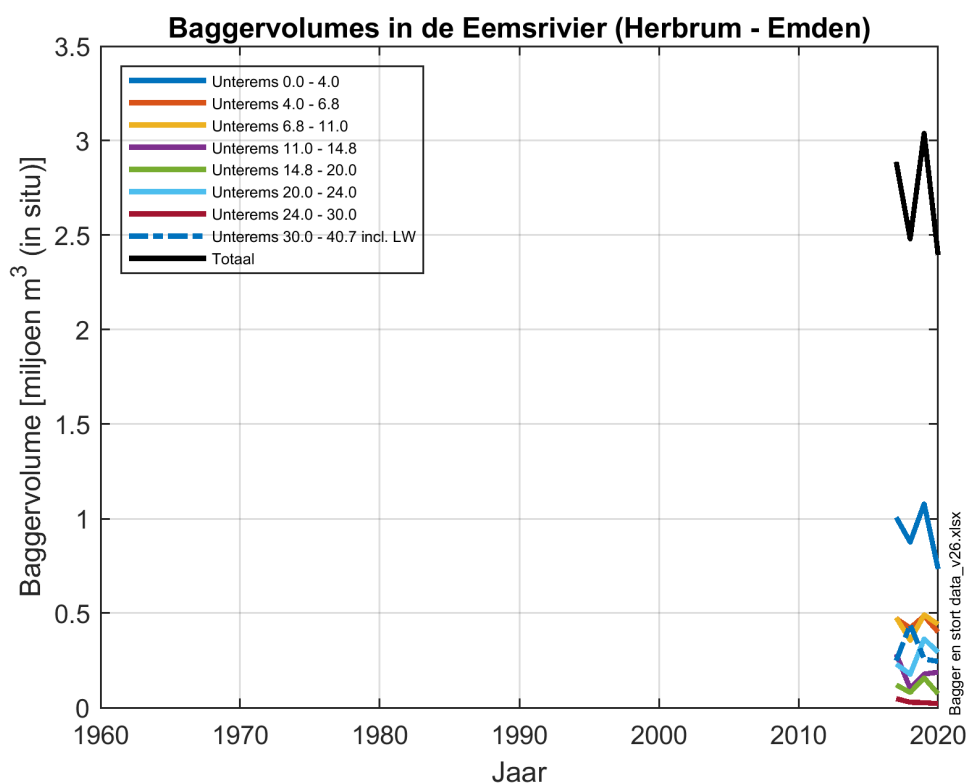
- Begin jaren 1960 zijn de baggervolumes toegenomen, onder andere als gevolg van de verdieping van het Emden Vaarwater en de landaanwinning bij Pogum (tijdstippen genummerd met 1 en 2 in de figuur);
- In de baggervolumes is de verdere verdieping van het Emden Vaarwater in 1971 en het in verval raken van de Geiseleitdamm niet te herkennen;
- De toename in de jaren 1980 kan niet rechtstreeks gekoppeld worden aan een ingreep in het systeem;

- Het gebruik van airset in de haven van Emden sinds 1991 lijkt tot een toename van het baggerbezwaar in het Emders Vaarwater te hebben geleid, die na enkele jaren weer sterk afnam;
- De piek in baggervolumes in Gatjebogen (km 50-57) rond 2010 kan niet verklaard worden aan de hand van menselijke ingrepen.

Over de processen die een rol spelen in de hoge baggervolumes in het Vaarwater naar Emden is nog veel onduidelijk. Daarom zijn er in 2018 en 2019 twee grote meetcampagnes uitgevoerd, om deze processen beter te begrijpen. Eerste resultaten daarvan zijn uitgewerkt in Van Maren et al. (2021) en wijzen op een grote recirculatie van sediment tussen het middendeel van het estuarium, de Dollard en over de Geisesteert naar het Emders Vaarwater. De rol van de Eemsvier komt nog nader aan de orde in paragraaf 3.3.2.

3.2.5 Eemsvier

De baggergegevens van de Eemsvier zijn ons slechts bekend sinds 2016 (Figuur 3-5). De tijdserie is te kort om te relateren aan ingrepen.



Figuur 3-5 Baggervolumes in m³ in-situ per jaar vanaf 2016 voor de Eemsvier.

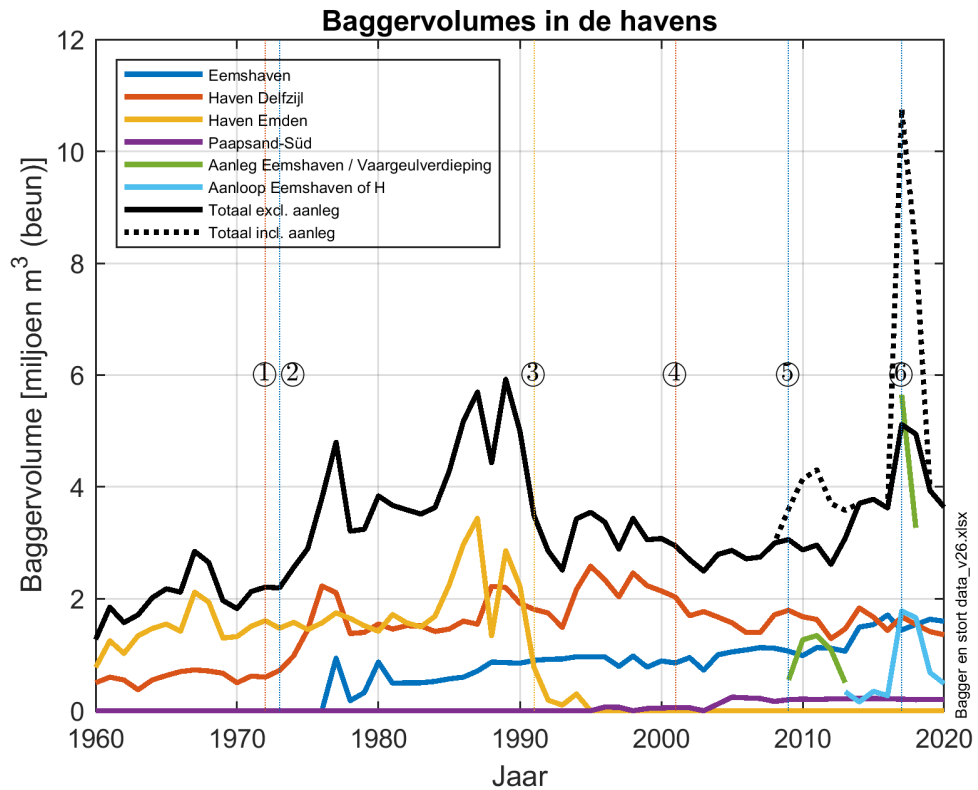
3.2.6 Havens

Als we meer in detail naar de baggervolumes in de havens kijken (Figuur 3-6), kunnen we veranderingen in baggervolumes relateren aan bepaalde ingrepen.

Emden

Het baggerbezwaar in de havens lijkt geleidelijk toe te nemen in de tijd, met als uitzondering een scherpe afname van het baggerbezwaar in de haven van Emden begin jaren 1990. In de haven van Emden wordt het slib sinds 1991 binnen de haven gehouden en continu in suspensie gebracht, waardoor de gerapporteerde baggervolumes tot 0 zijn gereduceerd. De baggervolumes vanaf dan worden immers niet meer in het estuarium verspreid. Het is

onbekend waarom de baggervolumes van de haven van Emden hoog zijn in de jaren 1980. Wel lijkt het stoppen van het baggeren in de haven van Emden samen te vallen met een toename in de baggervolumes van Delfzijl (Figuur 3-6). Rond diezelfde periode is ook de verspreidingslocatie Groote Gat in gebruik genomen.



Figuur 3-6 Baggervolumes per jaar vanaf 1960 voor de havens en verbindingseulen tussen haven en hoofdvaarweg. Omcirkelde getallen: 1) Aanleg Zeehavenkanaal, 2) Opening Eemshaven, 3) Start gebruik airset in de haven van Emden, 4) Start gebruik airset in de haven van Delfzijl, 5) Verdieping Eemshaven en uitbreiding Beatrixhaven en Wilhelminahaven, 6) Verdieping Eemshaven-Noordzee, onderhoudsbaggerwerk overgenomen van Duitsland door Nederland. Volumes voor aanleg zijn – indien bekend – in groen weergegeven. Alle volumes in de beun.

Eemshaven

Het baggervolume van de Eemshaven neemt langzaam toe over de tijd. Verdiepingen en uitbreidingen worden vaak uitgevoerd in een bepaald jaar, maar daarna worden nieuwe delen van de haven vaak pas stapsgewijs in gebruik genomen (pers. comm. Anco van den Heuvel). Dit kan de langzame toename in onderhoudsbaggervolume mogelijk verklaren. De ingebruikname van de RWE-energiecentrale rond 2015 heeft bovendien tot een structureel groter baggervolume in de Eemshaven geleid omdat de centrale zoveel koelwater gebruikt dat er meer slibrijk water naar de haven stroomt (ED2050, 2020). In 2017 betreft het vooral de Aanloop Eemshaven die voor grote baggervolumes zorgt. Dit komt doordat er tijdens de verdieping van het tracé tussen Eemshaven en de Noordzee ook veel onderhoud gepleegd moest worden. Tijdens de aanlegperiode kwam er tussentijds weer relatief veel sediment in de vaargeul terecht, wat vervolgens opnieuw verwijderd moest worden. Op basis van de cijfers is door RWS een zo goed mogelijke inschatting gemaakt van welk volumes tot de aanleg en welk volume tot onderhoud zou moeten worden gerekend. De laatste twee jaar is het volume in de Aanloop Eemshaven weer lager, maar sinds de start van de baggerwerkzaamheden in 2013 moet hier toch flink gebaggerd worden.

Delfzijl

Het baggervolume in de haven van Delfzijl is toegenomen sinds er een serie werkzaamheden hebben plaatsgevonden om de havenmondning te optimaliseren begin jaren 1970. Vervolgens is het gerapporteerde baggervolume afgenomen sinds het gebruik van de airset in 2001. De gemelde volumes in de periode vanaf 2001 bevatten echter een grote onzekerheid, omdat het slib vanuit de slibvang met de airset wordt opgewoeld en niet meer gemeten in het beun. Voor een deel komt het materiaal terecht in de Oversteek Paapsand Süd, die ook middels airset op diepte wordt gehouden. Deze locatie laat sinds de ingebruikname van de airset dan ook grotere baggervolumes zien.

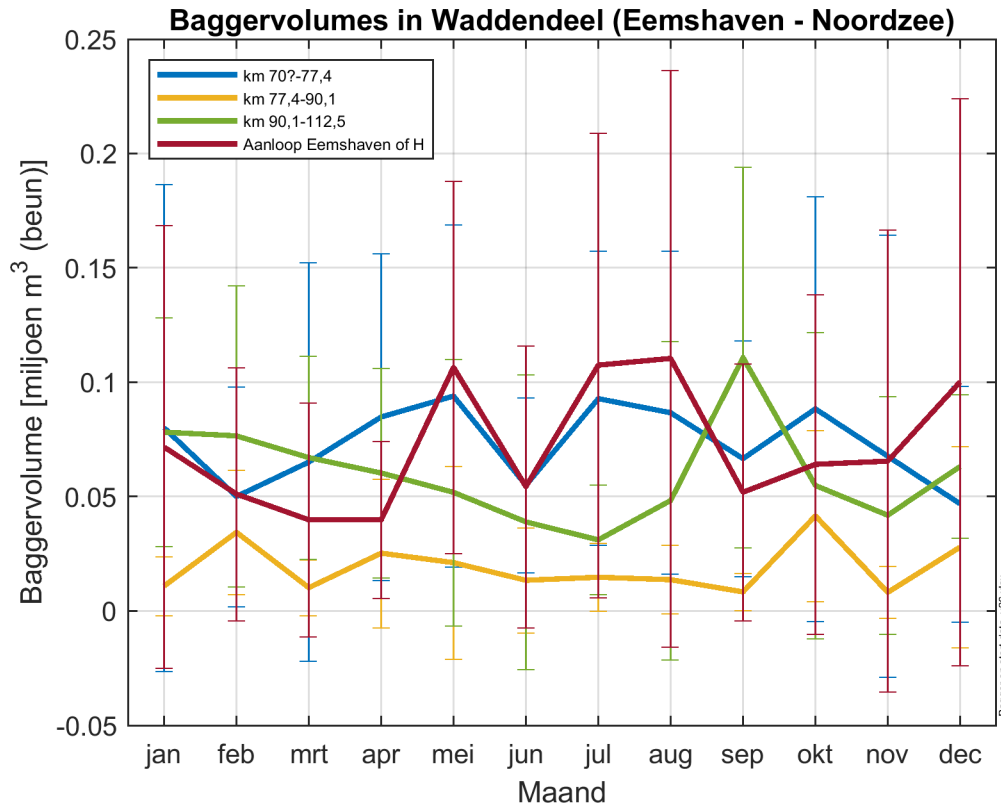
3.3 Seizoensfluctuaties in baggervolumes (2017 – 2020)

Gedetailleerde gegevens van baggeren en verspreiden zijn beschikbaar voor de periode 2017 - 2020. Deze gegevens worden gebruikt om de variatie van baggervolumes over het jaar te analyseren. Belangrijk bij deze analyse is om in gedachten te houden dat de seizoensfluctuaties zowel een gevolg kunnen zijn van fysische omstandigheden, biologische processen en logistieke aspecten. Bij logistieke aspecten is het redelijk eenduidig, bijvoorbeeld indien in een deelgebied niet continu een baggerschip aanwezig is, kunnen de baggervolumes variëren over het jaar als gevolg van de inzet van het materieel. Wat betreft de fysische omstandigheden zijn er meerdere aspecten die baggervolumes kunnen beïnvloeden:

- **Golven** zijn in de winter hoger dan in de zomer, waardoor er meer sediment in de waterkolom aanwezig is en dit gemakkelijker kan worden afgezet in relatief diepe en luwe vaargeulen en minder op intergetijdengebieden waar veel golfwerking optreedt;
- Variaties in **rivierafvoer** beïnvloeden het gesuspendeerd slib (paragraaf 2.4.3) en daarmee de sedimentatie en de baggervolumes (slib uit de Eemsrivier wordt bij hoge afvoer zeewaarts getransporteerd). De zoetwaterafvoer beïnvloedt de stroomsnelheden direct, vooral in het meest bovenstroomse deel van de Eemsrivier.
- Variaties in zoetwaterafvoer beïnvloeden het gesuspendeerde slib ook indirect door middel van **dichtheidsverschillen** die de gravitatiecirculatie aandrijven. De gravitatiecirculatie wordt aangedreven door dichtheidsverschillen tussen zoet rivierwater en zout zeewater en leidt tot een netto stroming die landwaarts (of richting de zoetwaterbron) gericht is bij de bodem en zeewaarts bij de oppervlakte.
- Verder wordt de sedimentatie nog beïnvloed door de **valsnelheid** – zwaardere deeltjes zinken sneller naar de bodem dan lichte deeltjes. De valsnelheid kan ook variëren binnen het jaar (en over het estuarium), vooral door biologische processen. De EDoM metingen hebben laten zien dat deeltjes in de zomer compacter zijn en een hogere valsnelheid hebben dan in de winter (van Maren et al. 2021); waarschijnlijk als gevolg van meer organisch materiaal (algen). Ook ionen in zeewater leiden tot flocculatie van slib, waardoor vooral op de overgang van zoet naar zout water vlokvorming kan optreden – deze overgang varieert over het jaar (en ligt verder zeewaarts in de winter).

3.3.1 Variaties in het Waddendeel

Als we het gebied tussen Noordzee en Eemshaven beschouwen (Figuur 3-7), lijkt er geen sterke seizoensvariatie in de data aanwezig te zijn. Voor dit traject moeten we rekening houden met de verdieping die in 2017/2018 is uitgevoerd, met een zwaartepunt in de zomer. Indien die jaren niet in beschouwing worden genomen, is er onvoldoende data om sterke conclusies te trekken. De baggervolumes per maand lijken door het jaar heen vergelijkbaar.



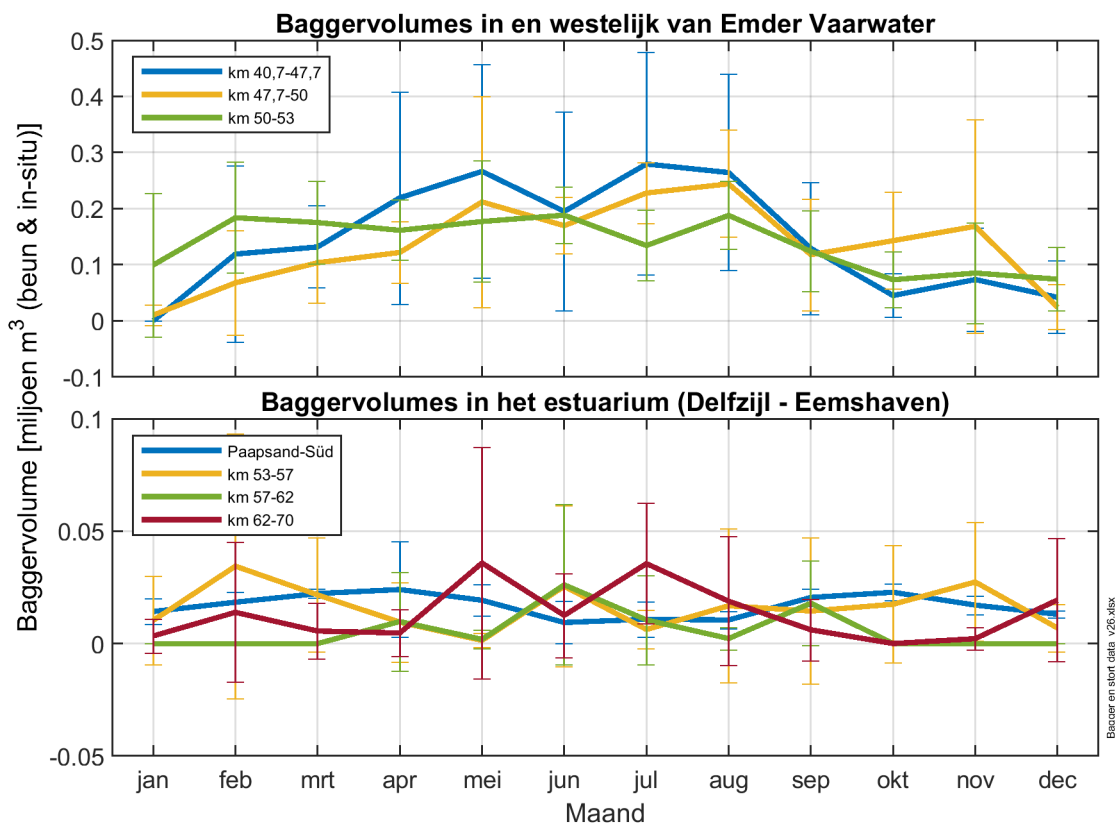
Figuur 3-7 Maandgemiddelde baggervolumes over 2017-2020 per deeltraject van de vaargeul tussen de Noordzee en Eemshaven.

3.3.2 Variaties in het middendeel

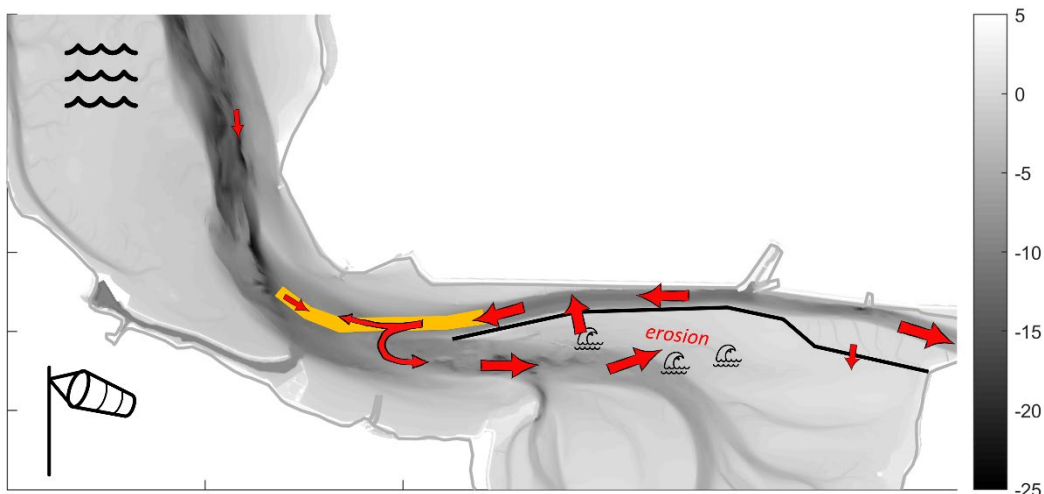
Dieper in het estuarium is de situatie anders. Vooral bij de monding van het Vaarwater naar Emden (km 50) tot aan Emden zelf (km 40) zien we een sterke seizoensdynamiek, met grotere baggervolumes in de zomerperiode.

In het Emders Vaarwater en Gatjebogen ligt het zwaartepunt van de baggerinspanning van het gehele Eemsestuarium. In het Emders Vaarwater wordt het meest in de zomer gebaggerd, terwijl de sedimentconcentratie in de waterfase dan het laagste is (Figuur 3-8). Dit is verrassend omdat:

- De sedimentconcentraties daar hoger zijn in de winter door zowel uitspoelen van troebel water uit de Eemsrivier als door hogere concentraties in het Eemsestuarium door meer golfwerking;
- De waterbeweging leidt tot meer convergentie van sedimenttransport in de winter (Figuur 3-9). Vanuit de Eemsrivier leidt de rivierafvoer tot zeewaarts transport, terwijl de landwaartse saliniteitsgedreven dichtheidsstroming in het Emders Vaarwater groter is in de winter dan in de zomer, omdat de saliniteitsgradiënt steiler is (de afname van de saliniteit vindt plaats over een kortere afstand; Figuur 3-10);
- De sedimentflux vanuit de Dollard richting het Vaarwater naar Emden over de Geiseleiddam waarschijnlijk groter is in de winter door het effect van stormen in combinatie met opwoeling van Dollard slib.



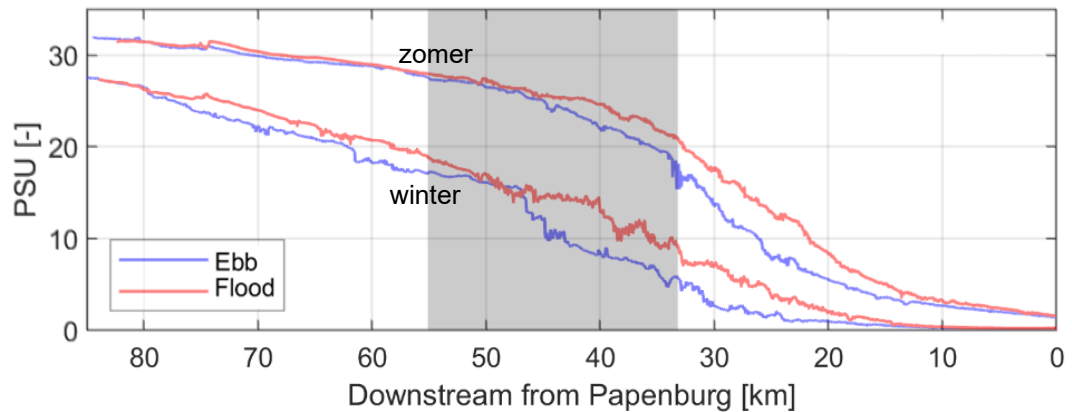
Figuur 3-8 Maandgemiddelde baggervolumes over 2017-2020 per deeltraject van de vaargeul tussen de Eemshaven en Emden. Paapsand Süd in beunvolumes, overig in-situ.



Figuur 3-9 Sedimenttransportpatronen in het middendeel van het estuarium, gebaseerd op de EDoM metingen (van Maren et al., 2021). Sediment wordt richting Dollard en vaarwater naar Emden getransporteerd door getij en zout-gedreven circulatie, maar het vaarwater naar Emden zelf is ebb-dominant met een zeewaarts netto transport. Baggerwerkzaamheden vinden vooral plaats nabij de convergentie van netto sedimentstromen. In de zomer ligt het gebied met maximaal baggeronderhoud dichtst bij de haven van Emden.

De hogere aanslibbing in het Emden Vaarwater in de zomer kan mogelijk verklaard worden door een grotere valsnelheid in de zomer (zoals gemeten tijdens de EDoM meetcampagne van 2018/2019). Dit is het gevolg van rustiger hydrodynamische condities en vlokvorming door

algen. De resulterende slibvlokken bezinken sneller en hebben een hogere dichtheid, waardoor deze niet makkelijk worden opgewoeld en via baggeren verwijderd moeten worden.



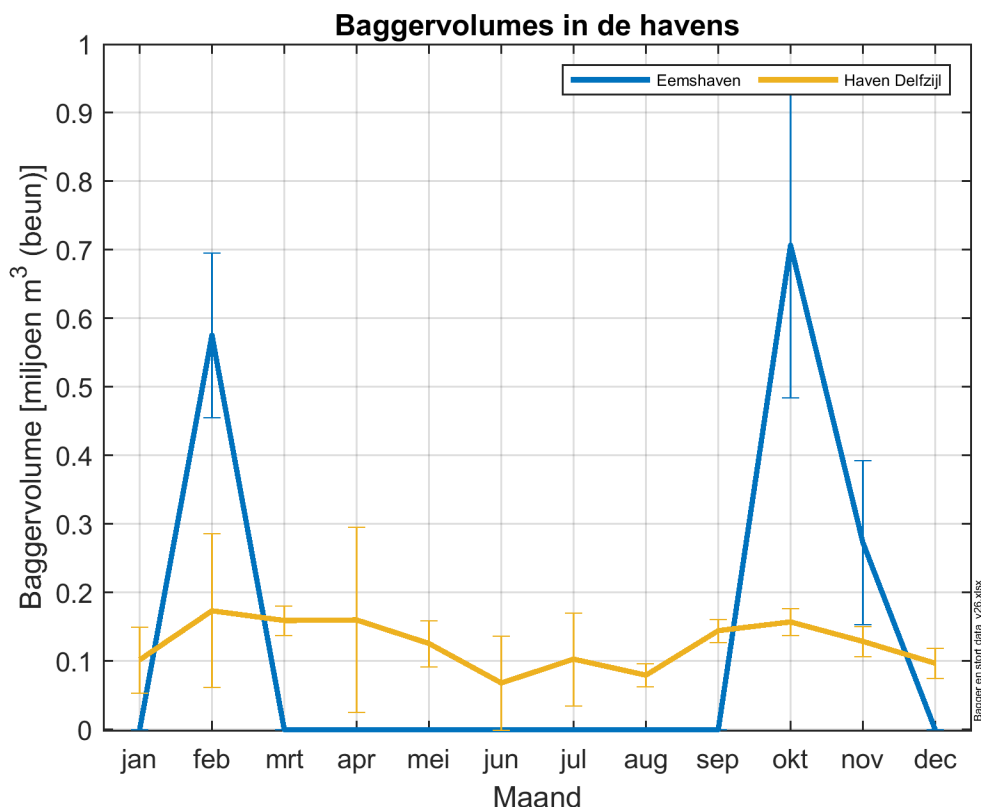
Figuur 3-10 Saliniteitsgradiënt in de Eemsrivier (km 0 tot 40) en het estuarium in de zomer (representatief voor situatie met lage afvoer, bovenste 2 lijnen) en de winter (representatief voor situatie met middelhoge afvoer, onderste 2 lijnen) tijdens vloed (blauw) en tijdens eb (rood). Aangepast van: Van Maren et al. (2021).

In zeewaartse richting, op het traject tussen km 50-53, is de seizoensdynamiek zwakker dan bij de twee oostwaarts gelegen trajecten (km 40.7 – 47.7 en km 47.7 – 50), maar ook hier wordt er in het najaar en de winter iets minder gebaggerd dan in de rest van het jaar. In het noordelijk gelegen deel, tussen km 57 en 70 zijn de baggervolumes ook hoger in de zomer. Op het tussenliggende deel, tussen km 53 en 57 zien we geen duidelijke variaties over het jaar.

3.3.3 Variaties in de havens

In de verbindingsgeul Oversteek Paapsand Süd en de haven van Delfzijl wordt, net als in de Eemshaven, in de zomer juist minder gebaggerd dan in de winter. In de zomer wordt er minder slib naar de havens aangevoerd vanwege de lagere sedimentconcentraties in het water in de zomer. De Oversteek Paapsand Süd wordt sterk beïnvloed door het opwoelen van slib (met airset) vanuit de haven van Delfzijl.

In Eemshaven wordt alleen in de maanden oktober, november en februari gebaggerd (Figuur 3-11). Voor Eemshaven kan dit zeer goed te maken hebben met de baggerlogistiek. Ook lijkt dit overeen te komen met de hogere SSC in de winter in de Waddenzone van het estuarium als gevolg van meteorologische forcering, golfwerking en minder vastlegging door biologische processen.



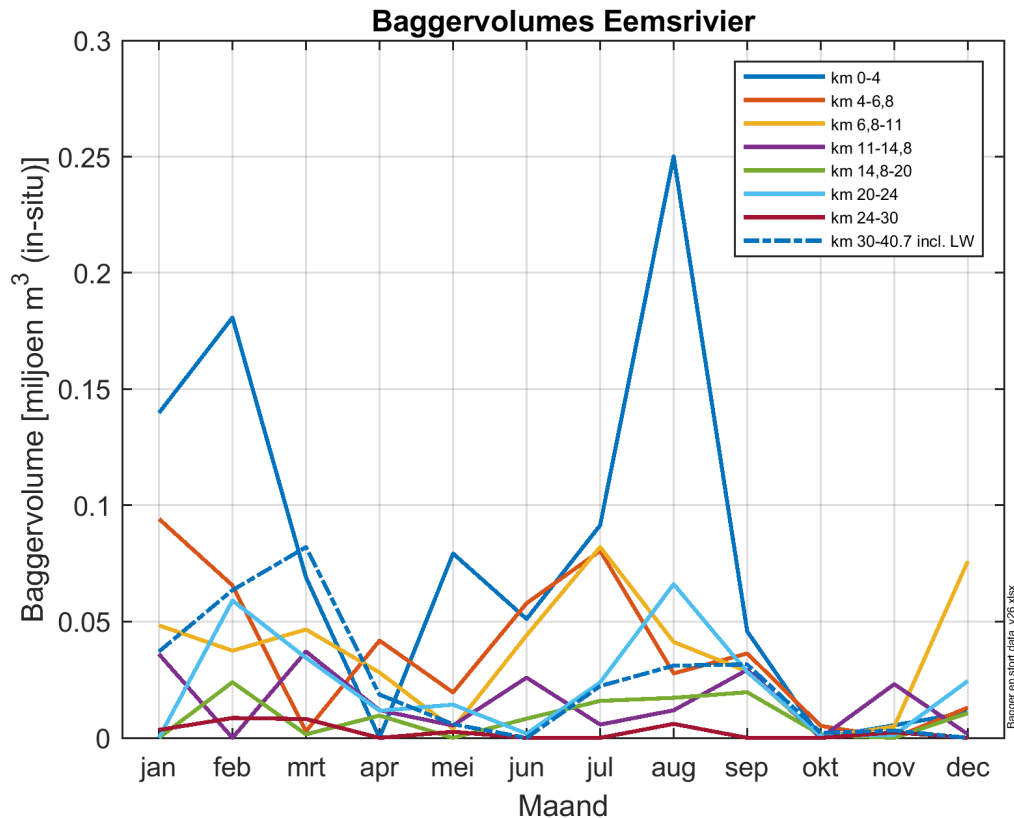
Figuur 3-11 Maandgemiddelde baggervolumes over 2017-2020 per haven (beun/airset).

3.3.4 Variaties in de Eemsrivier

In de Eemsrivier zijn de baggervolumes het hoogst in de zomer gevolgd door de winter (Figuur 3-12). In het voor- en najaar wordt er minder gebaggerd. In het meest bovenstroomse deel van de Eemsrivier is de gesuspendeerde sedimentconcentratie in de zomer hoger dan in de winter, omdat er in de winter meer benedenstroomse uitspoeling van slib optreedt als gevolg van de hogere rivierafvoer. Een deel van het slib zal zeewaarts spoelen door deze hogere afvoer: hierdoor zijn de sedimentconcentraties in het Emders Vaarwater hoger in de winter dan in de zomer. Een alternatieve verklaring voor de lagere SSC rond Papenburg is gegeven door Winterwerp et al. (2017), gerelateerd aan de asymmetrie van het getij. In de winter nemen de stroomsnelheden tijdens vloed in de Eemsrivier af als gevolg van de hogere rivierafvoer, terwijl de ebsnelheden toenemen. Onder normale en lage afvoercondities is er een grote asymmetrie in snelheden (getijasymmetrie), met veel hogere pieksnelheden tijdens vloed dan tijdens eb.

Omdat dit leidt tot een netto afname in de piekstroomsnelheden kan slib bezinken. Op de Eemsrivier, ongeveer tussen Pogum en Leer, zijn de baggervolumes en SSC minder sterk gekoppeld aan de seizoensdynamiek.

De pieken in baggerbezwaar in de winter zijn moeilijker te verklaren. Wel speelt mee dat het baggeren in de Eemsrivier wordt beïnvloed door individuele scheepspassages: wanneer een cruiseschip, gebouwd in de scheepswerf in Papenburg, naar zee afvaart kunnen enkele keren per jaar baggerwerkzaamheden plaatsvinden wanneer de waterdiepte te gering is. De fasering van het baggerbezwaar is daarom gekoppeld aan scheepspassages; de hoeveelheid slib die gebaggerd moet worden is sterk gekoppeld aan natuurlijke sedimenttransport processen.



Figuur 3-12 Maandgemiddelde baggervolumes per deeltraject van de vaargeul in de Eemsrivier, bovenstrooms van Emden over de periode 2017-2020.

3.4 Verspreiding

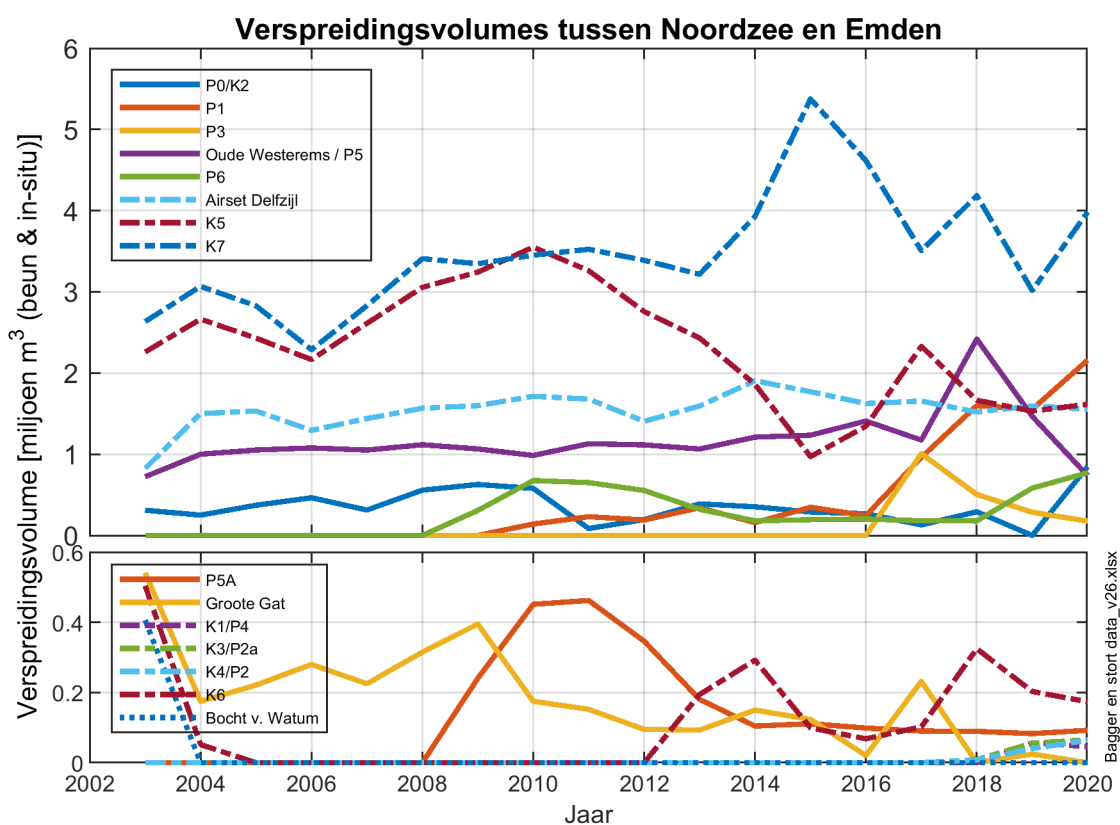
Verspreidingsgegevens zijn grotendeels beschikbaar vanaf 2003. Om een goed beeld te kunnen vormen van de effecten van verspreiding wordt er gekeken naar de gemiddelde verspreidingshoeveelheden over de lange termijn (vanaf 2003) en de verspreidingshoeveelheden in de afgelopen jaren (2017 – 2020). De baggerverspreidingslocaties worden bepaald door economische motivaties (zo dichtbij de baggerlocatie als mogelijk), milieutechnische aspecten (bij afgeven vergunningen wordt de biologische impact geminimaliseerd, wat tot grotere vaarafstanden kan leiden), maar ook praktische aspecten (verspreidingslocaties kunnen vol raken, bijvoorbeeld K5).

3.4.1 Lange termijn (vanaf 2003)

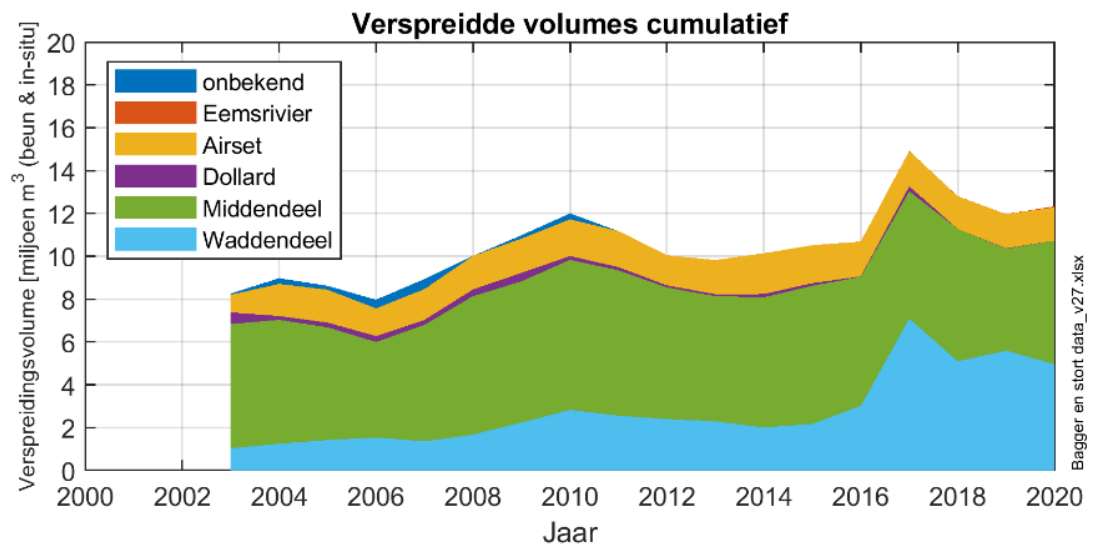
De verspreidingsgegevens over de lange termijn zijn weergegeven in Figuur 3-13. Uit deze figuur blijkt het volgende:

- Bij Klapstelle 5 en 7 wordt het meeste materiaal verspreid. Dit komt doordat hier de specie (zand en slib) wordt verspreid vanuit het Emder Vaarwater en Gatjebogen en een deel van de specie uit de Eemsrivier. Op al deze locaties wordt veel gebaggerd;
- Naast bovengenoemde verspreidingslocaties is ook de haven van Delfzijl, incl. Oversteek Paapsand Süd, een grote bron van slib. Hier wordt het slib via de airset op stroom gezet zodat het slib bij eb het estuarium instroomt. Deze volumes zijn het grootst in het najaar en de winter;
- Op verspreidingslocatie P5 in de Waddenzone worden relatief grote volumes, ca. 1 miljoen m³/j, verspreid. Dit materiaal is afkomstig uit Eemshaven en de Aanloop Eemshaven en bevat ook zand;

- Op locatie P1 (in de vaargeul) nemen de verspreide volumes toe sinds 2016. Hier wordt baggerspecie vanuit de vaargeul Noordzee-Eemshaven verspreid;
- Op P5A neemt het verspreide volume af. Hier wordt (tegenwoordig) baggerspecie vanuit de Eemshaven verspreid;
- Op locatie Groote Gat in de Dollard neemt het verspreide volume af. Hier werd tot 2018 baggerspecie vanuit de haven van Delfzijl naartoe gebracht;
- Per deelgebied van het estuarium valt op dat de volumes vrij constant zijn, maar dat de volumes die verspreid worden in het Waddendeel toenemen (Figuur 3-14). Dit is deels het gevolg van de verdieping in 2017/2018, maar ook tussen 2008 en 2010 zijn de volumes toegenomen. Een andere oorzaak voor de getalsmatige recente toename kan de verschillende registratiemethode tussen Nederland en Duitsland zijn (Nederland heeft sinds 2017 het baggerwerk op dit traject van Duitsland overgenomen). Het is in dit geval dus niet zeker of er ook echt een toename is of dat dit komt doordat andere partijen het baggerwerk en verspreiden uitvoeren.



Figuur 3-13 Verspreide volumes tussen 2003 en 2020 tussen Emden en de Noordzee. Bovenstrooms van Emden gebaggerd materiaal wordt grotendeels op land gebracht. Het deel dat niet op land is gebracht is wel meegenomen in bovenstaand figuur vanaf 2016.



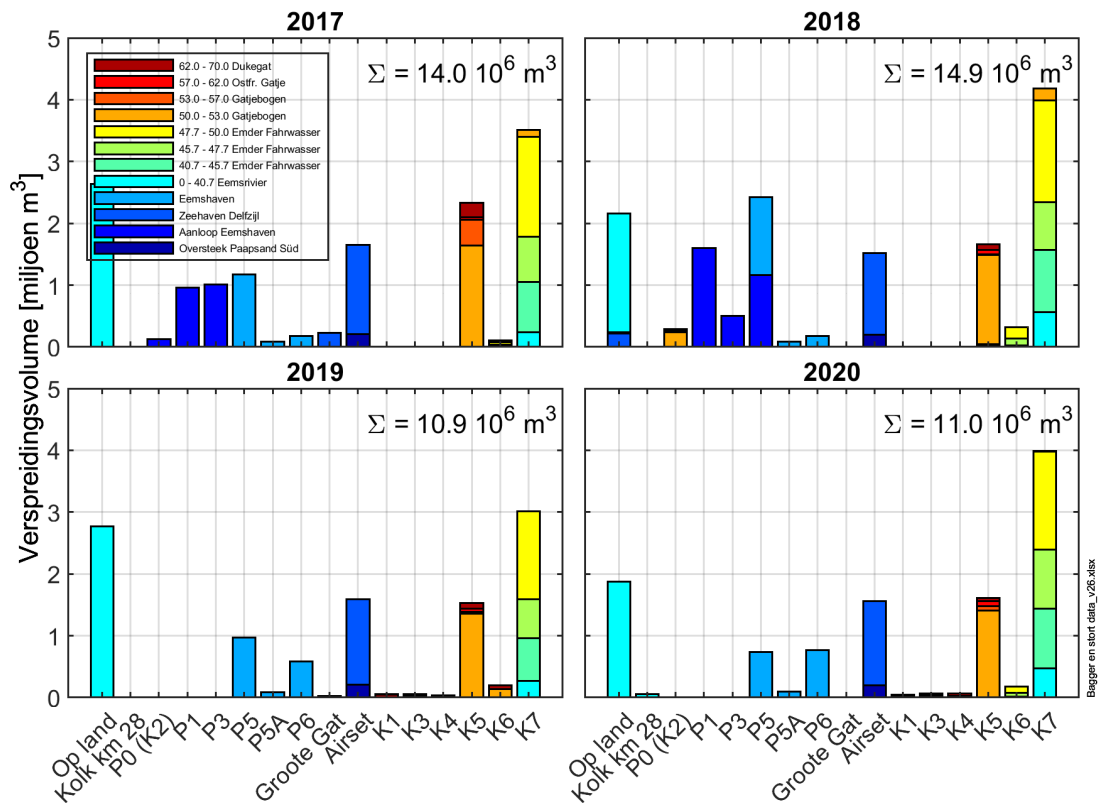
Figuur 3-14 Verspreide volumes in het Eemsestuarium. Wat in de Eemsrivier is verspreid zijn in-situ volumes, Dollard betreft beunvolumes, het middendeel is een mix van beun en in-situ volumes en het Waddendeel zijn uitsluitend beunvolumes.

3.4.2 Korte termijn (2017-2020)

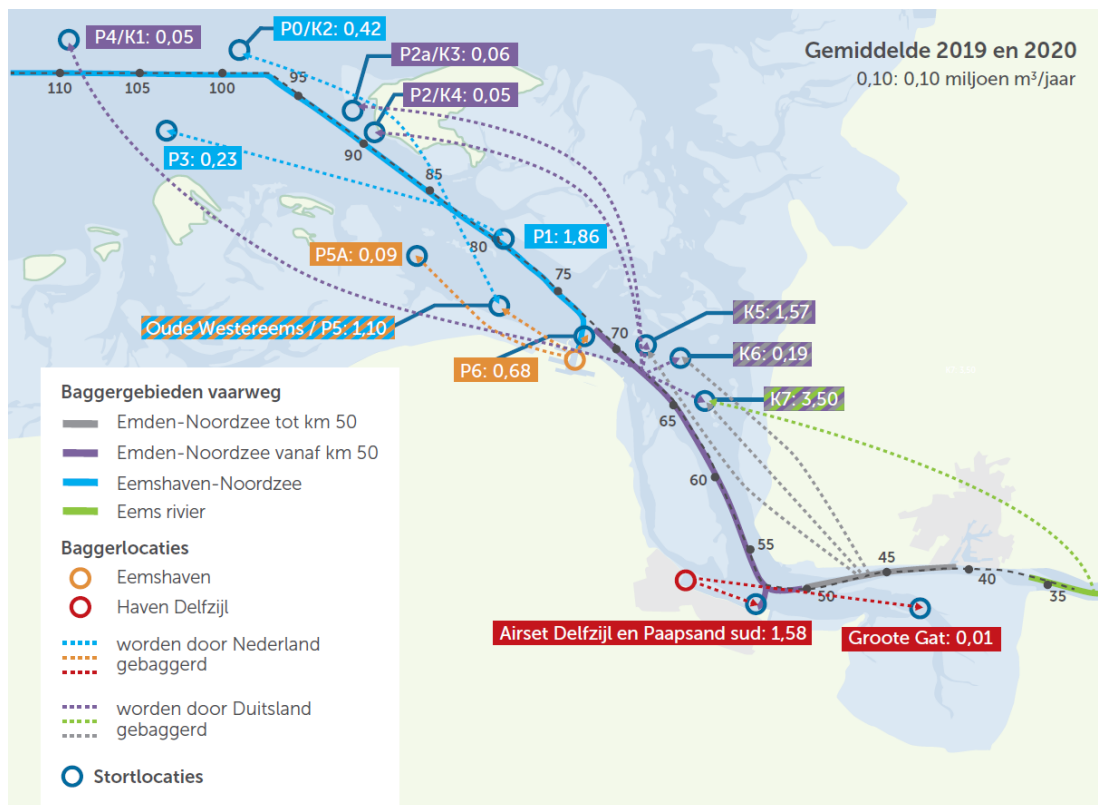
Sediment dat gebaggerd wordt uit havens en uit het estuarium landwaarts van Eemskilometer 53 (Knock) is slibrijk (materiaal met een diameter kleiner dan 63 µm). De oorsprong van het gebaggerde materiaal per verspreidingslocatie zegt daarom iets over de sedimentsamenstelling van de specie die op de verspreidingslocaties wordt verspreid (Figuur 3-15 en Figuur 3-16). Dit is van belang om het effect op de bodemslibgehalten en de ecologie in te schatten.

In de Eemsrivier wordt jaarlijks ca. 2 tot 3 miljoen m³ sediment gebaggerd, waarvan het merendeel slib is (ca. 90%). Veel van dit materiaal (~85%) wordt op land gebracht. Hiermee wordt land opgehoogd en klei gerijpt voor toepassingen elders. De overige 15% (gemiddeld 0,4 miljoen m³ in situ per jaar) wordt verspreid op Klapstelle 7, dat in het estuarium ligt ter hoogte van km 65 (Figuur 3-1). Omdat het zo'n lange vaarafstand betreft, wordt hoofdzakelijk materiaal uit het meest benedenstroomse deel van de Eemsrivier (km 30-40.7) daar verspreid. In dit deel van de Eemsrivier wordt een mengsel van zand en slib gebaggerd, waarbij de slibpercentages variëren tussen de 30 en 80%. De verspreiding vindt hoofdzakelijk plaats in de winter en de zomer, wanneer er het meeste wordt gebaggerd.

In het Emders Vaarwater (tussen Emden en het einde van de geleidewerken nabij Knock, km 40,7 tot 50) wordt slibrijk materiaal gebaggerd, dat hoofdzakelijk wordt verspreid op Klapstelle 7. Omdat hier veel gebaggerd wordt, zijn ook de volumes die op Klapstelle 7 worden verspreid het grootst van het hele estuarium (Figuur 3-13). De volumes zijn het grootst in de zomer. Op het gedeelte van km 50 tot km 70 wordt voornamelijk gebaggerd tussen km 50 en 53. Dit is vooral zandig materiaal dat op Klapstelle 5 (ter hoogte van km 70) wordt verspreid. Ook op Klapstelle 5 worden grote volumes verspreid, hoewel er sinds 2010 iets meer op K7 en iets minder op K5 wordt verspreid.



Figuur 3-15 Verspreidingsvolumes per verspreidingslocatie per jaar naar herkomstlocatie. Volumes zowel in de beun (Eemshaven, Delfzijl, Aanloop Eemshaven en Oversteek Paapsand Süd) als in-situ (overig). In de rechterbovenhoek staat het totaal van de getoonde data vermeld. Dit komt niet overeen met de baggerjaarcijfers (voor de jaren 2017-2020 zijn de gebaggerde totalen respectievelijk 13,6, 12,8, 11,6 en 11,5 miljoen m³). Deze inconsistenties worden veroorzaakt door drie zaken: 1) de verdieping Eemshaven-Noordzee is niet uitgesplitst naar baggerdeelzone, gekoppeld aan de verspreidingslocatie; 2) de baggerdata van de Eemsgeul (tussen Eemshaven en de Noordzee) is niet uitgesplitst naar baggerdeelzone, gekoppeld aan de verspreidingslocatie; 3) er is een verschil tussen de data aangeleverd door WSA en RWS voor het Duitse deel. Zie verder paragraaf A.1.



Figuur 3-16 Kaart met de meest recente verspreidingsvolumes en locaties. Getallen tonen het gemiddelde van de jaren 2019 en 2020.

3.5 Conclusies bagger- en verspreidingsgegevens

Het jaarlijkse baggervolume in het Eemsestuarium schommelt tussen de 8 en 12 miljoen kubieke meter per jaar ('nat in het beun' van de baggerschepen), en lijkt sinds 2000 licht toe te nemen. De grootste baggerinspanning vindt plaats in het Emder Vaarwater en het naastgelegen Gatjebogen en de havens (Eemshaven en Delfzijl). Daarnaast wordt nog ca. 2,5-3 miljoen m³/j in de Eemsrivier gebaggerd, met het zwaartepunt nabij Papenburg. Het materiaal dat in de Eemsrivier wordt gebaggerd, wordt grotendeels op land gebracht en is slibrijk.

Zowel de gebaggerde volumes als de verspreide volumes zijn op de meeste locaties al decennia redelijk constant. In de Eemshaven nemen de baggervolumes over tijd licht toe. Ook lijkt de recente verdieping tussen de Eemshaven en de Noordzee tot een verhoging van het baggerbezwaar te hebben geleid. Er wordt vooral veel baggerspecie verspreid op Klapstelle 5 en 7, via airset uit de haven van Delfzijl en op P1 en P5 in de Waddenzeezone. De verspreiding op Klapstelle 7 is slibrijk en op Klapstelle 5 meer zandig.

In het Emder Vaarwater en in het bovenstroomse deel van de Eemsrivier wordt het meeste sediment gebaggerd in de zomer terwijl de SSC dan het laagst is. Mogelijk is dit het gevolg van een seizoensvariatie in de valsnelheid (als gevolg van flocculatie).

Het stoppen van het onttrekken van slib uit de haven van Emden sinds begin jaren 1990 en het starten van het gebruik van de airset wordt gevolgd door een (tijdelijke) toename van de baggervolumes in het Emder Vaarwater. Het 'stofzuigereffect' van de haven van Emden is hierdoor namelijk uitgezet. Waarschijnlijk heeft zich na enkele jaren een nieuw evenwicht ingesteld.

De start van het gebruik van airset in de haven van Delfzijl in 2001 wordt gevolgd door een toename van de baggervolumes in Oversteek Paapsand Süd. In plaats van het verder weg brengen van de baggerspecie uit de haven van Delfzijl naar de aangewezen verspreidingslocaties, wordt het materiaal nu gemobiliseerd waarna het met de getijstrooming wordt meegenomen. Dit leidt tot meer sedimentatie in de Oversteek Paapsand Süd, waar het vervolgens ook weer wordt opgewoeld met airset.

De gebaggerde volumes zijn klein ten opzichte van de bruto volumeveranderingen als gevolg van voornamelijk geulmigratie en het bruto sedimenttransport (de hoeveelheid zand en slib welke gedurende elke getijcyclus heen en weer wordt getransporteerd). De volumes zijn echter groot ten opzichte van de netto slibsedimentatie in het estuarium (ca. 4 miljoen m³/j, Tabel 2.2) en de daaraan gerelateerde netto slibtransporten. Dit betekent dat het baggeren en verspreiden een substantieel effect heeft op het sedimenttransport in het estuarium. De netto slibsedimentatie in de gebieden waar niet gebaggerd wordt (4 miljoen m³/j, of 7 miljoen m³/j incl. zand) is immers ongeveer de helft van de sedimentatie in havens en vaargeulen (8-12 miljoen m³/j).

Het is van belang om onderscheid te maken tussen zand en slib. Het gebaggerde en verspreide materiaal bestaat uit een mengsel van zand en slib. De verhouding verschilt per locatie. Het gebaggerde materiaal in de havens en de Eemsrivier bestaat grotendeels uit slib, in de vaargeul van Emden uit iets meer slib dan zand en in de vaarweg van de Eemshaven naar de Noordzee grotendeels uit zand. Slib heeft een effect op de troebelheid van de waterkolom, zand heeft dit effect nauwelijks.

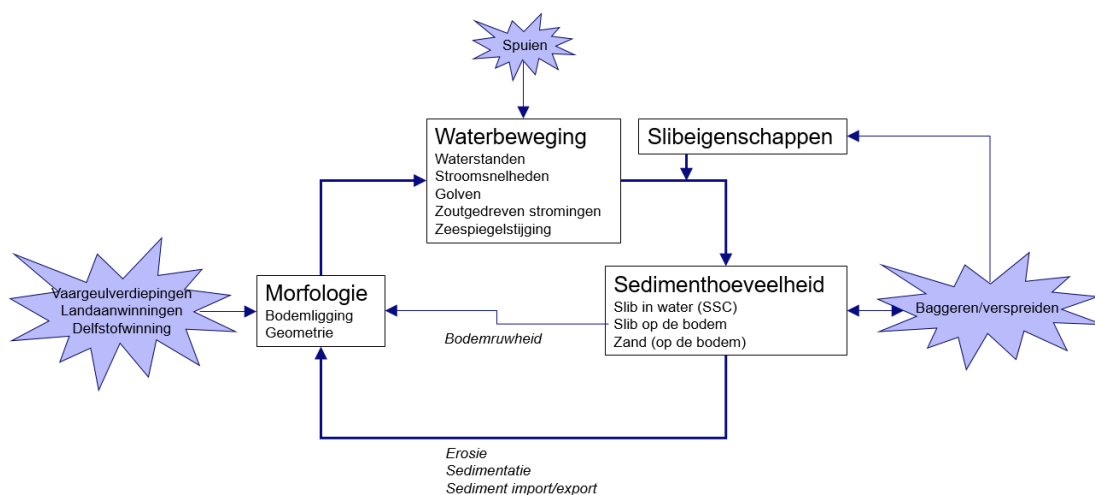
4 Effectbeschrijving: veranderingen in (a)biotisch systeem als gevolg van baggeren en verspreiden

Menselijke ingrepen in estuaria (zoals verdiepingen, baggeren en storten, landaanwinningen) beïnvloeden de waterbeweging en sedimenttransport via meerdere processen. Deze ingrepen kunnen een direct effect hebben maar ook traag doorwerken in het systeem, waardoor het jaren duurt voordat een ingreep een effect heeft. Daarnaast vinden meestal meerdere ingrepen tegelijkertijd plaats. Het vaststellen van de effecten van ingrepen is daarom moeilijk op basis van metingen, helemaal wanneer ook nog het effect van de ingrepen vergelijkbaar of zelfs kleiner is dan de natuurlijke variabiliteit van een systeem. De beschikbare data in het Eemsestuarium is onvoldoende om de effecten van de verschillende ingrepen te kwantificeren. Om het effect van deze ingrepen toch maximaal te begrijpen, wordt hieronder eerst een beschouwing gegeven welke veranderingen verwacht mogen worden in een estuarium zoals de Eems (sectie 4.1), gevolgd door beschouwing in hoeverre deze verwachte effecten zijn waar te nemen in het Eems estuarium (sectie 4.2).

4.1 Effecten van menselijk ingrijpen in estuaria

In deze studie willen we de cumulatieve effecten van menselijke ingrepen, en specifiek die van vaargeulverdiepingen en onderhoudsbaggerwerkzaamheden, op het abiotisch systeem inschatten en waar mogelijk kwantificeren voor het Eemsestuarium. Voor de ecologie zijn vooral langjarige veranderingen in vertroebeling/SSC en veranderingen in bodemslibgehalte van belang. Nabij verspreidingslocaties en baggerlocaties spelen directe effecten van baggeren en verspreiden ook een rol. De vertroebeling bepaalt de mate waarin licht kan doordringen in de waterkolom en daarmee wordt o.a. de primaire productie, de basis van het voedselweb, gelimiteerd. Het bodemslibgehalte bepaalt mede welke soorten bodemdieren kunnen voorkomen.

De vertroebeling en het bodemslibgehalte worden gestuurd door processen of factoren, die elkaar ook onderling beïnvloeden, grofstoffelijk: de morfologie, de waterbeweging, de slibeigenschappen en de hoeveelheid slib die in het systeem beschikbaar is. Door menselijk handelen, kan op verschillende processen en factoren worden ingegrepen. Figuur 4-1 geeft de verschillende processen en interacties weer, die hieronder nader worden toegelicht.



Figuur 4-1 Voorbeeld van de interactie van verschillende abiotische processen en factoren, terugkoppelingen en de invloed van menselijk handelen hierin (blauwe sterboxen).

4.1.1 Morfologie

De morfologie is relevant op drie schaalniveaus: (1) de geometrie van het estuarium, (2) de vorm van geulen en platen (de bodemligging) en (3) de ruwheid (bepaald door bodemvormen). Deze drie factoren bepalen hoe het getij, dat vanaf zee een estuarium binnendringt, in het estuarium wordt vervormd.

- Trompetvormige estuaria (waarbij de breedte in landwaartse richting afneemt) stuwen het getij op, waarbij de getijamplitude toeneemt in landwaartse richting. De vorm van het estuarium bepaalt ook (naast de waterdiepte) in hoeverre golven doordringen in het estuarium, en daarmee bijdragen aan sedimenttransport.
- De diepte van het estuarium bepaalt de mate van getijdemping (hoe dieper het estuarium, des te minder wrijving, en des te minder getijdemping). De effectieve diepte wordt bepaald door zowel de geulen als de platen: wanneer het estuarium alleen bestaat uit geulen (door bijvoorbeeld grootschalige landaanwinning) is het estuarium effectief diep en wordt getij beperkt gedempt. De vorm van platen en geulen bepaalt ook de aard van het getij (vloed-dominant of eb-dominant) door de verhouding tussen het oppervlak van platen en geulen, maar ook door het voorkomen van eb- en vloedgeulen in plaats van een enkelgeulstelsel.
- De ruwheid van de bodem wordt bepaald door het sedimenttype en de waterbeweging. Zandige bodems worden gekenmerkt door grootschalige bodemvormen met een relatief hoge ruwheid. Het type bodemvorm wordt daarbij bepaald door stroomsnelheden en de waterdiepte. Slibrijke bodems zijn relatief glad, en hebben meestal geen bodemvormen.

4.1.2 Waterbeweging en sedimenttransport

De waterbeweging wordt beïnvloed door de morfologie, door meteorologische condities (wind, regenval) en door getijforcering. Om het effect van menselijk handelen (via ingrepen in de morfologie) te begrijpen richten wij ons hier alleen op het effect van de morfologie op de waterbeweging. De morfologie beïnvloedt de waterbeweging op meerdere niveaus, deels al hierboven besproken.

- De waterbeweging bepaalt welke kracht er op de bodem wordt uitgeoefend waarmee slib of zand kan worden geërodeerd. Hoe hoger de stroomsnelheid, des te meer zand en slib wordt geërodeerd. Een toename in het getijvolume (door getij amplificatie) leidt (bij gelijkblijvende geuldimensie) tot hogere stroomsnelheden. Een verdieping van een geul (door erosie of baggeren) leidt (bij gelijkblijvend getijvolume) tot lagere stroomsnelheden.
- Een toename in het getijvolume leidt tot een toename in de bruto slibtransporten. Het slibtransport in de meeste estuaria wordt gelimiteerd door het slibaanbod (en niet door erosiesnelheden). Het slibtransport is het product van het getijvolume en de sedimentconcentratie, en daarom zal een toename in het getijvolume leiden tot een evenredige toename in de bruto slibtransporten. Indien het slibtransport wordt gelimiteerd door erosiesnelheden (zoals bijvoorbeeld in de beneden Eems rivier) zal een getij amplificatie een sterker effect hebben op bruto transporten.
- Een estuarium met een groot areaal aan intergetijdengebieden ten opzichte van het oppervlak geulen wordt typisch gekenmerkt door een eb-dominant getij. Hierbij duurt de vloed langer dan de eb, en zijn de ebstroomsnelheden hoger. Een systeem met een klein plaatareaal daarentegen is vaak vloeddominant (gekenmerkt door een korte periode van vloed, met hogere vloedsnelheden dan ebstroomsnelheden). Bij vloeddominantie wordt sediment vanuit zee naar land getransporteerd en zal het estuarium opvullen of troebel worden.
- Afhankelijk van de exacte geometrie kan getijasymmetrie ook tot uiting komen in een kenteringsasymmetrie, waarbij de duur van hoog en laagwaterkentering leidt tot netto transport. Wanneer de duur van de hoogwaterkentering langer is dan de duur van de laagwaterkentering, hebben sedimentdeeltjes meer tijd om te bezinken aan het einde

van de vloed dan aan het einde van de eb. Dit zal leiden tot een transport van zee naar land (en daarmee opvulling of vertroebeling van het estuarium).

- De diepte van de geulen beïnvloedt het getij op twee manieren. Diepere geulen leiden tot minder demping van het getij, en daarmee tot een hogere getijamplitude. Daarnaast leiden diepere geulen tot een meer vloeddominant getij (in combinatie met het areaal intergetijdengebied).
- De zout-gedreven, landwaartse stroming aan de bodem (estuariene circulatie) neemt kwadratisch toe met de waterdiepte. Een verdubbeling van de waterdiepte leidt daarom tot 4 keer meer zout-gedreven landwaartse stroming nabij de bodem. De slibconcentratie is hoger nabij de bodem dan nabij het wateroppervlak, en daarom is deze zout-gedreven stroming een belangrijk mechanisme waarmee slib landwaarts wordt getransporteerd.
- De waterdiepte en de stroomsnelheid bepaalt hoe het slib over de waterkolom (over de verticaal) wordt gemengd. Deze verticale verdeling is van invloed op het netto slibtransport. Wanneer het sediment verticaal goed gemengd is tijdens de vloed maar niet tijdens de eb, zal er meer sediment in de vloedrichting worden getransporteerd omdat de stroomsnelheden aan het wateroppervlak hoger zijn dan nabij de bodem.

4.1.3 Slibeigenschappen en slibbeschikbaarheid

De waterbeweging bepaalt welke kracht er op de bodem wordt uitgeoefend, maar de slibeigenschappen bepalen of en hoe snel het slib van de bodem kan worden geërodeerd. Oude, opeengepakte slibafzettingen hebben een hoge weerstand tegen erosie en eroderen zeer langzaam. Vers afgezet slib, bijvoorbeeld wat net is verspreid uit de beun van een baggerschip, heeft weinig sterkte en kan gemakkelijk resuspenden. Ook de slibbeschikbaarheid speelt een rol: van een puur zandige bodem wordt geen slib geërodeerd.

Naast erosie speelt sedimentatie een belangrijke rol. Sedimentatie wordt naast de waterbeweging en de hoeveelheid slib in de waterkolom beïnvloed door de valsnelheid van het slib (slibeigenschap). Erosie en sedimentatie zorgen op korte termijn voor een uitwisseling van slib tussen de bodem en het water. Door asymmetrie in de waterbeweging en/of de slibbeschikbaarheid (bijv. grotere stroomsnelheden tijdens vloed dan tijdens eb of hogere SSC tijdens vloed dan tijdens eb), treden netto slibtransporten op. De slibimport in een estuarium is een voorbeeld van een netto transport. Over een langere termijn leidt deze slibimport tot slibsedimentatie, onder de voorwaarde dat zich ergens in het estuarium slibaccommodatiegebieden bevinden, en is er een terugkoppeling naar de morfologie omdat de bodemligging en/of de bodemruwheid verandert.

4.1.4 Rol landaanwinningen, vaargeulverdiepingen en onderhoudsbaggerwerk

Menselijk ingrijpen kan de morfologie veranderen door vaargeulen te verdiepen, land aan te winnen of door bodemdaling te veroorzaken (via delfstofwinning zoals gaswinning). Dit werkt door in het systeem. De meest voorkomende menselijke ingrepen in estuaria (en ook in het Eems estuarium) zijn landaanwinningen en geulverdiepingen, in combinatie met daaruit volgend onderhoudsbaggerwerk.

Landaanwinningen leiden tot een groter geuloppervlak ten opzichte van plaatoppervlak, wat tot gevolg heeft dat het getij vloeddominanter wordt (hogere vloednelheden dan ebstroomsnelheden, en/of een langere duur van hoogwaterkentering dan laagwaterkentering). Beide vormen van getijasymmetrie leiden tot meer landwaarts sedimenttransport. Tegelijkertijd leidt het verlies aan intergetijdengebied ook tot een afname in getijdebiet, wat weer kan leiden tot opvulling van getijgeulen. Naast een directe beïnvloeding van de waterbeweging leiden landaanwinningen ook tot een verlies aan bezinkplaatsen van sediment, wat kan leiden tot een toename in de sedimentconcentratie (van Maren et al., 2015, 2016).

Vaargeulverdiepingen veranderen de morfologie en dat werkt via de waterbeweging door in de erosie, sedimentatie en transport van slib en dus in de netto transporten en de hoeveelheid slib in het water (vertroebeling) en op de bodem. Verdieping van vaargeulen leidt over het algemeen tot getijamplificatie (Winterwerp et al., 2013; Winterwerp en Wang, 2013; van Maren et al., 2015; Dijkstra et al., 2019a; Talke en Jay, 2020) en meer estuariene circulatie (van Maren et al., 2015b) en daardoor meer slibimport. Een kunstmatige toename van de geuldiepte leidt over het algemeen tot een toename in vertroebeling in een systeem en tot een hoger baggerbezwaar.

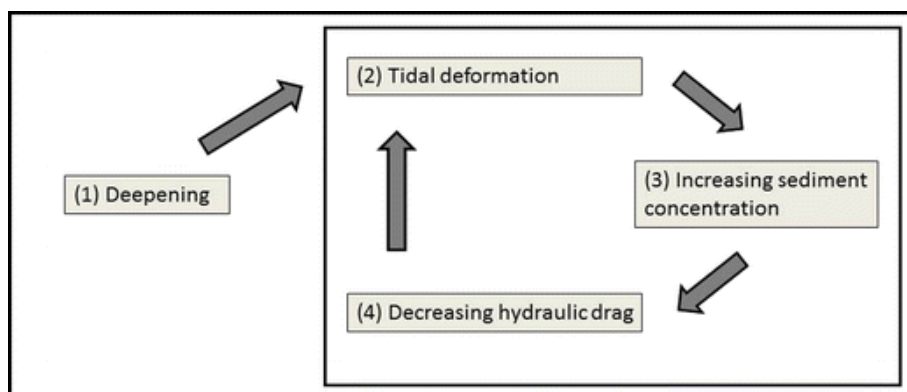
Naast deze invloed van verdiepingen (op de waterbeweging en daardoor op vertroebeling) heeft onderhoudsbaggerwerk ook invloed op vertroebeling (en daarmee onderhoudsbaggerwerk). Allereerst kan slib dat wordt afgezet in havens en vaargeulen slechts korte tijd consolideren en sterkte opbouwen. Dit slib wordt namelijk na korte tijd opgebaggerd en op een verspreidingslocatie losgelaten. Vervolgens zal een groot deel van het slib rondom de verspreidingslocatie op de bodem worden afgezet. Dit slib is vers afgezet en heeft dus nog weinig sterkte. Het kan daardoor gemakkelijk weer resuspenderen. Ook kan het na resuspensie weer opnieuw worden getransporteerd richting havens en vaargeulen. Het slib dat daar wordt afgezet, zal weer worden opgebaggerd en verspreid. Omdat er continu baggerschepen in het estuarium aanwezig zijn die deze cyclus faciliteren, leidt het baggeren en verspreiden tot beïnvloeding van de slibeigenschappen (het blijft makkelijker erodeerbaar). Daarnaast neemt de hoeveelheid slib in een estuarium toe wanneer (1) het gebaggerde slib binnen het estuarium wordt gestort, en (2) er nog steeds een natuurlijke slibimport plaatsvindt. Dit zal leiden tot een toename in de vertroebeling (en daarmee onderhoudsbaggerwerk). De hogere estuariene concentratie leidt uiteindelijk tot een afname van de import van nieuw slib van buiten en er stelt zich een nieuw evenwicht in (met hogere SSC dan voor de periode met onderhoudsbaggerwerk).

4.1.5 Interacties van processen en dynamiek in het systeem

In de vorige paragrafen is aangegeven hoe het abiotisch systeem grofstoffelijk functioneert en dat verschillende factoren en veranderingen hierin bijdragen aan de vertroebeling en het bodemslibgehalte. De waargenomen veranderingen in SSC en bodemslibgehalte kunnen daarom vaak lastig worden teruggevoerd op een specifieke verandering of ingreep in het systeem, zeker indien deze invloed op basis van in-situ metingen moet worden vastgesteld. Dit wordt mede veroorzaakt door de grote natuurlijke dynamiek in het systeem. De SSC varieert over periodes van meerdere jaren, over de seizoenen, over de springtij-doodtij cyclus en over een individuele getijcyclus van 12 uur en 25 minuten. Kleine veranderingen in het bodemslibgehalte hebben groot effect op de SSC, omdat de massa van slib in de waterkolom zelfs bij hoge vertroebeling klein is ten opzichte van de massa slib die in de bodem aanwezig is. Om dergelijke veranderingen in het veld te kunnen meten, moeten veel verschillende parameters over een lange periode met voldoende nauwkeurigheid in kaart worden gebracht. Als het om cumulatieve effecten gaat, is de tijdschaal waarop dit speelt lang. En daarnaast speelt nog de vermenging van verschillende processen in de waargenomen veranderingen, waardoor effecten van menselijke ingrepen niet alleen abrupt plaatsvinden, maar ook kunnen opbouwen over meerdere jaren tot decennia (zoals het effect van de sedimentconcentratie op getijamplificatie in de Eemsvier – zie Figuur 4-2).

Figuur 4-2 beschrijft hoe menselijke ingrepen in de morfologie doorwerken tot aan de vertroebeling en het bodemslibgehalte. De menselijke ingrepen betreffen een serie van verdiepingen van de Eemsvier. Door de baggerwerken zijn ook de bodemvormen, die - samen met de korrelgrootte van het bodemsediment de bodem bepalen - afgenomen. Als gevolg van de toegenomen waterdiepte en de veranderde bodemruwheid verandert de waterbeweging: het getijdebiet neemt toe, de stroming wordt meer vloeddominant en de SSC is tijdens vloed meer gemengd over de waterkolom waardoor het slib verder landwaarts kan worden gebracht,

en de zeewaartse uitspoeling tijdens hoge rivierafvoer afneemt. Als gevolg hiervan kan er meer slib worden geïmporteerd en neemt de SSC toe. Dit leidt uiteindelijk (over langere periode) tot zeer hoge SSC en fluid mud lagen nabij de bodem, waardoor turbulentie wordt gedempt en de hydraulische weerstand nog verder wordt verminderd. Het getij kan nog verder opslingeren of vervormen, en daarmee nog meer slib importeren, waardoor een terugkoppeling ontstaat waarmee het systeem steeds troebeler wordt.



Figuur 4-2 Terugkoppelingsmechanisme van vaargeulverdieping in de Eemsrivier (Van Maren et al., 2015a).

In de Eemsrivier leidde de verdieping van vaargeulen tot een toename in baggerbezwaar en vertroebeling middels een aanpassing van de waterbeweging. In het Schelde estuarium is het positieve terugkoppelmechanisme van vaargeulverdiepingen naar hypertroebelheid echter niet vastgesteld (Dijkstra et al., 2019b). Vaargeulverdiepingen leiden dus niet altijd tot een verschuiving naar een hypertroebel systeem. Of zo'n regime shift plaatsvindt, is ook van andere factoren afhankelijk. In Dijkstra et al. (2019) wordt daarvoor richting de slibeigenschappen gewezen.

4.2 Het Eemsestuarium

4.2.1 Directe menselijke ingrepen op de morfologie

In hoofdstuk 2 zijn verschillende menselijke ingrepen (vaargeulverdiepingen, havenwerken, landaanwinningen, delfstofwinning) beschreven. De belangrijkste ingrepen kunnen samengevat worden als:

- Het verkleinen van het Eemsestuarium door grootschalige landaanwinningen (Dollard, Ley bocht) in de afgelopen (eeuwen tot millennium).
- Hydraulische werken en verdiepingen uitgevoerd rond 1900
- Het verdiepen van de geulen door aanlegbaggerwerk en zandwinning over de afgelopen eeuw.
- Het versnellen van de verondieping van de geulen Westereems en Bocht van Watum door verspreiding van baggerspecie. Ook sedimentatie op het Emshornwad is mogelijk versneld door verspreiden van baggerspecie op nabijgelegen Klapstellen 5 en 7. Hier is echter weinig over bekend en wij bevelen aan dit verder te onderzoeken.
- Het insnoeren van het estuarium door havenwerken bij Eemshaven, Delfzijl en Emden en door geleidewerken (Geise, Knock) over de afgelopen eeuw.

4.2.2 Effecten van vaargeulverdiepingen op de waterbeweging

Vaargeulverdiepingen en havenwerken (vorige paragraaf) hebben via de morfologie effect op de waterbeweging en vervolgens op de sedimentconcentratie in het water en op de bodem. De belangrijkste veranderingen in de waterbeweging worden hieronder besproken, omdat deze de eerste stap vormen in de doorwerking naar de SSC en het bodemslibgehalte (via de systeemwerking, zie Figuur 4-1).

- De baggerwerkzaamheden en waterbouwkundige werken uitgevoerd rond 1900-1920 hebben geleid tot een versnelde dominantie van het Oostfriesche Gaatje als hoofdgeul (en het opvullen van de Bocht van Watum).
- Uit de gemeten amplificatie van het getij (Figuur 2-4) blijkt dat de grootste veranderingen in de getijslag hebben plaatsgevonden in de Eemsrivier. In de Eemsrivier is de getijslag sterk toegenomen over de periode waarvoor we waterstandsgegevens hebben (sinds ~1960). Door het toenemen van de getijslag en de natte doorsnede in de Eemsrivier, zijn de stroomsnelheden ook veranderd. In het estuarium (Waddendeel en middendeel) zien we in de jaren 1960 - 1980 een toename van de getijslag. Deze toename is ook terug te zien in andere stations langs de Noordzeekust en is dus niet of niet volledig gerelateerd aan ingrepen. Dit is te zien aan de toename van de amplificatie van het getij (Figuur 2-4), die zeer marginaal is in het estuarium;
- Uit modelstudies waarin alleen de bodemligging in het estuarium is aangepast (maar niet in de Eemsrivier) blijkt dat de morfologische veranderingen in het estuarium tussen 1985 en 2005 geen of nauwelijks effect hebben gehad op de getijslag in het estuarium (Van Maren et al. 2015c). Ook de gemeten getijslag toont in het estuarium weinig veranderingen (Figuur 2-5 boven). De morfologische veranderingen betreffen sedimentatie in de Oude Westereems, het Doekegat, de Bocht van Watum en op het Emshornwad en erosie in het Oostfriesche Gaatje. De sedimentatie in de Westereems en Bocht van Watum is versneld door het verspreiden van baggerspecie in die geulen. De verdieping in het Oostfriesche Gaatje gedurende deze periode is waarschijnlijk veroorzaakt door een combinatie van vaargeulverdiepingen, zandwinning en uitschuring door hoge stroomsnelheden. Welke van deze drie het meest belangrijk is geweest voor de geobserveerde bodemveranderingen is niet bekend.
- De verdieping van het Oostfriesche Gaatje heeft geleid tot een verandering in de saliniteitsgradiënt langs het estuarium en de residuele stroming, zo blijkt uit modelsimulaties (Van Maren et al. 2015a, c). Hierbij is de zoutindringing in het estuarium toegenomen en is er nabij de bodem een meer constante landwaartse residuele stroming tussen de Eemshaven en de Dollard ontstaan. Deze landwaarts gerichte stroming nabij de bodem leidt tot een landwaarts transport en daarmee een toename van de vertroebeling in de Dollard.
- De lange-termijn effecten van de recente verdieping van het tracé Noordzee-Eemshaven op de waterbeweging zijn nog niet (met metingen) vastgesteld.

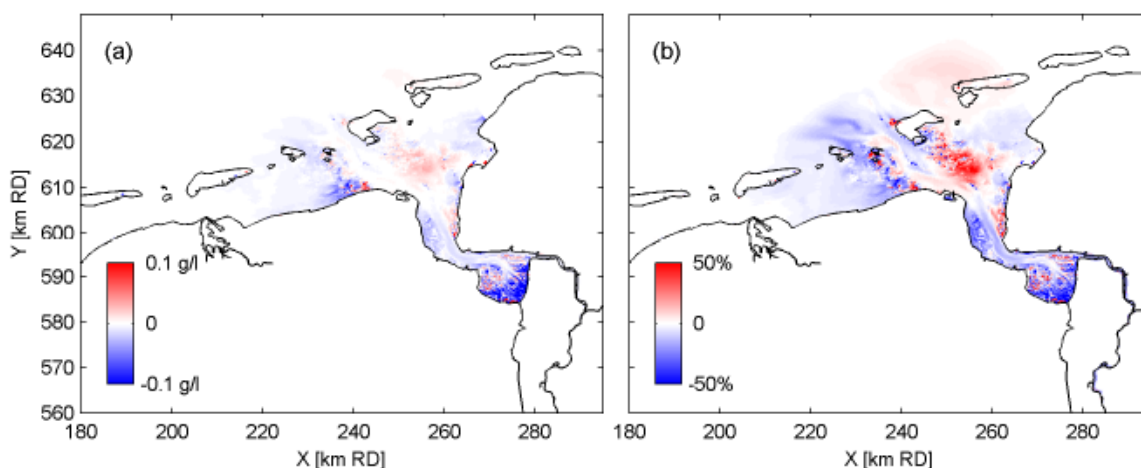
4.2.3 Effecten van vaargeulverdiepingen en onderhoudsbaggerwerk op SSC

Via de in de vorige paragrafen beschreven processen, constateren we de volgende effecten van vaargeulverdiepingen op de SSC in het Eemsestuarium inclusief de Eemsrivier:

- Voor de Eemsrivier (vanaf de stuw bij Herbrum tot aan Emden) is aangetoond dat de SSC door vaargeulverdiepingen zeer sterk is toegenomen (Winterwerp & Wang, 2013; De Jonge et al. 2014; van Maren et al., 2015a; Dijkstra et al., 2019a). Deze respons kan worden verklaard door een terugkoppelingsmechanisme (Figuur 4-1 en Figuur 4-2), waarbij verdiepingen leiden tot een veranderde waterbeweging (getijslag, getijasymmetrie, stroomsnelheden) die import van slib versterkt. Door de grote import van slib wordt zowel de waterkolom als de bodem slibrijker. Een slibrijke bodem is hydraulisch gladder, waardoor de getijvoortplanting minder weerstand ondervindt en het getij nog verder kan opslingeren (Figuur 2.4).
- Tussen circa 1900 en 1985 hebben langs het hele estuarium en de Eemsrivier verdiepingen plaatsgevonden, die in het estuarium een klein tot verwaarloosbaar effect op de getijslag hebben gehad. Het is onbekend welk effect de vaargeulverdiepingen hebben gehad op de stroomsnelheden en zout-gedreven dichtheidsstromingen over deze periode in het estuarium. Voor het middendeel en het Waddendeel van het estuarium is de SSC mogelijk toegenomen, maar niet zo sterk als in de Eemsrivier. De

schaarse metingen die er zijn van de SSC in de periode vóór 1990 in dit gedeelte van het estuarium bevatten een onzekerheidsmarge (door inconsistente en kortdurende meetreeksen) die ongeveer even groot is als de veronderstelde toename in SSC, behalve in de Bocht van Watum, waar de SSC tussen 1970 en 1990 wel substantieel is toegenomen. Veranderingen in bodemfauna wijzen op een toename in bodemslibgehalte en mogelijk SSC (zie paragraaf 2.4.1 voor details).

- Tussen 1985 en 2005 hebben morfologische veranderingen niet geleid tot een verandering van de getijslag, maar wél tot andere zout-gedreven dichtheidsstromingen en residuele transporten. De belangrijkste morfologische veranderingen zijn het uitruimen van het Oostfriesche Gaatje, het verlanden van de Bocht van Watum (versneld door verspreiden van baggerspecie vanuit de haven van Delfzijl en het op diepte houden van het Oostfriesche Gaatje als hoofdgeul), Westereems, Doekegat en de sedimentatie op het Emshornwad (mogelijk versneld door verspreiden van baggerspecie uit het Vaarwater naar Emden en de Eemsrivier op Klapstellen 5 en 7). De toename van zout-gedreven dichtheidsstromingen heeft een toename van de import van slib tot gevolg gehad én een toename in de SSC (Figuur 4-3). Simulaties waarin het effect van vaargeulverdieping tussen Eemshaven en Emden is geïsoleerd van andere morfologische veranderingen laten zien dat door de vaargeulverdieping de SSC in de Dollard toeneemt.
- Uit de MWTL SSC data bij Groote Gat in de Dollard, zien we (vooral in de winter) ook een toename van de SSC. Figuur 4-3 suggereert dat deze waargenomen toename in SSC in de Dollard (station Groote Gat) het gevolg is van de verdiepingen tussen 1985 en 2005. Het lijkt niet waarschijnlijk dat de toename gerelateerd is aan storten van gebaggerd slib, omdat tot aan 2001 veel sediment gebaggerd uit Delfzijl nabij station Groote Gat werd gestort. Na 2001 is airset veel belangrijker geworden, en werd gebaggerd sediment op grotere afstand van station Groote Gat in het systeem gebracht. Een alternatieve verklaring is dat de SSC in de Dollard toeneemt door de toename van SSC in de Eems rivier, omdat er waarschijnlijk veel uitwisseling is tussen de Dollard en de Eems rivier (Edom metingen; van Maren et al., 2021).
- Het daadwerkelijke effect van de recente verdieping van het tracé Noordzee-Eemshaven op de SSC is nog niet met metingen vastgesteld.



Figuur 4-3 Absolute (links) en relatieve verandering (rechts) van de gesimuleerde jaargemiddelde SSC tussen 1985 en 2005. De figuur toont het verschil (1985 min 2005). Een afname (blauw) in de figuur betekent dus een toename in SSC in 2005 t.o.v. 1985 (uit van Maren et al., 2015d).

In de meeste gevallen zal door de verdieping van de vaargeul de omvang van de geul niet meer passen bij het getijvolume en zal sedimentatie in de geul optreden. Daardoor leiden vaargeulverdiepingen ook tot blijvend onderhoudsbaggerwerk. Hierop bestaan twee

uitzonderingen. Ten eerste kunnen, wanneer de vaargeulverdiepingen leiden tot een verdere amplificatie van het getij en daarmee het getijvolume, de stroomsnelheden in de vaargeul ondanks de verdieping gelijk blijven of zelfs toenemen en dan zal het onderhoudsbaggerwerk beperkt blijven. Dit is voor het Eemsestuarium, specifiek in het Vaarwater naar Emden en de Eemsrivier, niet het geval: hier is ondanks een sterke toename in de getijslag ook het baggerbezwaar sterk toegenomen. Ten tweede kan de vaardiepte beperkt worden door harde, niet erodeerbare bodemlagen. Wanneer dergelijke lagen worden verwijderd, kunnen de stroomsnelheden hoog genoeg blijven om sedimentatie te voorkomen. Verwijderen van harde lagen kan echter grote veranderingen in het systeem tot gevolg hebben omdat het kan leiden tot de instelling van een nieuw morfologisch evenwicht.

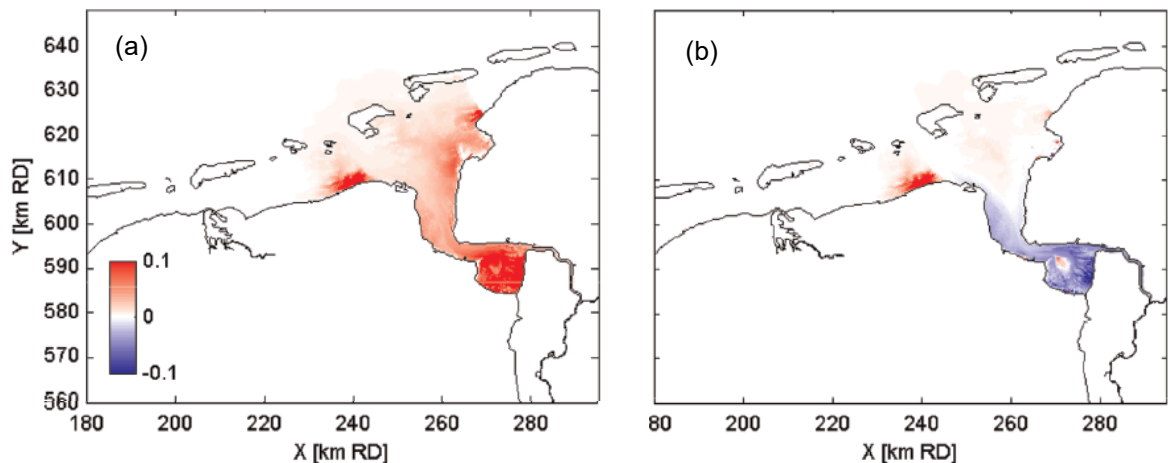
Het onderhoudsbaggerwerk betreft zowel het baggeren van havens en vaargeulen als het verspreiden van slib op de daarvoor aangewezen verspreidingslocaties. Tijdens het baggeren treedt vertroebeling op nabij de bodem door turbulentie en bodemberoering én nabij de oppervlakte door overflow van het beun. Bij verspreiden ontstaat direct een sedimentpluim die tot vertroebeling op de korte termijn (uren) leidt én wordt vers slib op de bodem afgezet, waar het makkelijk kan resuspenderen door de getijstroming of tijdens stormen.

De effecten van onderhoudsbaggerwerk op de SSC in het estuarium zijn als volgt samen te vatten.

- Het is waarschijnlijk dat de gemeten flinke toename in SSC in de Bocht van Watum in de jaren 1970 en 1980 (Figuur 2-22) een gecombineerd gevolg is van het gebruik van de Bocht van Watum als verspreidingslocatie en de algemene verlanding van de geul (waardoor dit een veel slibrijker systeem werd). Hoewel de teloorgang van de Bocht van Watum mogelijk is gemaakt door het inpolderen van de Dollard is de directe aanleiding de baggerwerkzaamheden en waterbouwkundige constructies in het Oostfriesche Gaatje (Gerritsen, 1952). Sinds 1972 wordt de Bocht van Watum niet meer onderhouden middels baggeren. Tot 2004 is sediment verspreid in de Bocht van Watum, waardoor deze versneld kon aanslibben (en de vertroebeling toenam).
- Modelberekeningen van alléén het effect van verspreiden (d.w.z. baggeren in havens en verspreiden in het estuarium zonder aanpassing van de bodemhoogte ten opzichte van het onttrekken van slib uit de havens) laten zien dat het verspreiden van havenspecie leidt tot een hogere SSC in bijna het gehele Eemsestuarium (Figuur 4-4a). Merk op dat deze simulatie een hypothetische situatie betreft, want in werkelijkheid wordt er alleen slib verspreid wat zich in havens heeft afgezet. Het effect van de verlaging van de SSC door accumulatie van slib in havens is in Figuur 4-4a niet getoond. (Zie hiervoor het volgende punt.)
- Modelberekeningen van het effect van baggeren én verspreiden (d.w.z. baggeren in havens en verspreiden in het estuarium ten opzichte van de situatie waarin geen havens aanwezig zijn en deze dus ook geen accumulatiegebied voor slib vormen) laten over langere tijdschalen gemiddeld een herverdeling van sediment zien (Figuur 4.4b) met een toename van SSC over een ~10 km breed gebied nabij verspreidingslocaties en een afname van de SSC buiten deze verspreidingslocaties.
- Het onttrekken van slib uit de haven van Emden, wat rond 1991 tot een einde kwam door het in gebruik nemen van airset in de haven, heeft lange tijd bijgedragen aan een lagere SSC in het estuarium (Van Maren et al. 2015b). Figuur 4.4a geeft aan hoe de concentratie toeneemt als sediment wat in havens bezinkt niet wordt onttrokken maar in het systeem wordt teruggestort. Wanneer al het sediment wat in havens bezinkt wordt onttrokken neemt de concentratie sterk af. Dit is een ander (en veel sterker) effect dan baggeren en storten (zoals beschreven in het vorige punt).
- Het verspreiden van baggerspecie op Klapstellen 5, 6 en 7 leidt waarschijnlijk tot een toename van de SSC rond deze verspreidingslocaties: op korte termijn door een toename in SSC tijdens verspreiden, en op lange termijn doordat het gestorte sediment tijdens stormen of hoge stroomsnelheden weer in suspensie wordt gebracht. In het

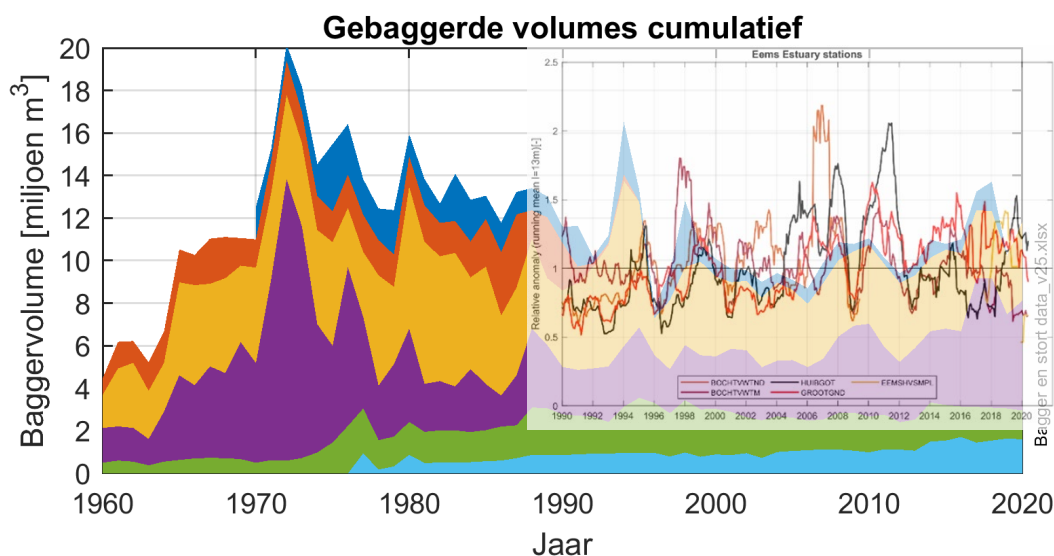
gebruikte model is de slibsedimentatie in het Emders Vaarwater sterk onderschat, waardoor de toename in SSC door verspreiding (Figuur 4.4b) ook wordt onderschat.

- Onzekerheid bestaat er over het effect van het gebruik van de airset in Delfzijl. Het is onbekend in hoeverre deze baggertechniek (in gebruik sinds 2001) bijdraagt aan de vertroebeling. Wij bevelen aan dit verder te onderzoeken.
- Baggeren van slib beïnvloedt ook erosie eigenschappen. Slib dat wordt afgezet in havens en vaargeulen, wordt teruggestort in het estuarium waar het door een lage weerstand tegen erosie makkelijk door de stroming in suspensie gebracht kan worden. Aangezien baggeren en storten een mechanisme vormen waardoor de kritische schuifspanning voor erosie kunstmatig laag wordt gehouden leidt dit theoretisch tot een toename in SSC. In welke mate deze verlaging van erodeerbaarheid bijdraagt aan een verhoging van de slibconcentratie is onbekend, en daarmee dus ook of dit een factor van grote betekenis is.



Figuur 4-4 Effect van verschillende scenario's op de jaargemiddelde SSC (kg/m^3): a) Het verschil van het baggeren en verspreiden van slib uit de havens min het onttrekken van slib uit de havens. Omdat in beide simulaties er slib uit de havens wordt onttrokken, betreft het verschil dus het verspreiden van slib uit de havens. b) Het verschil van het baggeren en verspreiden van slib uit de havens min de situatie zonder havens (simulatie waarbij de havens zijn dichtgezet met dammen). Het verschil tussen beide simulaties geeft dus het effect van de aanzuigende werking van slib naar de havens, die leidt tot een lagere SSC in het estuarium, plus het effect van het verspreiden van slib uit de havens die leidt tot een verhoging van de SSC in het estuarium (zoals bij a). Deze verhoging door verspreiding is echter in grote delen van het estuarium lager dan de verlaging als gevolg van de bezinkplaatsen die havens vormen, behalve rond de verspreidingslocaties. Uit: Van Maren (2015b).

Door baggervolumes en SSC direct met elkaar te vergelijken, kan ook geprobeerd worden het effect van baggeren en verspreiden op de SSC aan te tonen. Grote baggerinspanning in bepaalde jaren zou dan gepaard moeten gaan met een verhoging in SSC. Echter, doordat de bagger- en verspreidingsvolumes over de tijd redelijk constant zijn (in elk geval sinds 2000) en er grote fluctuaties zitten in de SSC, is dit effect zeer lastig uit de metingen op te maken. In Figuur 4-5 is er alleen overeenkomst te zien tussen lagere baggervolumes en SSC rond 1996 en de toename die daarop volgt rond 1998. In dit geval is het hogere baggerbezwaar waarschijnlijk het gevolg van hogere SSC en niet andersom, omdat die SSC fluctuaties in de hele Waddenzee zijn opgetreden (Herman et al. 2018). Deze grootschalige variatie in SSC kan dan niet het gevolg zijn van lokale baggeractiviteiten. De pieken rond 2008 en 2013 zien we ook terug in de SSC data van de Waddenzee (Herman et al. 2018), en zijn dus waarschijnlijk het gevolg van een grootschaliger proces. De verdieping die in 2017/2018 tot forse baggerinspanning heeft geleid, is niet terug te zien in de SSC, mogelijk omdat tijdens deze verdieping vooral zandig materiaal is gebaggerd.



Figuur 4-5 Gebaggerde volumes in het estuarium (zie legenda in Figuur 3-2) met daaroverheen de gesuspendeerde sedimentconcentratie op de stations in het estuarium.

Voor het inschatten van het effect van baggeren en verspreiden is het van belang om onderscheid te maken tussen gebaggerd slib dat wordt verspreid (zoals in het Eemsestuarium) en slib dat op land wordt gebracht (zoals in de Eemsvier of binnen ED2050 projecten). Onttrekkingen (op land brengen) kunnen leiden tot een substantiële reductie in de sedimentconcentratie zoals in het Eems estuarium (MIRT, 2015; van Maren et al., 2015b; Figuur 4-4a). Historisch gezien bezonk tussen de 2 en 3 miljoen ton slib per jaar in het Eems estuarium ten gevolge van opslibbing van platen en kwelders, maar ook grootschalige opvulling van de Dollard (van Maren et al., 2016). Na opvulling van deze gebieden werd tussen 1960 en 1994 grootschalig sediment onttrokken vanuit de haven van Emden: rond de 1,5 en 2 miljoen ton droge stof slib per jaar. Het stoppen met deze onttrekking (vanaf begin jaren 1990) wordt gezien als een belangrijke reden dat de vertroebeling in het Eems estuarium toenam tussen 1990 en 2010 (Vroom et al., 2011). De ambitie van het programma ED2050 is om jaarlijks minimaal 1 miljoen ton droge stof slib te onttrekken uit de Eems-Dollard. Dat komt overeen met ongeveer 2,5 miljoen kubieke meter slib. De Nederlandse onttrekkingen zijn tot nu toe zeer beperkt gebleven (slechts 0,24 miljoen m³ slib in 2018).

Qua sedimentonttrekkingen zou er op de lange termijn wel rekening gehouden moeten worden met de sedimentbeschikbaarheid. In het Nederlands kuststelsel wordt jaarlijks tussen de 10 en 15 miljoen ton slib van het zuidwesten naar het noordoosten getransporteerd (Oost et al., 2021). Op de lange termijn zou een continue sedimentonttrekking kunnen leiden tot een tekort aan slib in de Oostelijke Waddenzee. Dit heeft positieve effecten (een lager baggerbezuur) maar kan ook negatieve effecten hebben zoals een vergroving van het bodemsubstraat of een beperking van het meegroeivermogen van de intergetijdengebieden. Echter, de voorgestelde onttrekkingen zijn voornamelijk lager dan de historische onttrekkingen, zowel de natuurlijke (via natuurlijke sedimentatie) als menselijke (onttrekkingen vanuit de haven van en vaargeul naar Emden).

Ten slotte is het belangrijk te realiseren dat veel ingrepen in het systeem hebben plaatsgevonden in een periode voordat SSC werd gemonitord (voor 1970); daarnaast is monitoring tussen 1970 en 1990 niet consistent uitgevoerd waardoor deze gegevens beperkt bruikbaar zijn om uitspraken te doen over eventuele veranderingen. Op basis van de uitgevoerde menselijke ingrepen (verdiepingen, landaanwinningen) is het aannemelijk dat er voor 1970 een toename in SSC heeft plaatsgevonden. Dit kan niet worden bewezen met

beschikbare data (vanwege de afwezigheid van metingen) en ook niet met behulp van modellen (omdat de benodigde bodemgegevens om een dergelijk model op te stellen niet beschikbaar zijn).

4.2.4 Effecten van vaargeulverdiepingen en onderhoudsbaggerwerk op morfologie en baggerhoeveelheden

Het effect van morfologische veranderingen in het Wadden en middendeel van het estuarium, via de waterbeweging en de netto sedimenttransporten heeft waarschijnlijk vertroebeling, verslibbing van de bodem en toegenomen baggervolumes tot gevolg. Helaas ontbreken goed dekkende historische kaarten van het bodemslibgehalte in het Eemsestuarium. Uit de gegevens van de sedimentatlas, het SIBES monitoringsprogramma en de meetcampagne uit 2013 zijn geen grote veranderingen in het bodemslibgehalte vast te stellen, hoewel er wel een lichte toename in het slibgehalte in het middendeel van het estuarium lijkt te bestaan (van Maren et al., 2020). In de Dollard en op het eiland Hond-Paap is de totale hoeveelheid biomassa van bodemdieren afgenomen sinds 1974. Vooral op Hond-Paap is een verschuiving vastgesteld van tweekleppigen (strandgaper, kokkel) naar meer slibtolerante bodemfaunasoorten zoals borstelwormen, slakken en het wadkreeftje (Compton et al., 2017). Dit suggereert dat het bodemslibgehalte op Hond-Paap is toegenomen. Deze toename in het bodemslibgehalte is waarschijnlijk een gevolg van de toename van de gesuspendeerde sedimentconcentratie en de opvulling van de Bocht van Watum (doordat deze vrijwel is opgevuld kan hier niet veel slib meer bezinken). De slibsedimentatie in de Bocht van Watum is vooral het gevolg van de degeneratie van deze geul als gevolg van de inpoldering van de Dollard en wordt verder versterkt door 1) het onderhouden van het Oostfriesche Gaatje als hoofdvaargeul, 2) het stoppen met baggeren van de Bocht van Watum (1972) en 3) het verspreiden van baggerspecie in de Bocht van Watum.

Analyse van de morfologische veranderingen laat zien dat er vooral slib wordt afgezet in de Bocht van Watum en op het Eemshornwad. Het is aannemelijk dat de grote slibvolumes die worden gebaggerd in het Emders Vaarwater en Gatjebogen en worden verspreid op Klapstellen 5 en 7 (ca. 6 miljoen m³/j) bijdragen aan een relatief grote sedimentbeschikbaarheid en sedimenttoevoer naar het Eemshornwad (0.9 miljoen m³ slib per jaar; Elias et al., 2021). Dit gebied is aan netto sedimentatie onderhevig, hier bezinkt jaarlijks ook 1.7 miljoen m³/j aan zand (Elias et al., 2021). Het is dus een gebied, waar de waterbeweging dusdanig is, dat er sediment kan worden afgezet. De slibsedimentatie op het Eemshornwad wordt dus niet *gestuurd* door de verspreiding van baggerspecie, maar door grootschaliger morfologische ontwikkeling van de bekkens van de Westereems en de Oostereems. De verspreiding kan door de grotere beschikbaarheid van sediment nabij dit sedimentatiegebied wel de slibsedimentatie versnellen.

De recente verdieping en verruiming van het tracé Noordzee Eemshaven in 2017/2018 heeft waarschijnlijk geleid tot een toename van het baggerbezwaar. Dit is te verwachten, omdat de vaargeul nu verder afwijkt van zijn evenwichtsdiepte. Het is nog niet met zekerheid vast te stellen, omdat er nog maar twee jaar aan baggergegevens beschikbaar zijn. Wij bevelen aan om de ontwikkeling van de baggervolumes over dit tracé goed te blijven opvolgen.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Het doel van voorliggende studie is het onderzoeken van het cumulatieve effect van baggeren en verspreiden op de sedimentconcentraties in water en bodem. Het baggeren en verspreiden betreft zowel aanlegwerkzaamheden, vaargeulverdiepingen en havenaanleg, als onderhoudsbaggerwerk. Onderhoudsbaggerwerk betreft het op diepte houden van havens en vaargeulen, zonder dat de interventiediepte wordt verlaagd.

Onderzoek naar de effecten van menselijke ingrepen op de vertroebeling (SSC) en de slibdynamiek in estuaria wereldwijd vormen een kader waarbinnen we de effecten van menselijke ingrepen in het Eems estuarium beschouwen. Uit de systeemwerking weten we dat menselijke ingrepen in de vorm van vaargeulverdiepingen, landaanwinningen en bodemdaling een effect hebben via de morfologie en de waterbeweging. Deze werken door naar de sedimentconcentratie in het water (SSC) en de slibconcentratie op de bodem. Dit leidt uiteindelijk weer tot morfologische veranderingen (ingrepen leiden dus tot een morfologische respons oftevel een aanpassing van het natuurlijk systeem aan de ingrepen). Ook onderhoudsbaggerwerk heeft een effect op de systeemwerking. Onderhoudsbaggerwerk beïnvloedt de slibeigenschappen en slibbeschikbaarheid. Bovengenoemd begrip van de systeemwerking vormt de basis om het effect van cumulatieve ingrepen in het Eemsestuarium te kunnen vaststellen en vormt de basis voor de analyses die zijn uitgevoerd in dit rapport.

Effect van grootschalige ingrepen op de SSC

Estuarium

In het Eemsestuarium vinden al eeuwenlang grootschalige ingrepen plaats. Deze ingrepen, zoals de grootschalige landaanwinningen in de Dollard en langs de Duitse kust, haven- en geleidewerken, vaargeulverdiepingen en zandwinning, hebben de grootschalige morfologie beïnvloedt:

- Sinds de 13-15^e eeuw is de Dollard geleidelijk ingepolderd, wat leidde tot een geleidelijke afname van het belang van de Bocht van Watum en de overgang tussen het Eemsestuarium en het meest westelijk gelegen Duitse Waddenbekken.
- Baggerwerkzaamheden en hydraulische constructies hebben tussen 1900 en 1920 geleid tot een aantal onomkeerbare morfologische veranderingen waardoor het Oostfriesche Gaatje sterk dominant werd ten opzichte van de Bocht van Watum en deze laatste verlandde.
- Het verlanden van de Bocht van Watum is vanaf de jaren 1970 versterkt door het onderhouden van het Oostfriesche Gaatje als hoofdgeul en het verspreiden van baggerspecie in de Bocht van Watum. Ook nam de SSC in deze periode in de Bocht van Watum toe (factor 2 tot 3).

De verschillende ingrepen hebben geleid tot een toename in SSC in slibrijke delen van het estuarium (zoals de Dollard) en in delen van het estuarium waar veel slib is afgezet (zoals de Bocht van Watum). In hoeverre de SSC hierdoor ook in de andere delen van het estuarium is toegenomen is niet met zekerheid te zeggen vanwege het volgende:

- Het effect van de grote vaargeulverdiepingen en havenwerken in het middendeel en Waddendeel van het estuarium in de jaren 1960 en 1970 op de stroomsnelheden, residuele stroming, SSC en bodemslibgehalte kan niet worden bepaald met metingen omdat de beperkte hoeveelheid metingen inconsistent werden uitgevoerd. De beperkte metingen van SSC die er zijn uit deze periode (de metingen van Postma

(1960) zoals gerapporteerd in de Jonge et al. (2014) – zie Figuur 2-23) suggereren een toename. Deze toename is echter gebaseerd op vier individuele metingen (random verspreid binnen het getij) wat onvoldoende is om een dergelijke verandering met voldoende zekerheid aan te tonen. Een toename in SSC lijkt echter wel aannemelijk gezien de uitgevoerde ingrepen (vaargeulverdiepingen, meer baggeren en storten).

- Ook het verlies aan intergetijdengebied heeft waarschijnlijk geleid tot een toename in SSC, via verkleining van de komberging, toegenomen vloeddominantie en verlies aan slibsedimentatiegebieden.
- Er is geen effectanalyse uitgevoerd van de verschillende ingrepen met behulp van numerieke modellen (mede omdat noodzakelijke invoergegevens (bodemplugging) onvoldoende nauwkeurig zijn)

Voor de periode ná 1985 is middels modelsimulaties aangetoond dat morfologische veranderingen (waaronder vaargeulverdiepingen, zandwinning en natuurlijke uitruiming) impact hebben op de residuele stroming, waardoor ze het sedimenttransport en waarschijnlijk ook de SSC hebben verhoogd. Ook laten modelsimulaties zien dat het verdiepen van de vaargeul tussen Eemshaven en Emden waarschijnlijk tot een toename van SSC in de Dollard heeft geleid.

Voor de periode ná 1990 is een voldoende lange meetreeks van consistente SSC metingen (uit MWTL) beschikbaar om een statistische analyse van de SSC toe te laten en trends hierin te kunnen vaststellen. Hieruit blijkt dat de jaargemiddelde SSC sterk fluctueert. Er bestaan periodes van meerdere aaneengesloten jaren waarin de SSC een factor 2 hoger of lager is dan de langjarig gemiddelde SSC. Deze fluctuaties treden over het gehele estuarium op, en in de Waddenzee is vergelijkbaar gedrag vastgesteld (Herman et al. 2018). Na een lange periode van toenemende en hogere SSC (tot aan 2011) bevinden we ons sinds 2012 in een periode van minder hoge/stabiele/niet verder stijgende SSC. Het feit dat er op zeer grote schaal langjarige fluctuaties in het systeem bestaan verklaart waarom het zo lastig is het effect van menselijke ingrepen in-situ te meten. In de Dollard lijkt wel een gestage toename van de SSC in de winter op te treden.

Eemsrivier

Voor de Eemsrivier is de toename in SSC sinds de jaren 1950 vele malen groter (factor 10) dan in het middendeel van het estuarium en veroorzaakt door vaargeulverdiepingen, die een sneeuwbaaleffect van abiotische reacties in gang hebben gezet (Winterwerp & Wang, 2013; Winterwerp et al., 2013). De mate waarin deze hoge slibconcentraties in de Eemsrivier een uitstralend effect hebben op het middengebied en de Dollard is onderwerp van studie.

Effect van baggeren en verspreiden t.b.v. onderhoud op de SSC

De vaargeulverdiepingen, constructie van havens en landaanwinningen hebben niet alleen de SSC verhoogd, maar hebben ook het abiotisch systeem zo ver uit evenwicht gebracht, dat continu onderhoud aan de havens en vaargeulen nodig is om de streefdiepte te kunnen blijven garanderen. De bagger- en verspreidingsvolumes die hiermee gepaard gaan zijn groot en liggen tussen 8 en 12 miljoen m³ per jaar, plus een onttrekking van 2-3 miljoen m³/jaar uit de Eemsrivier. Deze volumes zijn een factor 2 tot 3 groter dan de netto sedimentatie op de overige plekken in het estuarium, waar de netto sedimentatie in totaal zo'n 5 miljoen m³/j bedraagt. Het onderhoudsbaggerwerk heeft dus een substantieel effect op de sedimentverplaatsingen in het estuarium.

Het continu baggeren en verspreiden beïnvloedt de slibconcentratie in het systeem als volgt:

- Baggeren en verspreiden om de havens en vaargeulen op diepte te houden leidt tot beïnvloeding van de slibeigenschappen (erodeerbaarheid, valsnelheid). Het slib wat in havens en vaargeulen wordt afgezet en vervolgens wordt gebaggerd bouwt geen

sterkte op. Hierdoor kan het vanaf de verspreidingslocaties weer gemakkelijk resuspenderen en voor vertroebeling zorgen.

- Bij het opzuigen van sediment uit havens en vaargeulen zorgen de bodemverstoring en overflow voor vertroebeling
- Bij het verspreiden van het gebaggerde materiaal ontstaat een baggerpluim die zorgt voor vertroebeling

Het jaargemiddeld effect van bovenstaande aspecten (dus specifiek het baggeren en verspreiden ten behoeve van onderhoud) is een verhoging van de SSC in bijna het gehele estuarium. De verandering in SSC is niet gelijkmatig door het hele estuarium: in een brede zone rondom verspreidingslocaties neemt SSC toe terwijl SSC in andere gebieden ook licht kan afnemen door de slibaanzuigende werking van de havens.

Effect van slibonttrekken op de SSC

Het onttrekken van slib (tot 1991 uit de haven van Emden, tot op heden uit de Eemsrivier en in mogelijk toenemende mate in het kader van ED2050) leidt tot een verlaging van de SSC in het estuarium. Numerieke modelsimulaties suggereren dat de grootschalige slibonttrekkingen uit de haven van Emden tot aan het begin van de jaren 90 hebben gedurende die periode waarschijnlijk geleid tot een verlaging van de SSC in het middendeel van het estuarium en de Dollard (van Maren et al., 2016). In hoeverre het stoppen van het onttrekken uit de haven van Emden is gecompenseerd met het vergroten van de onttrekkingen uit de Eemsrivier is niet duidelijk, omdat rond dezelfde tijd dat de onttrekkingen vanuit Emden stopten de vertroebeling in de beneden Eems Rivier sterk toenam als gevolg van vaargeulverdiepingen.

Effect van de Eemsrivier op de SSC

De rol van de zeer troebele Eemsrivier op de SSC in het estuarium (uitstralend effect) is nog onderwerp van onderzoek. De processen die rondom de monding van de Eemsrivier (in het Vaarwater naar Emden en over de Geiseleitdamm) een rol spelen zijn zeer complex. In numerieke modellen is tot nu toe ook niet gelukt de hoge sedimentatie (en daarmee baggervolumes) in het Vaarwater naar Emden te reproduceren. Dit reproduceren van de optredende sedimentatieprocessen d.m.v. modellen gaat pas lukken als de transportprocessen in dit deel van het systeem goed bekend zijn. Recentelijke metingen, uitgevoerd in het kader van de EDoM'18 meetcampagne, hebben geleid tot een beter inzicht in de transportprocessen. Bij een update van het model met deze nieuwe inzichten (aanbeveling om deze modelverbetering uit te voeren) zal het effect van de Eemsrivier op de SSC in het estuarium én het effect van maatregelen en ingrepen beter inzichtelijk kunnen worden gemaakt. Wanneer de hoge aanslibbing in het vaarwater naar Emden beter wordt gemodelleerd, kan ook het effect van de grote verspreidingsvolumes nabij K5 en K7 inzichtelijk worden gemaakt. Verwacht wordt dat deze slibverspreiding een belangrijke rol speelt in de geobserveerde slibsedimentatie op het Emshornwad, en ook bijdraagt aan vertroebeling rondom deze verspreidingslocaties.

Samenvattende conclusie

Er zijn verschillende aspecten die de SSC in het estuarium verhogen. Grootschalige ingrepen, het onderhoudsbaggerwerk en de hoge concentraties in de Eemsrivier zelf (als gevolg van verdiepingen van de Eemsrivier) hebben allemaal een verhogend effect op de slibconcentratie in het estuarium. Deze aspecten spelen op verschillende tijd- en ruimteschalen en hebben soms een tegengesteld effect. Geconcludeerd kan worden dat:

- De grootschalige ingrepen en aanpassingen aan het systeem, o.a. de vaargeulverdiepingen, zeer waarschijnlijk hebben geleid tot hogere sedimentconcentraties in het estuarium. Rekening houdend met de grote jaarlijkse variaties in concentraties bevindt de huidige concentratie zich zeer waarschijnlijk op een hoger niveau dan decennia geleden;

- Het effect van baggeren om de vaargeulen en havens op diepte te houden, met verspreiding van de baggerspecie in het systeem, is anders dan het effect van de grootschalige ingrepen in het systeem, zoals aanleg van havens en verdieping van vaargeulen. Dit onderhoudsbaggerwerk zorgt vooral voor het steeds weer in omloop brengen van het slib door het oppakken en verspreiden ervan of door het terug in het systeem te blazen met een airset. Dit leidt tot een ruimtelijke herverdeling van de slibconcentratie, waarbij SSC toeneemt in delen van het estuarium nabij verspreidingslocaties maar mogelijk afneemt in andere delen. Daarbovenop beïnvloedt baggeren en verspreiden de slibeigenschappen. Hier is echter niet veel over bekend. Het lijkt aannemelijk dat baggeren leidt tot een hogere erodeerbaarheid van slib, wat een hogere SSC tot gevolg zou hebben.
- De grootschalige ingrepen, en met name de verdieping van de vaargeulen, heeft in de Eemsvier geleid tot zeer hoge SSC. Dit heeft waarschijnlijk een uitstralend effect op het estuarium, met name in de vaargeul naar Emden. Het fijne sediment dat uit deze vaargeul wordt gebaggerd wordt vervolgens verspreid binnen het estuarium, wat ook nabij deze verspreidingslocaties tot een verhoging van SSC leidt.

5.2 Aanbevelingen

Uit de uitgevoerde analyses van data en de resultaten die in dit rapport beschreven zijn volgen een aantal aanbevelingen voor aanvullende monitoring en onderzoek. De aanbevelingen kunnen gegroepeerd worden onder het op orde brengen van de data en de inzet van numerieke modelsimulaties:

Op orde brengen van de data:

- Verzamel en ontsluit de bagger- en verspreidingsdata van de vaargeulen en havens uit zowel Nederland als Duitsland op één centrale plaats. Rapporteer daarbij in dezelfde grootte (beun of in-situ volumes) en splits de baggervakken daarbij op in kleinere deelgebieden, zodat meer inzicht wordt verkregen in de ruimtelijke variatie in baggervolumes en eventuele trends daarin. Koppel daarnaast de baggerlocaties met de verspreidingslocaties, zodat ook betrouwbare aannames kunnen worden gedaan over de sedimentsamenstelling op de verspreidingslocaties. Maak altijd onderscheid tussen aanleg- en onderhoudsvolumes. Rapporteer indien mogelijk ook de sedimentsamenstelling of de droge dichtheid van het materiaal.
- Tijdens de afronding van deze studie kwam naar voren dat er ook bodemverstoring plaatsvindt vanwege de aanleg van kabels en leidingen. Voor een deel vinden de baggerwerkzaamheden plaats aan de Noordzezijde van Rottumeroog en voor een deel in het estuarium (o.a. Gasunie leiding nabij Hond-Paap). Voor de aanleg van kabels en leidingen zijn ook zeer erosieresistente potkleilagen doorsneden, met mogelijk grootschaliger effecten op de morfologie. Van deze ingrepen moet een helder overzicht worden gemaakt en het effect van deze ingrepen op de ontwikkeling van het estuarium moet worden opgevolgd.
- Breng de havenontwikkelingen in de Eemshaven en de haven van Delfzijl nauwkeuriger in kaart en onderzoek het effect van havenontwikkelingen op de baggervolumes. Hoewel de constructie en uitbreiding van havens altijd in een bepaald jaar gerapporteerd wordt, worden nieuwe havenbekkens vaak geleidelijk in gebruik genomen. Hierdoor is ook het effect op het abiotisch systeem veel geleidelijker dan op basis van de aanlegperiode verwacht zou worden. Ook de oudere havenwerken en vaargeulverdiepingen, vooral in de jaren 1960 en 1970 zijn slecht in kaart gebracht. Het effect van deze ingrepen zou beter onderzocht moeten worden, om het cumulatieve effect van vaargeulverdiepingen te kunnen kwantificeren.
- Kleine ingrepen en/of korte pilots kunnen onmogelijk enkel door tijdelijke monitoring op effecten worden beoordeeld, gegeven de grote fluctuaties in SSC en mogelijke doorwerking in het systeem op langere tijdschaal. In-situ monitoring is wel een

belangrijk onderdeel van kalibratie/validatie van zowel numerieke modellen als monitoring m.b.v. remote sensing.

Inzet van numerieke modelsimulaties:

- Gebruik modelsimulaties om het effect van baggeren en verspreiden geïsoleerd van andere sturende factoren (zoals resulterend in langjarige fluctuaties in SSC) inzichtelijk te maken. Het effect van het verspreiden van grote hoeveelheden slib (ca. 6 miljoen m³/j) op de Klapstellen 5 en 7 in het middendeel van het estuarium op de vertroebeling en de slibsedimentatie (Emshornwad) kan met modelsimulaties worden vastgesteld. Hierbij wordt ook aanbevolen om de rol van de Eems rivier beter in modellen te representeren door gebruik te maken van de EDoM metingen.
- Het uitvoeren van generiek onderzoek naar het effect van baggeren en verspreiden op de sedimentconcentratie in estuaria en getijbekkens zoals de Waddenzee. Baggeren en verspreiden leidt waarschijnlijk tot een toename van SSC door recirculatiepatronen in combinatie met natuurlijke transportpatronen (zoals bij de vaargeul naar Ameland), en mogelijk ook door een verandering van slibeigenschappen. Hier is weinig over bekend. Het wordt aangeraden hier langjarig, case-overstijgend onderzoek naar te doen.
- Het effect van het gebruik van airset als baggertechniek in de haven van Delfzijl op de SSC zou onderzocht moeten worden. Ook is er door de manier van registratie (gebaseerd op het aantal uren dat water en lucht wordt geïnjecteerd) weinig inzicht in eventuele veranderingen in baggervolumes. Hierbij zou ook het effect van het constant resuspenderen van slib via baggerschepen beter onderzocht moeten worden.
- Onderzoek wat het effect is van de recente verdieping tussen de Noordzee en de Eemshaven op de waterbeweging, slibimport en SSC. In de recente baggervolumes (2019 en 2020) lijkt een toename te zijn opgetreden, maar deze periode is te kort om harde conclusies te kunnen trekken.

6 Referenties

- 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.
- Compton, T.J., S. Holthuisen, M. Mulder et al., 2017. Shifting baselines in the Ems Dollard estuary: A comparison across three decades reveals changing benthic communities. *Journal of Sea Research* 127, p. 119–132
- Cronin, K., Villars, N., Stolte, W., De Kluiver, A. & van Maren, B. (2015). Mud dynamics in the Ems-Dollard, phase 3. Scenarios for improvement. Deltares report 1205711-003.
- Dankers, P. (2019). Kennispaper Hydromorfologie ED2050, Rapport BF2443-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0003, Royal HaskoningDHV.
- De Jonge, V.N., Schuttelaars, H.M., van Beusekom, J.E.E., Talke, S.A. & de Swart, H.E. (2014). The influence of channel deepening on estuarine turbidity levels and dynamics, as exemplified by the Ems estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 139, p. 46-49.
- De Smet, L.A.H & A.J. Wiggers (1960). Einige Bemerkungen über die Herkunft und die Sedimentations-geschwindigkeit der Dollartablagerungen. *Verh. K. Ned. Geol. Mijnbouwk. Genoot.* 19: 129–133.
- Dijkstra, Y. M., Schuttelaars, H. M., Schramkowski, G. P. & Brouwer, R. L. (2019a). Modeling the transition to high sediment concentrations as a response to channel deepening in the Ems River Estuary. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124. <https://doi.org/10.1029/2018JC014367>
- Dijkstra, Y.M., Schuttelaars, H.M. & Schramkowski, G.P. (2019b). Can the Scheldt River Estuary become hyperturbid? *Ocean Dynamics* 69, 809–827. <https://doi.org/10.1007/s10236-019-01277-z>
- Elias, E. (2021). Analyse Hond-Paap. Deltares memo, 22 p.
- Elias, E., Colina-Alonso, A. & Van Maren, D.S. (2021). Morfologische veranderingen Eems-Dollard en Groninger Wad. Deltares rapport 11203742-000, 146 p.
- Esselink, P., Bos, D., Oost, A.P., Dijkema, K.S., Bakker, R. & de Jong, R. (2011). Verkenning afslag Eems-Dollardkwelders. PUCCIMAR rapport 02, A&W rapport 1574 PUCCIMAR Ecologisch Onderzoek & Advies, Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek. Vries, Feanwâlden.
- Eysink, W. (1990). Morphologic response of tidal basins to changes. *Coastal Engineering Proceedings* 1.22, pp. 1948–1961. doi:10.1061/9780872627765.149.
- Friedrichs, C. T. (1995). Stability shear stress and equilibrium cross-sectional geometry of sheltered tidal channels. *Journal of Coastal Research* 11.4, pp. 1062–1074.
- Gerritsen, (1952). Historisch-hydrografisch onderzoek Eems. Notitie D41, 17 p., Hoorn.

Gerritsen, F. & De Jong, H. (1985). Stabiliteit van doorstroomprofielen in de Westerschelde. Tech. rep. Nota WWKZ-83. V016, Rijkswaterstaat adviesdienst Vlissingen.

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 rapport 11202177-000-ZKS-0011.

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

Herrling, G. & Niemeyer, H.D. (2008). Comparison of the hydrodynamic regime of 1937 and 2005 in the Ems-Dollard estuary by applying mathematical modelling. Harbasins Report.

Jaarrapportage ED2050 (2019). Meerjarig adaptief programma Eems-Dollard 2050: De toestand van de natuur, de projecten en het programma in 2019. Wouter Iedema, Charlotte Schmidt en Herman Mulder (Rijkswaterstaat), Kees van Es (Wing in opdracht van provincie Groningen), Melissa Onwezen en Allix Brenninkmeijer (provincie Groningen), Fred Haarman (RoyalHaskoningDHV in opdracht van ED2050)

KNMI (2021). KNMI Klimaatsignaal'21. Hoe het klimaat in Nederland snel verandert. KNMI, De Bilt. https://cdn.knmi.nl/knmi/asc/klimaatsignaal21/KNMI_Klimaatsignaal21.pdf

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1998). Landelijke beleidsnota schelpenwinning. C12446 RWS.

NAM (2014). Gewijzigd Winningsplan Groningenveld 2013.

Pein, J.U., E. V. Stanev, and Y. S. Zhang, 2014. The tidal asymmetries and residual flows in Ems Estuary. *Ocean Dynamics* 64.12 (2014): 1719-1741.

Pierik, H.J., Busschers, F.S. & Kleinhans, M.G. (2018). De rol van resistente lagen in de historische morfologische ontwikkeling van het Eemsestuarium vanaf de 19e eeuw, Universiteit Utrecht, Departement Fysische Geografie, conceptrapport i.o. Rijkswaterstaat WVl ten behoeve van het ED2050 programma.

Pierik, H. J., Leuven, J. R., Busschers, F. S., Hijma, M. P., & Kleinhans, M. G. (2022). Depth-limiting resistant layers restrict dimensions and positions of estuarine channels and bars. *The Depositional Record*. <https://doi.org/10.1002/dep2.184>

Schuttelaars, H.M., De Jonge, V.N. & Chernetsky, A. (2011). Influence of the length of an estuary on tidal motion and sediment trapping. Delft Institute of Applied Mathematics, Faculty of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science, TU Delft, Delft. 28 pp.

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

Stolte et al. (draft). Digitale systeemrapportage Wadden. Deltares project 11206799-003.

Talke, S. A., & Jay, D. A., 2020. Changing tides: The role of natural and anthropogenic factors. *Annual review of marine science*, 12, 121-151.

- Van Maren, D.S., Winterwerp, J.C. & Vroom, J. (2015a). Fine sediment transport into the hyperturbid lower Ems River: the role of channel deepening and sediment-induced drag reduction, *Ocean Dynamics*, DOI 10.1007/s10236-015-0821-2.
- Van Maren, D.S., van Kessel, T., Cronin, K. & Sittoni, L. (2015b). The impact of channel deepening and dredging on estuarine sediment concentration. *Continental Shelf Research* 95, p. 1-14, <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2014.12.010>.
- Van Maren, D.S., J. Vroom, T. Vijverberg, M. Schoemans, A. van Rooijen (2015c). Mud dynamics in the Ems-Dollard, phase 2. Setup hydrodynamic models. Deltares rapport 1205711-001-ZKS-0003, 108 p.
- Van Maren, D.S., W. Stolte, L. Sittoni, J. Vroom, L. Arentz, A. de Kluiver (2015d). Mud dynamics in the Ems-Dollard, phase 2. Model analysis. Deltares rapport 1205711-001-ZKS-0005, 92 p.
- 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. and van Kessel, T. (2016). Long-term effects of maintenance dredging on turbidity, *Terra et Aqua* Number 145 5-14
- Van Maren, D., Schrijvershof, R., van der Wegen, M. (2017). Hydromorfologische verbetering ED2050, Opzet morfologisch model, Deltares rapport 11200116-000.
- Van Maren, D., Schrijvershof, R., Vroom, J. (2019). Hydromorfologische verbetering ED2050. Optimalisatie morfologisch model. Deltares rapport 11202245-000-ZKS-0003.
- Van Maren, D.S., Pierik, H.J., Dankers, P.J.T. & Schmidt, C. (2020). De verslibbing van het Eemsestuarium. *Landschap* 2020(3), p. 113-121.
- Van Maren, B., Vroom, J. & Van Keulen, D. (2021). Exchange processes between the Ems river and estuary. Results of EDoM measurement campaigns 2018 & 2019. Deltares report 11203742-000-ZKS-0002.
- VROM (2007). Ontwikkeling van de wadden voor natuur en mens. Deel 4 van de planologische kernbeslissing Derde Nota Waddenzee, tekst na parlementaire instemming.
- Vroom, J., van den Boogaard, H.F.P. & van Maren, D.S. (2012). Mud Dynamics in the Ems-Dollard, research phase 2: analysis existing data. Deltares report 1205711.001, 97 p.
- Wang, Z., Jeuken, M., Gerritsen, H., De Vriend, H. & Kornman, B. (2002). Morphology and asymmetry of the vertical tide in the Westerschelde estuary. *Continental Shelf Research* 22.17, pp. 2599–2609.
- Waddenzee.nl (n.d.b). Zandwinning [online]. Available at: <http://www.waddenzee.nl/themas/energie-en-delfstoffen/zandwinning/> [date of search 30-11-17].
- Winterwerp, J.C., Vroom, J., Wang, Z.B., Krebs, M., Hendriks, C.M., Van Maren, D.S., Schrottke, K., Borgsmüller, C. & Schol, A. (2017). SPM response to tide and river flow in the hyper-turbid Ems River. *Ocean Dynamics* 67, 559–583. <https://doi.org/10.1007/s10236-017-1043-6>

Winterwerp, J.C. & Wang, Z.B. (2013). Man-induced regime shifts in small estuaries—I: theory. *Ocean Dynamics* 63, 1279–1292. <https://doi.org/10.1007/s10236-013-0662-9>.

Winterwerp, J.C. & Wang, Z.B., van Braeckel, A., van Holland, G. and Kösters, F. (2013). Man-induced regime shifts in small estuaries—II: a comparison of rivers. *Ocean Dynamics* 63, 1293–1306. <https://doi.org/10.1007/s10236-013-0663-8>.

Ysebaert, T.J.W., Van der Wal, J.T., Tangelder, M., De Groot, A.V. & Baptist, M.J. (2016). Ecotopenkaart voor het Eemsestuarium. IMARES Rapport C059/15.

<https://www.waddenzee.nl/themas/overige-themas/zand-en-schelpenwining/schelpenwining>

A Bijlagen

A.1 Inconsistenties in de aangeleverde baggerdata

- In 2016-2019 is de Eemshaven en de vaargeul tussen Eemshaven en de Noordzee verdiept (getallen in VVEN xls). Tijdens de verdieping vond er relatief veel sedimentatie in de vaargeul plaats, waardoor de totalen een som zijn van aanlegvolumes en onderhoudsvolumes. Het is niet altijd duidelijk wat aanleg en wat onderhoud is. Ook zijn de baggervolumes alleen voor het hele tracé Eemshaven-Noordzee bekend. Het totaal Eemshaven-Noordzee op basis van maandbaggervolumes komt daardoor niet overeen met de jaarbaggertotalen. In de 'jaar'tabbladen zijn de VVEN getallen ook niet opgenomen.
- Doordat voor 2019 en 2020 voor de data van de Eemsgeul niet duidelijk is wat waar gebaggerd is en waar gestort, ontbreken deze data in de 'jaar'tabbladen. In de baggeren stortcijfers per maand en per jaar zijn deze wel opgenomen.
- Er is een verschil tussen de baggervolumes in 2016, 2017 en 2018 tussen de jaartotalen (cijfers van Herman Mulder (baggerdata vanaf 2002.xls)) en de maandcijfers (van WSA), zowel voor het baggeren als het verspreiden, op de trajecten Emders Vaarwater 40.7 - 47.7, Emders Vaarwater 47.7 - 50.0, Gatjebogen 50.0 - 53.0, Gatjebogen 53.0 - 57.0, Ostfr. Gatje 57.0 - 62.0 en Dukegat 62.0 - 70.0. Het verschil is niet consistent over de gebieden, noch over de jaren. In totaal loopt het verschil op tot ca. 400.000 m³/j voor alle gebieden gesommeerd. Dit kan veroorzaakt worden door een verschil in volume (beun/in-situ) en door een andere verdeling over de kalenderjaren. WSA levert 'Bodenvolumen = (solid density – Water density) / (solid density x (soil density saturated – water density)) x TDS. The MoNa software calculates the solid mass TDS for each tour; each volume from the full hopper dredger was measured manually. The software also calculated the solid density.'
- Voor de trajecten Randzelgat 74.6 – 77, 90 – 100 en 100 – 105 in 2016 is er een verschil tussen de baggercijfers van Herman Mulder (baggerdata vanaf 2002) en de baggercijfers van de WSA (zie vorige punt)
- Voor K3/P2a en K4/P2 wordt in het jaartotaal verspreid materiaal in 2018 een klein volume (<10.000 m³) genoemd, die niet terugkomt in het totaal o.b.v. de maanddata.

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

Deltares

www.deltares.nl

RAPPORT

Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op habitatype H1130 in de Eems-Dollard

Deel 2: Biotische effecten

Klant: Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving

Referentie: BI1678-WM-RP-220419-1315

Status: Definitief/00

Datum: 15 juli 2022

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Euvelgunnerweg 25A
9723 CV Groningen
Water & Maritime
Trade register number: 56515154

+31 88 348 53 00 **T**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op habitatype H1130 in de Eems-Dollard
Sub titel: Deel 2: Biotische effecten
Referentie: BI1678-WM-RP-220419-1315
Status: 00/Definitief
Datum: 15 juli 2022
Projectnaam: Baggerstudie beheerplan ED
Projectnummer: BI1678
Auteur(s): Femkje Sierdsma, Saskia Mulder, Petra Dankers

Opgesteld door: Royal HaskoningDHV

Gecontroleerd door: Saskia Mulder

Datum: 14 juli 2022

Goedgekeurd door: Petra Dankers

Datum: 14 juli 2022

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veeleenvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Doel	1
1.2	Leeswijzer	3
2	Ecologische kwaliteitskenmerken habitatype H1130 Estuaria	4
2.1	Abiotische kenmerken	5
2.2	Biotische functie en structuren	6
2.3	Typische soorten	7
2.4	Overzicht kwaliteitskenmerken	8
3	Mogelijke effecten / relevante verstoringfactoren	10
3.1	Oppervlakteverlies	11
3.2	Verontreiniging	11
3.3	Verandering overstromingsfrequentie	11
3.4	Verandering dynamiek substraat	11
3.5	Verstoring door mechanische effecten	12
3.6	Verandering in populatiedynamiek	12
3.7	Samenvatting relevante verstoringfactoren	12
4	Effectbeoordeling	13
4.1	Abiotische kwaliteitskenmerken	13
4.2	Landschappelijke samenhang en afwisseling van ecotopen	17
4.3	Primaire productie	17
4.4	Diversiteit bodemdieren	20
4.5	Schelpdierbanken	24
4.6	Zeegras(velden)	28
4.7	Vissen	31
5	Overzicht conclusies	33
	Referenties	34

Bijlagen

A1	Methode en aannames globale berekening gebied beïnvloed door baggeren en storten
----	--

1 Inleiding

1.1 Doel

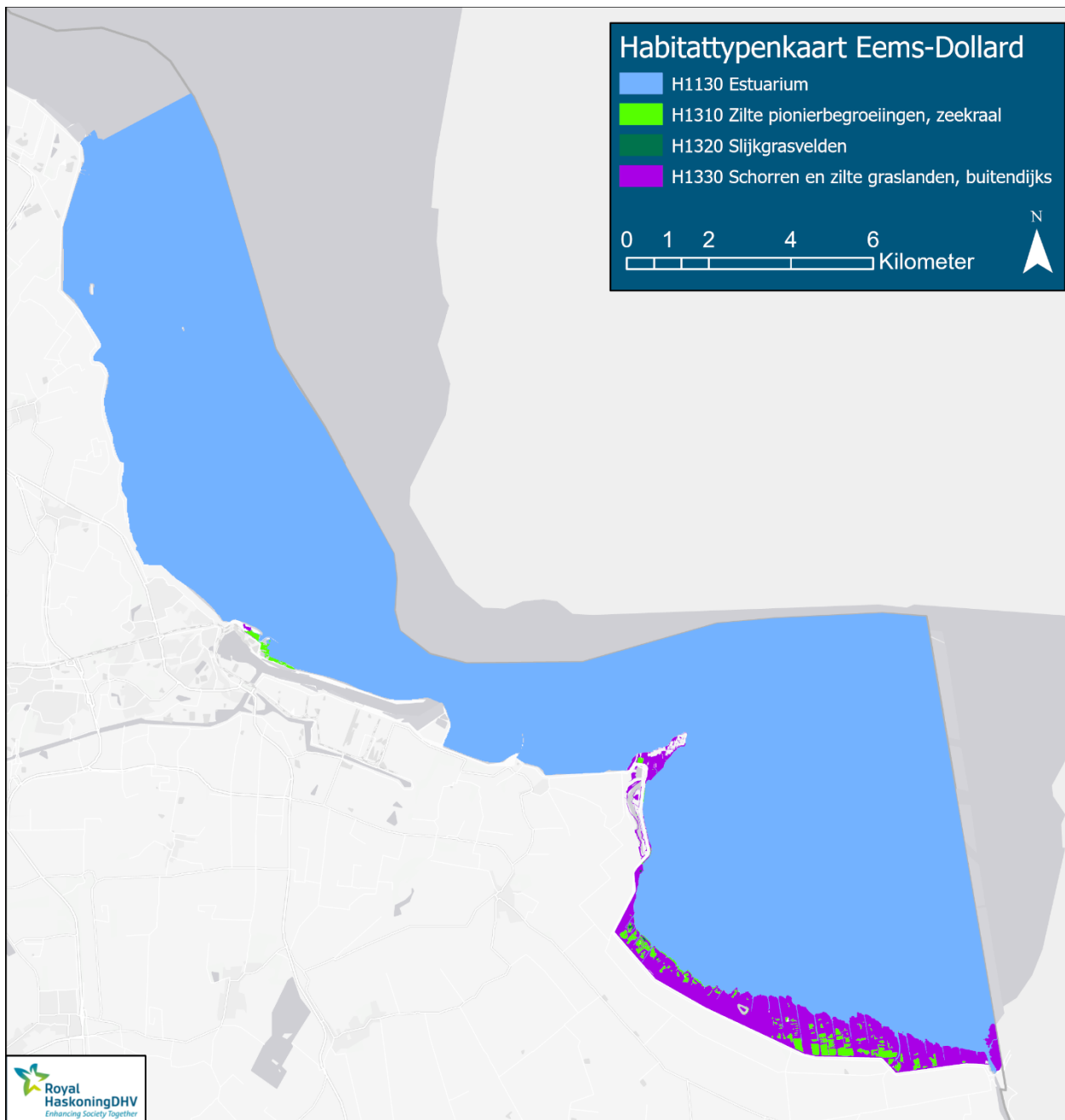
In 2020 is gestart met het opstellen van een Supplement Natura 2000-beheerplan Eems-Dollard als aanvullend onderdeel voor het Natura 2000 gebied Waddenzee. Het supplement omvat de uitwerking van de Habitatrictlijn in het gebied. Voor de Waddenzee bestond al een beheerplan; een document dat de ecologische staat van instandhouding beschrijft, aangeeft wat er gedaan kan worden om natuur te behouden en waar mogelijk te verbeteren, eventueel met middelen en maatregelen. Het Supplement Eems-Dollard zal daaraan worden toegevoegd (zie kader voor een nadere uitleg).

Supplement Natura 2000-beheerplan Eems-Dollard

In 2008 is de (Nederlandse) Waddenzee aangewezen als Natura 2000-gebied in het kader van de Vogel- en Habitatrictlijn (ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV), 2008). De Eems-Dollard is onderdeel van het Natura 2000-gebied Waddenzee, maar was in eerste instantie alleen aangewezen als Vogelrichtlijngebied. Door middel van een zogenaamd wijzigingsbesluit is de Eems-Dollard door de Staatssecretaris van Economische Zaken in 2017 ook aangewezen als Habitatrictlijngebied (ministerie van Economische Zaken, 2017). Het gebied is in het kader van de Habitatrictlijn aangewezen voor vier habitattypen en vijf habitatrictlijnsoorten. Voor deze habitattypen en soorten zijn instandhoudingsdoelstellingen vastgelegd. Het Natura 2000-beheerplan voor de Waddenzee dateert uit 2016. Daarin is de Eems-Dollard als Habitatrictlijngebied nog niet opgenomen. Dit is de aanleiding om een supplement aan dit beheerplan toe te voegen, waarin de doelstellingen in het kader van de Habitatrictlijn en dan specifiek voor H1130 (estuaria) voor de Eems-Dollard nader uitgewerkt worden. Voor dit habitatype is een verbeterdoelstelling geformuleerd. Bovendien is de landelijke staat van instandhouding van dit habitatype zeer ongunstig (Adams et al. 2020). Daarmee is de urgentie voor verbetering van dit habitatype hoog.

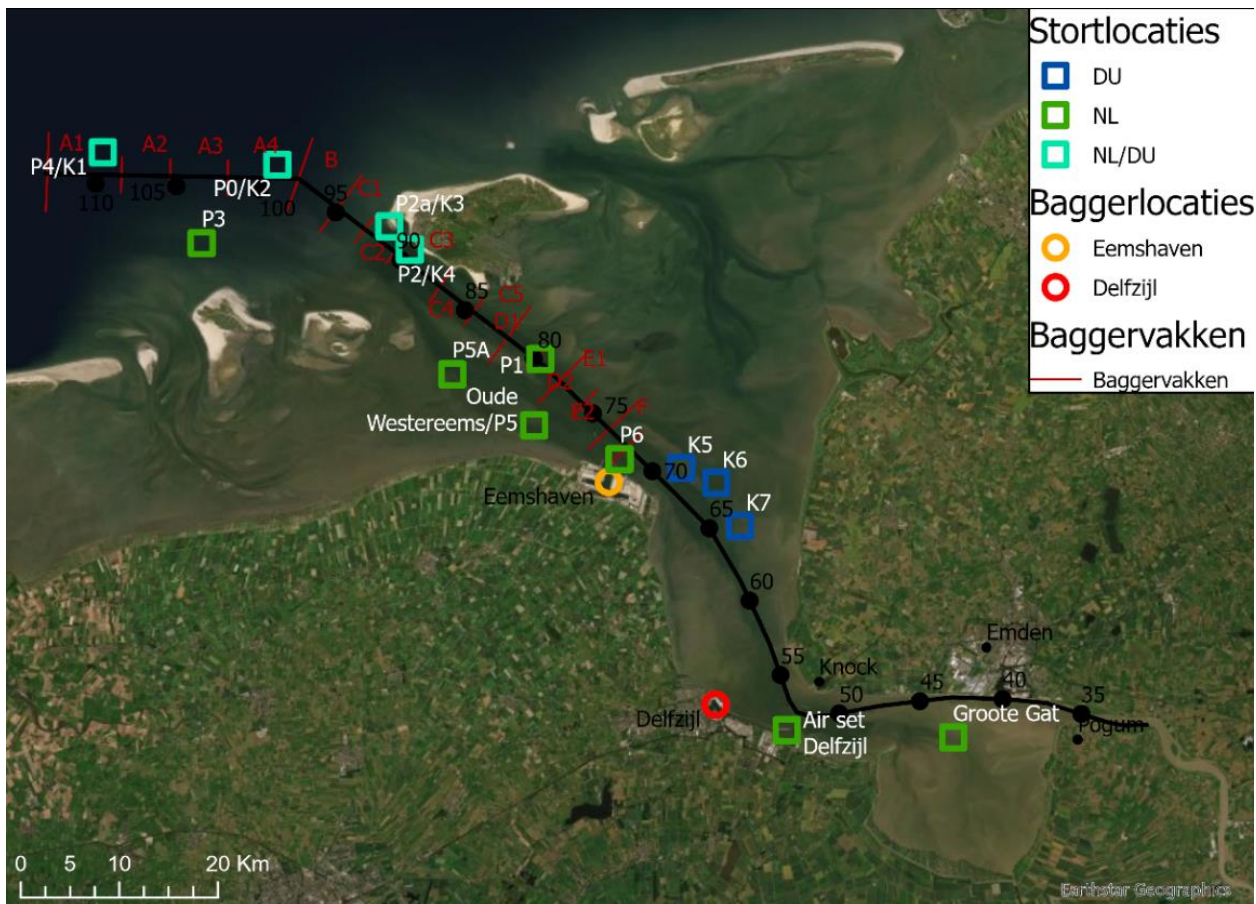
Onderliggend document van het Supplement beheerplan Eems-Dollard is een Nadere Effectanalyse (NEA). De NEA beschrijft de huidige activiteiten die plaatsvinden in de Eems-Dollard en wat de effecten hiervan zijn op de instandhoudingsdoelstellingen. Tijdens het opstellen van de NEA is gebleken dat er onvoldoende zicht is op de cumulatieve effecten van alle bagger- en verspreidingsactiviteiten en welke effecten deze activiteiten hebben op de beschermde omgeving, met name het Natura 2000-habitatype H1130 Estuaria. Om die reden hebben Vroom et al. (2022) het rapport *Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op habitatype H1130 in het Eems estuarium* opgesteld. Dit rapport heeft als doel meer inzicht te geven in de cumulatieve effecten van de bagger- en verspreidingsactiviteiten op de slibconcentratie en de morfologie. In dit rapport zijn zowel de activiteiten op Nederlands als op Duits grondgebied beschouwd en de effecten hiervan beschreven op het abiotische systeem. Het voorliggende rapport betreft een aanvulling hierop en in dit rapport zijn de abiotische effecten, zoals beschreven door Vroom et al. (2022) vertaald naar biotische effecten, met andere woorden: de effecten op de ecologische kwaliteitskenmerken van habitatype H1130 Estuaria. Deze studie heeft betrekking op het door Nederland aangewezen habitatype H1130 Estuaria. In Figuur 1-1 is een overzichtkaart van de ligging van de verschillende door Nederland aangewezen habitattypen in de Eems-Dollard opgenomen.

Dit rapport dient in samenhang met het rapport van Vroom et al. (2022) gelezen te worden.



Figuur 1-1 Habitattypenkaart Eems-Dollard (bron data: Rijkswaterstaat 2021, vegetatiekartering 2018).

In Figuur 1-2 zijn de huidige bagger- en verspreidingslocaties in het Eemsestuarium weergegeven. De vaargeulverdiepingen (en landaanwinningen) in het verleden hebben het abiotisch systeem zo ver uit evenwicht gebracht, dat continu onderhoud aan de havens en vaargeulen nodig is om de streefdiepte te kunnen blijven garanderen. De bagger- en verspreidingsvolumes die met dit onderhoud gepaard gaan zijn groot en liggen tussen 8 en 12 miljoen m³ per jaar, plus een onttrekking van 2-3 miljoen m³/jaar uit de Eemsrivier. Deze volumes zijn een factor 2 tot 3 groter dan de netto sedimentatie op de overige plekken in het estuarium, waar de netto sedimentatie in totaal zo'n 5 miljoen m³/j bedraagt. Het onderhoudsbaggerwerk heeft dus een substantieel effect op de sedimentverplaatsingen in het estuarium.



Figuur 1-2 Bagger- en verspreidingslocaties in het Eemsestuarium. Rode lijn geeft de grens van het beheergebied (PKB-gebied) aan. Een deel van de verspreidingsvakken en een deel van de vaargeul valt buiten het PKB-gebied (uit: Vroom et al 2022).

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 volgt een beschrijving van de ecologische kwaliteitskenmerken van habitattypen H1130 estuaria. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 een beschrijving gegeven van de mogelijke effecten/relevante verstoringsfactoren die op kunnen treden als gevolg van baggeren en verspreiden bij vaargeulverdiepingen en bij onderhoud van vaargeulen en havens. In hoofdstuk 4 zijn de effecten van de vaargeulverdiepingen en het onderhoudsbaggerwerk op de morfologie en slibconcentratie vertaald naar de effecten op de ecologische kwaliteitskenmerken van habitattypen H1130 estuaria. In hoofdstuk 5 wordt een overzicht gegeven van de conclusies.

2 Ecologische kwaliteitskenmerken habitatype H1130 Estuaria

Estuaria zijn de benedenstroomse delen van riviersystemen die onder invloed staan van zeewater en de werking van getijden. Door de menging van rivierwater met zeewater ontstaat in estuaria een zoet – zoutgradiënt. Ons land is van oorsprong een grote delta met meerdere geleidelijke overgangen van zoet naar zout water en gebieden die over vele eeuwen gezien afwisselend zoet, brak of zout waren. Ons land herbergde een van de voornaamste estuaria van Europa omdat hier de mondingen van Rijn, Maas en Schelde zijn gelegen. De Rijn is een van de grootste rivieren in Europa. Het Haringvliet en de IJsselmonding waren in de laatste eeuwen de twee belangrijkste estuaria. Door de afdamming van de Zuiderzee en van de meeste zeearmen in het Deltagebied is het voorkomen en daarmee de internationale betekenis van de estuaria, als overgang van zoet naar zout, in ons land sterk afgenomen. De twee resterende estuaria in Nederland zijn de Westerschelde en de Eems-Dollard.

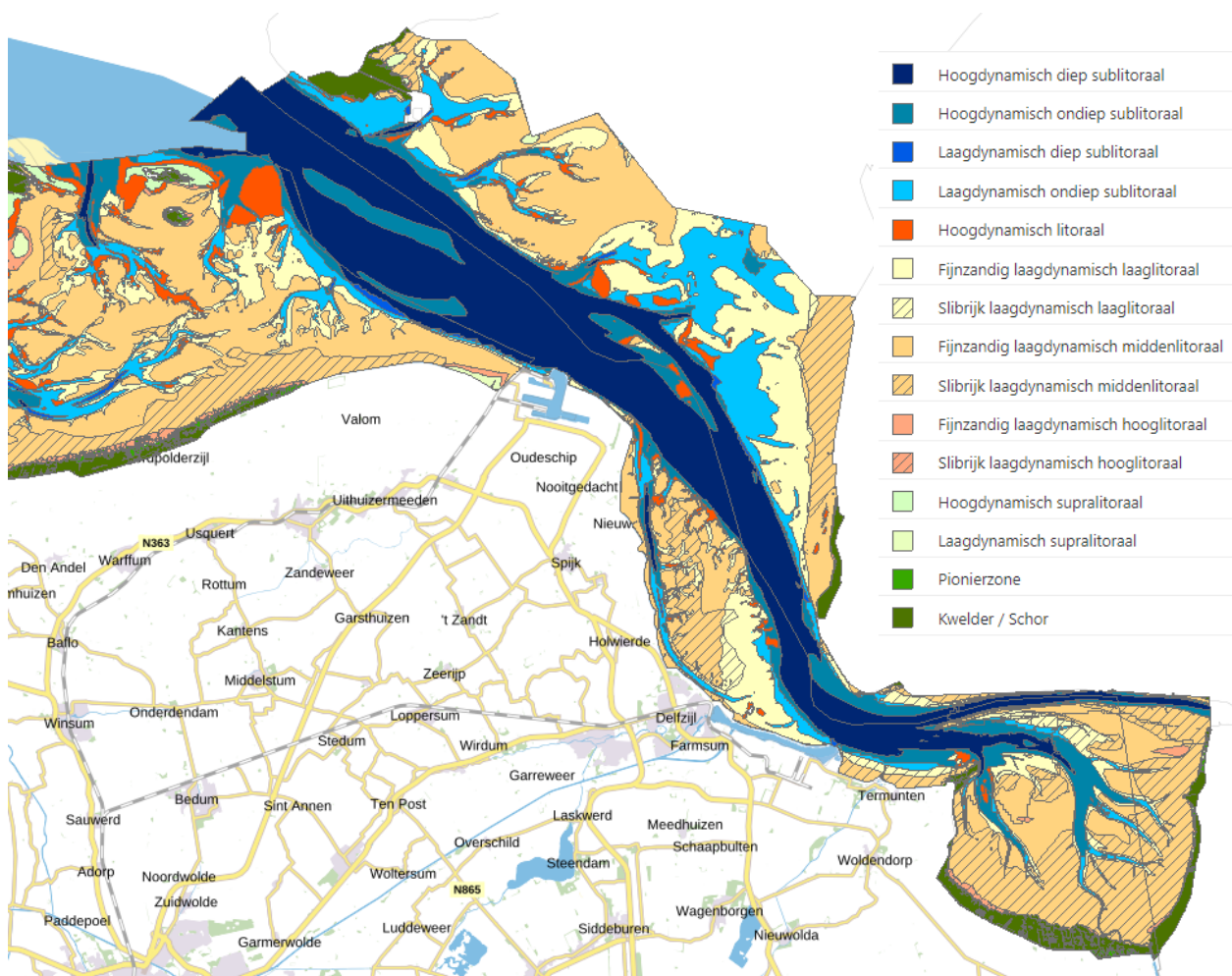
De Eems-Dollard is aangewezen als Habitatrictlijngebied, zowel aan de Nederlandse als aan de Duitse zijde. Het bestaat grotendeels uit water en intergetijdengebieden die deel uitmaken van het habitatype estuaria (H1130). Zoals is aangegeven in het profielfocument van H1130 (ministerie van LNV, 2016) heeft Nederland ervoor gekozen om binnen estuaria de permanent overstromde zandbanken (H1110) en de bij eb droogvallende slikwadden en zandplaten (H1140) niet als aparte habitattypen binnen de Eems-Dollard te benoemen, maar als onderdeel van habitatype H1130 Estuaria. Ditzelfde geldt voor de verschillende structuurvormende elementen (biogene structuren) als schelpdierbanken, schelpkokerwormbanken, zeegras- en ruppiavelden (H1170 riffen). Ook deze maken binnen de Eems-Dollard onderdeel uit van het habitatype H1130 estuaria. H1170 is ook in de Waddenzee geen aangewezen habitatype. De kwelders, aan de Nederlandse zijde, tussen de Punt van Reide (Termunten) en de rijksgrens (Nieuwe Statenzijl) behoren tot de habitattypen schorren en zilte graslanden, *buitendijks* (H1330A), zilte pionierbegroeiingen, *zeekraal* (H1310A) en schorren met slijkgrasvegetatie (*Spartinion maritimae*) (H1320). In Duitsland maken de kwelders onderdeel uit van het habitatype H1130 estuaria. Het habitatype H1130 estuaria bestaat daarmee uit een mozaïek van diverse habitats, waarbij de verschillende biogene structuren (schelpdierbanken en zeegrasvelden) als kenmerkende onderdelen van de structuur en functie van habitatype H1130 estuaria worden beschouwd.

Het (mozaïek van habitats van het) estuarium vormt een landschapsecologisch geheel met habitattypen van kwelders en met het zeegebied waar het in uitstroomt. In 2017 is een ecotopenkaart van de Waddenzee, inclusief de Eems-Dollard, gemaakt (Rijkswaterstaat 2017). In Figuur 2-1 is een uitsnede van de ecotopenkaart van de Eems-Dollard weergegeven en in Figuur 2-2 een dwarsdoorsnede daarvan. Deze ecotopenkaart geeft de verdeling van de verschillende habitats (ecotopen) binnen de Eems-Dollard weer.

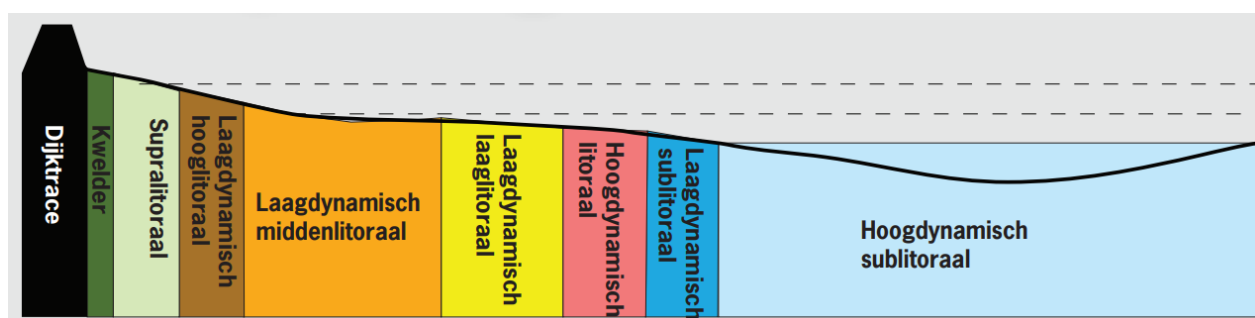
De kwaliteitskenmerken die horen bij habitatype H1130 estuaria zijn beschreven in een door het Ministerie van LNV opgesteld profielfocument (ministerie van LNV 2016)¹. In onderstaande paragrafen volgt een samenvatting hiervan:

- Abiotische kenmerken (paragraaf 2.1)
- Biotische functie en structuren (paragraaf 2.2)
- Typische soorten (paragraaf 2.3).

¹ Het profielfocument van het Ministerie van LNV (2016) heeft zowel betrekking op de Westerschelde als het Eemsestuarium. Onderstaande beschrijving van de (ecologische) kwaliteitskenmerken van habitatype H1130 estuaria is toegespitst op de specifieke situatie in het Eemsestuarium.



Figuur 2-1 Uitsnede ecotopenkaart Waddenzee 2017. Bron: RWS.



Figuur 2-2 Dwarsdoorsnede ecotopenindeling Eemsestuarium (Wageningen Environmental Research m.m.v. Wageningen Marine Research, 2017)

2.1 Abiotische kenmerken

Voor het habitatype H1130 estuaria is natuurlijke estuariene dynamiek de belangrijkste kwaliteitseis aan de omgeving. Estuariene dynamiek leidt tot geleidelijke overgangen van diep naar ondiep, van droog naar nat, van zoet naar zout, van hoogdynamisch naar laagdynamisch en van zand naar slib. Hierdoor ontstaat een grote ruimtelijke en temporele variatie in leefomstandigheden voor planten en dieren. Een open verbinding met de zee en de rivier is hiertoe essentieel voor een goed functioneren van een estuarium. Het estuarium zelf heeft voldoende ruimte nodig zodat alle essentiële processen kunnen doorgaan en alle

ruimtelijke gradiënten de ruimte ook hebben. De aanvoer van zoetwater is continu en natuurlijk. Het aangevoerde rivierwater heeft een voldoende waterkwaliteit en is matig voedselrijk tot voedselrijk. De hydrologische processen, op hun beurt weer mede sturend voor het sedimentgehalte in het water, zijn in sterke mate afhankelijk van de geomorfologie van het gebied. De diepte van de zone waarin voldoende zonlicht doordringt voor fotosynthese is gering en kan heel erg verschillen door seizoensgebonden (natuurlijke) vertroebeling van het water.

De belangrijkste abiotische kenmerken van habitattype estuaria zijn daarmee:

- Natuurlijke estuariene dynamiek
- Geleidelijke overgangen (diep/ondiep, droog/nat, zoet/zout, hoog-/laagdynamisch, zand/slib)
- Naast de estuariene dynamiek en geleidelijke overgangen zijn ook de temperatuur en golfwerking als gevolg van de wind bepalend voor de (lokale) biodiversiteit van H1130
- Open verbinding tussen zee en rivier
- Natuurlijke balans tussen het getijvolume en de afvoer van de rivier en de dimensies van het estuarium
- Goede waterkwaliteit aangevoerde water
- Seizoensgebonden vertroebeling van het water

2.2 Biotische functie en structuren

De landschappelijke samenhang tussen en de afwisseling van de ecotopen vormen een wezenlijk aspect van de structuur en functie van het habitattype. De kwaliteit van het habitattype wordt bepaald door deze habitatdiversiteit en de daarmee gepaard gaande biodiversiteit. Veel soorten brengen een deel van hun levenscyclus door in verschillende deelgebieden binnen het habitattype of juist ook daarbuiten in het zoete en/of het zoute aangrenzende gebied, waardoor het estuarium ook een verbindingfunctie heeft tussen rivier en zee.

Biotische structuren zoals zeegrasvelden en schelpdierbanken zijn bepalend voor de functie van het gebied omdat ze hotspots zijn van biodiversiteit en sediment vastleggen. Ook is de kinderkamer- en opgroefunctie voor vissen een belangrijk kenmerk van een goed functionerend estuarium.

Naast het vóórkomen van biotische structuren en de kinderkamer- en opgroefunctie voor vissen zijn een hoge productiviteit, een hoge biodiversiteit (door het grote aantal verschillende ecotopen), migratieroute voor diadrome vissen en voedsel functie voor vogels de belangrijkste kenmerken van een goed functionerend estuarium.

De belangrijkste biotische kenmerken van een goede structuur en functie zijn daarmee:

- Landschappelijke samenhang en afwisseling van ecotopen
- Aanwezigheid van biotische structurerende elementen
- Kinderkamer-/ opgroefunctie voor vis
- Hoge productiviteit
- Hoge biodiversiteit
- Migratieroute diadrome vissen
- Voedsel functie

2.3 Typische soorten

Een mozaïek van geulen en droogvallende platen verbonden met de Eemsrivier en omzoomd door kwelders en gebieden met zoet-zout gradiënten is kenmerkend voor het habitatype H1130 in de Eems-Dollard. De typische soorten van dit habitatype zijn aan een of meer van deze ecotopen aangepast, zie Tabel 2-1. De soorten behoren tot verschillende ecologische groepen: bodemvissen (10 soorten), pelagische vissen (3 soorten), bodemdieren (10 soorten) en vaatplanten (2 soorten).

De bodemdieren bestaan grofweg uit drie trofische groepen: filter-feeders (strandgaper, kokkel, mossel), grazers (wadslakje, opgezwollen brakwaterhorentje) en opportunisten (nonnetje, switcht tussen fytoplankton en afval (detritus)).

De bodemgebonden vissen (bot, botervis, harnasmannetje, puitaal, schar, schol, slakdolf, tong, wijting, zeedonderpad) eten vooral bodemdieren. De pelagische vissoorten (ansjovis, haring, spiering) eten vooral zoöplankton.

Er zijn vier plantengemeenschappen die bij habitatype H1130 estuaria horen, zie Tabel 2-2. De aanwezigheid ervan wordt beschouwd als een indicatie van goede kwaliteit als ze in aanzienlijke delen van het estuarium voorkomen. Als typische soorten van habitatype H1130 estuaria zijn binnen deze plantengemeenschappen alleen groot en klein zeegras benoemd. Deze soorten zijn vooral afhankelijk van zonlicht en goed doorzicht in de waterkolom.

Tabel 2-1 Typische soorten voor habitatype H1130 estuaria met Nederlandse en wetenschappelijke naam, soortgroep, categorie kenmerkend voor goede abiotische en/of biotische toestand en ecologische groep (bodemvis, pelagische vis, bodemdier en vaatplant) (Ministerie van LNV, 2016). Ca = constante soort met indicatie voor goede abiotische toestand; Cab = constante soort met indicatie voor goede abiotische toestand en goede biotische structuur.

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Soortgroep	Categorie	Ecologische groep
Ansjovis	<i>Engraulis encrasicolus</i>	Vissen	Cab	pelagische vis
Bot	<i>Platichthys flesus</i>	Vissen	Cab	bodemvis
Botervis	<i>Pholis gunnellus</i>	Vissen	Cab	bodemvis
Haring	<i>Clupea harengus</i>	Vissen	Cab	pelagische vis
Harnasmannetje	<i>Agonus cataphractus</i>	Vissen	Cab	bodemvis
Puitaal	<i>Zoarces viviparus</i>	Vissen	Cab	bodemvis
Schar	<i>Limanda limanda</i>	Vissen	Cab	bodemvis
Slakdolf	<i>Liparis liparis</i>	Vissen	Cab	bodemvis
Spiering	<i>Osmerus eperlanus</i>	Vissen	Cab	pelagische vis
Schol	<i>Pleuronectes platessa</i>	Vissen	Ca	bodemvis
Tong	<i>Solea solea</i>	Vissen	Ca	bodemvis
Wijting	<i>Merlangius merlangus</i>	Vissen	Ca	bodemvis
Zeedonderpad	<i>Myoxocephalus scorpius</i>	Vissen	Ca	bodemvis
Nonnetje	<i>Macoma balthica</i>	Weekdieren	Cab	bodemdier
Strandgaper	<i>Mya arenaria</i>	Weekdieren	Cab	bodemdier
Wadslakje	<i>Peringia ulvae</i>	Weekdieren	Cab	bodemdier
Opgezwollen brakwaterhorentje	<i>Ecrobia ventrosa</i>	Weekdieren	Cab	bodemdier

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Soortgroep	Categorie	Ecologische groep
Mossel	<i>Mytilus edulis</i>	Weekdieren	Cab	bodemdier
Kokkel	<i>Cerastoderma edule</i>	Weekdieren	Cab	bodemdier
Slijkgarnaal	<i>Corophium volutator</i>	Kreeftachtigen	Cab	bodemdier
Zeeduizendpoot	<i>Hediste diversicolor</i>	Borstelwormen	Ca	bodemdier
Rode draadworm	<i>Heteromastus filiformis</i>	Borstelwormen	Ca	bodemdier
Zandkokerworm	<i>Pygospio elegans</i>	Borstelwormen	Cab	bodemdier
Groot zeegras	<i>Zostera marina</i>	Vaatplanten	Cab	vaatplant
Klein zeegras	<i>Zostera noltii</i>	Vaatplanten	Cab	vaatplant

Tabel 2-2 Kenmerken plantengemeenschappen habitatype H1130 Estuaria (ministerie van LNV 2016).

Code vegetatietype	Nederlandse naam vegetatietype	Wetenschappelijke naam vegetatietype
2Aa1	Associatie van Snavelruppia	<i>Ruppium maritima</i>
2Aa2	Associatie van Spiraalruppia	<i>Ruppium cirrhosae</i>
3Aa1	Associatie van Klein zeegras	<i>Zosteretum noltii</i>
3Aa2	Associatie van Groot zeegras	<i>Zosteretum marinae</i>
	vegetatieloos	

2.4 Overzicht kwaliteitskenmerken

Een overzicht van de kwaliteitskenmerken is opgenomen in Tabel 2-3. In deze tabel zijn de in de vorige paragrafen beschreven abiotische kwaliteitskenmerken, biotische functies en structuren en typische soorten tot een aantal kwaliteitskenmerken (eerste kolom) geclusterd. In hoofdstuk 4 zijn de mogelijke effecten beschreven aan de hand van deze kwaliteitskenmerken in de eerste kolom.

Tabel 2-3 Overzicht van alle kwaliteitskenmerken van habitatype H1130 Estuaria

Kwaliteitskenmerk	Biotische functie en/of structuur	Typische soorten (uit: profieldocument LNV 2016)
Abiotische kenmerken		
Landschappelijke samenhang en afwisseling van ecotopen	Biodiversiteit Productiviteit / voedsel functie	n.v.t
Primaire productie	Productiviteit / voedsel functie	n.v.t.
Diversiteit bodemdieren	Biodiversiteit Productiviteit / voedsel functie	Nonnetje, strandgaper, wadslakje, opgezwollen brakwaterhorentje, mossel, kokkel, slijkgarnaal, zeeduizendpoot, rode draadworm, zandkokerworm
Schelpdierbanken	Biotische structurerende elementen Biodiversiteit Productiviteit / voedsel functie	Mossel Kokkel
Zeegras(velden)	Biotische structurerende elementen Biodiversiteit Productiviteit / voedsel functie	Groot zeegras Klein Zeegras

Vissen	Kinderkamer-/opgroefunctie estuariale residente soorten Migratieroute diadrome soorten (fint, zeeprik, rivierprik) (connectiviteit)	Bodemgebonden vissen: bot, botervis, harnasmannetje, puitaal, schar, schol, slakdolf, tong, wijting, zeedonderpad Pelagische vissoorten: ansjovis, haring, spiering
--------	--	--

3 Mogelijke effecten / relevante verstoringsfactoren

Voor de indeling en het beschrijven van mogelijke effecten van baggeren en verspreiden wordt in dit rapport de indeling in verstoringsfactoren gehanteerd, zoals die in de effectenindicator van het ministerie van LNV wordt aangereikt (<https://www.synbiosys.alterra.nl/bij12/effectenindicator.aspx>). Deze effectenindicator geeft negentien mogelijke storingsfactoren waarmee in ieder geval rekening moet worden gehouden ten aanzien van in Natura 2000-gebieden beschermde waarden.

In Tabel 3-1 is een overzicht opgenomen van de verstoringsfactoren die **niet relevant** zijn en/of die **niet meegenomen** worden in deze studie. Deze studie richt zich specifiek op de morfologische en hydromorfologische effecten van baggeren en verspreiden op habitatype H1130 en de vertaling daarvan naar ecologische effecten. Overige verstoringsfactoren (bijvoorbeeld verstoring door onderwatergeluid en optische verstoring) worden om die reden niet in deze studie meegenomen. Voor een beschrijving van deze effecten wordt verwezen naar de NEA (RHDHV, 2022).

Tabel 3-1 Samenvatting van verstoringsfactoren die **niet** relevant zijn en/of die **niet** meegenomen worden in deze studie.

Verstoringsfactoren	Reden
Verzuring door stikstof uit de lucht	Habitatype H1130 niet gevoelig voor stikstofdepositie
Vermesting door stikstof uit de lucht	Habitatype H1130 niet gevoelig voor stikstofdepositie
Verzoeting	Het kenmerk van habitatype H1130 is juist de estuariene dynamiek en aanwezigheid van diverse gradiënten. Deze verstoringsfactoren zijn daarom niet van toepassing op een estuarium
Verzilting	
Verandering stroomsnelheid	
Verdroging	
Versnippering	Baggeren en verspreidingsactiviteiten leiden niet tot versnippering
Optische verstoring	Habitatypen zijn niet gevoelig voor deze verstoringsfactoren. Kenmerkende soorten van een habitatype kunnen dat wel zijn. Deze studie richt zich echter specifiek op de morfologische en hydromorfologische effecten van baggeren en verspreiden op habitatype H1130. De effecten van deze verstoringsfactoren op soorten vallen daarom buiten de scope van deze opdracht
Verstoring door geluid	
Verstoring door licht	
Verstoring door trilling	
Bewuste verandering soortensamenstelling	Van deze verstoringsfactor is sprake indien bewust wordt ingegrepen in de natuur, bijvoorbeeld door herintroductie van soorten (zeegras, mosselen), introductie van exoten en het uitzetten van vis. Deze storingsfactor is niet van toepassing voor de activiteiten baggeren en verspreiden.

Hieronder wordt per verstoringsfactor **kort** onderbouwd of deze voor deze studie relevant is, omdat deze optreedt bij de activiteiten baggeren en verspreiden. Ook wordt aangegeven op welke kwaliteitskenmerken (Tabel 2-3) de verstoringsfactor van invloed is.

In hoofdstuk 4 wordt specifiek voor de situatie in het Eems-estuarium de gevoeligheid van de verschillende kwaliteitskenmerken voor deze verstoringsfactoren beschreven en worden de effecten beoordeeld.

3.1 Oppervlakteverlies

Van oppervlakteverlies is sprake bij een afname van het areaal van een habitattype en/of bij een afname van het areaal van het leefgebied van (voor een habitattype kenmerkende) soorten.

Baggeren en verspreiden leiden niet tot een afname van het totaalareaal van het habitattype H1130 Estuaria, maar wel tot een kwaliteitsverlies van areaal. Baggeren en verspreiden kunnen leiden tot een verandering van de (natuurlijke) verhoudingen tussen de verschillende ecotopen (zie Figuur 2-1) binnen het habitattype. Het verdiepen en verbreden van vaargeulen (en het in stand houden daarvan door onderhoudsbaggeren) leidt bovendien tot minder geleidelijke/natuurlijke overgangen/gradiënten tussen diepe delen en ondiepe delen van het estuarium. De kwaliteit van het habitattype wordt bepaald door deze (afname in) habitatdiversiteit en de daarmee gepaard gaande biodiversiteit. Bij een hoge frequentie van baggeren en verspreiden neemt bovendien binnen het habitattype het areaal af dat zich op een natuurlijke manier kan herstellen/ontwikkelen (afname onverstoorde gebied) en dit leidt dus tot een afname van het areaal kwalitatief goed ontwikkeld habitattype.

Deze verstoringsfactor is relevant voor de kwaliteitskenmerken Landschappelijke samenhang en afwisseling ecotopen, Primaire productie en Diversiteit bodemdieren.

3.2 Verontreiniging

Er is sprake van verontreiniging als er verhoogde concentraties van stoffen in een gebied voorkomen, welke stoffen onder natuurlijke omstandigheden niet of in zeer lage concentraties aanwezig zijn. Baggeren en verspreiden leidt in principe niet tot een toename van verontreiniging en/of eutrofiëring van habitattype H1130. Wel kan door het verdiepen en verbreden van vaargeulen en onderhoudsbaggeren aan slib gebonden verontreiniging, dat in het verleden in de bodem was vastgelegd, opnieuw vrijkomen en door verspreiden elders binnen het estuarium terecht komen.

Deze verstoringsfactor is relevant voor de kwaliteitskenmerken Diversiteit bodemdieren, Schelpdierbanken en Zeegras(velden).

3.3 Verandering overstromingsfrequentie

Baggeren en verspreiden vindt in het Eems-estuarium plaats in de sublitorale delen van het systeem. Van directe effecten op droogvallende platen en de overstromingsfrequentie daarvan is geen sprake. In het estuarium kan door het neerslaan van slib op platen in de nabijheid van verspreidingslocaties, de hoogte van platen en daarmee de overstromingsfrequentie wijzigen. In de Eemsrivier heeft het verdiepen en op diepte houden van de vaargeul via de amplificatie van het getij een effect op de overstromingsfrequentie.

Deze verstoringsfactor is mogelijk met name relevant voor de kwaliteitskenmerken Diversiteit bodemdieren, Primaire productie (via vertroebeling) Schelpdierbanken en Zeegras(velden).

3.4 Verandering dynamiek substraat

Van verandering van de dynamiek van het substraat is sprake indien de bodemdichtheid of bodemsamenstelling van aquatische systemen verandert. Zowel door baggeren als verspreiden kan de (lokale) bodemdichtheid en bodemsamenstelling worden veranderd.

Deze verstoringsfactor is relevant voor de kwaliteitskenmerken Diversiteit bodemdieren, Primaire productie, Schelpdierbanken en Zeegras(velden).

3.5 Verstoring door mechanische effecten

Onder mechanische effecten vallen onder andere verstoring door bodemberoering en vertroebeling die optreden ten gevolge van menselijke activiteiten. Baggeren en verspreiden zijn activiteiten die leiden tot vertroebeling van het water, bodemberoering en bodembedekking.

Deze verstoringsfactor is relevant voor de kwaliteitskenmerken Abiotische kwaliteitskenmerken, Primaire productie, Diversiteit bodemdieren, Schelpdierbanken, Zeegras(velden) en Vissen.

3.6 Verandering in populatiedynamiek

De storende factor verandering in populatiedynamiek treedt op indien er een direct effect is van een activiteit op de populatie-opbouw en/of populatiegrootte (door met name sterfte). Door baggeren en verspreiden van sediment wordt ter plaatse van de bagger- en verspreidingslocaties de populatiedynamiek in de Eems-Dollard beïnvloed door sterfte van bodemdieren (direct effect). Ook kan door regelmatige bodemberoering en/of bodembedekking de soortensamenstelling van de bodemfauna tijdelijk of permanent veranderen (indirect effect). Daarnaast kunnen veranderingen van de (natuurlijke) verhoudingen tussen de verschillende ecotopen, minder geleidelijke/natuurlijke overgangen en veranderingen in abiotische omstandigheden (o.a. zoutindringing, overstromingsfrequentie, stroomsnelheid) leiden tot veranderingen in populatiedynamiek van bodemdieren (indirect effect).

Deze verstoringsfactor is relevant voor het kwaliteitskenmerk Diversiteit bodemdieren.

3.7 Samenvatting relevante verstoringsfactoren

In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen van de relevante verstoringsfactoren en op welke kwaliteitskenmerken een effect kan optreden.

Tabel 3-2 Samenvatting relevante verstoringsfactoren en kwaliteitskenmerken (zie Tabel 2-3) waarop deze verstoringsfactoren mogelijk een effect hebben.

Verstoringsfactoren	Effect	Kwaliteitskenmerken
Oppervlakteverlies	Verandering van de (natuurlijke) verhoudingen tussen verschillende ecotopen binnen habitatype, afname geleidelijke/natuurlijke overgangen/gradienten, afname onverstoorde gebied	Landschappelijke samenhang en afwisseling ecotopen, Diversiteit bodemdieren, Primaire productie
Verontreiniging	(Her)verspreiding verontreinigde bagger	Diversiteit bodemdieren, Schelpdierbanken, Zeegras(velden), Vissen
Verandering overstromingsfrequentie	Verhoging platen door neerslaan slib	Diversiteit bodemdieren, Schelpdierbanken, Zeegras(velden), Primaire productie
Verandering dynamiek substraat	Verandering bodemdichtheid, Verandering bodemsamenstelling (slibgehalte bodem)	Diversiteit bodemdieren, Schelpdierbanken, Zeegras(velden), Primaire productie
Verstoring door mechanische effecten	Vertroebeling, Bodemberoering, Bodembedekking	Abiotische kwaliteitskenmerken, Primaire productie, Diversiteit bodemdieren, Schelpdierbanken, Zeegras(velden), Vissen
Verandering in populatiedynamiek	Sterfte (direct effect), Verandering in soortensamenstelling	Diversiteit bodemdieren

4 Effectbeoordeling

4.1 Abiotische kwaliteitskenmerken

De belangrijkste abiotische kenmerken van habitattype estuaria zijn:

- Natuurlijke estuariene dynamiek
- Geleidelijke overgangen (diep/ondiep, droog/nat, zoet/zout, hoog-/laagdynamisch, zand/slib)
- Naast de estuariene dynamiek en geleidelijke overgangen zijn ook de temperatuur en golfwerking als gevolg van de wind bepalend voor de (lokale) biodiversiteit van H1130
- Open verbinding tussen zee en rivier
- Natuurlijke balans tussen het getijvolume en de afvoer van de rivier en de dimensies van het estuarium
- Goede waterkwaliteit aangevoerde water
- Seizoensgebonden vertroebeling van het water

Hieronder volgt eerst een korte beschrijving van de processen die optreden bij baggeren en verspreiden met een indicatie van de areaalgrootte van beïnvloeding, vervolgens worden de belangrijkste veranderingen/effecten als gevolg van baggeren en verspreiden op de hierboven genoemde abiotische kwaliteitskenmerken beschreven. Voor een uitgebreide beschrijving van de abiotische effecten van baggeren en verspreiden wordt verwezen naar Deel I van dit rapport (Vroom et al., 2022).

Processen die optreden bij baggeren en verspreiden

Baggeren

Baggerschepen verstoren voornamelijk de bodem op de plek waar gebaggerd wordt. Daarnaast kan een eventuele baggerpluim (afhankelijk van de baggermethode) het directe gebied van de baggeractiviteiten en eventueel een kleine zone eromheen verstoren (verstoring door mechanische effecten). Dit gaat dan voornamelijk om een zeer tijdelijke lichte verhoging van de sedimentconcentratie in het water. De eventuele sedimentatie die, ten gevolge van een baggerpluim, optreedt, zal voornamelijk in het gebaggerde gebied plaatsvinden en daarmee geen groter gebied beïnvloeden.

Het gebruik van een airset is een uitzondering hierop. Hier maakt de haven van Delfzijl gebruik van. Feitelijk wordt het sediment alweer verspreid voordat het goed en wel heeft kunnen sedimenteren. Deze methode, die in Delfzijl bijna continu wordt toegepast, zorgt voor een vrijwel continue bodemberoering maar ook continue verspreiding van sediment vanuit de haven naar het estuarium. De verspreidingsrichting is afhankelijk van het getij. Doordat de haven geen onderdeel uitmaakt van het Natura 2000-gebied, wordt slib feitelijk van buiten het Natura 2000-gebied weer in het Natura 2000-gebied gebracht.

Verspreiden

Het verspreiden van sediment op verspreidingslocaties kan verschillende effecten hebben ter plaatse van de verspreidingslocatie zelf (near-field effecten) en de nabije en verdere omgeving (far-field effecten). Hierbij dient onderscheid te worden gemaakt tussen zand en slib. Far-field effecten treden alleen op bij slib. Het doel van verspreiden op een verspreidingslocatie is dat het slibgedeelte van het sediment zich op een natuurlijke manier met de waterbeweging verspreidt over een groter gebied en daarmee een zo klein mogelijk effect heeft op de sedimentconcentraties in het estuarium. Verspreiden gebeurt daarom voornamelijk in diepere delen van het estuarium waar de getij-stroming het materiaal gemakkelijk kan oppakken en transporteren, feitelijk de hoogdynamische gebieden. Het uiteindelijke effect van elke verspreidingsactie is zeer sterk afhankelijk van de omstandigheden op dat moment (waterdiepte, fase van het getij, grootte van de getijstrooming, aanwezigheid van golven etc.). Het is daarom niet mogelijk aan te

geven hoe groot het gebied is dat wordt beïnvloed door het verspreiden van slib behalve dat het verspreiden erop gericht is om het slib in eerste instantie in de waterkolom te houden en te laten transporteren naar andere gebieden in het estuarium en daarbuiten. In de laagdynamische gebieden kan het slib vervolgens weer bezinken. Dit betekent dat het verspreiden van slib zorgt voor een toename van sedimentconcentraties in het estuarium (als ervan uit wordt gegaan dat het slib anders vast op de bodem zou liggen). De mate van toename hangt zeer sterk af van de frequentie van verspreiden en de omstandigheden (meteorologie en locatie). Gezien de extreme ‘verdunding’ die optreedt zal deze toename, op individuele basis, niet duidelijk waarneembaar zijn op enige afstand van de verspreidingslocatie. Het cumulatieve effect van het vele verspreiden kan wel waarneembaar zijn (een algehele continue verhoging van de slibconcentratie in het systeem, t.o.v. een situatie waarbij er niet verspreid zou worden).

De situatie rond een baggerschip, dat slib klapt op een specifieke hiervoor aangewezen locatie, dient hierbij apart bekeken te worden. Naast dat een groot deel van het materiaal (voornamelijk het slibdeel) op stroom wordt gezet zal een kleiner deel van het slib en vrijwel al het aanwezige zand zich als een dichtheidsstroom richting de bodem bewegen. Het gaat hier om de zogenaamde near-field effecten. Het materiaal komt in de nabije omgeving van het baggerschip terecht. Dit gaat om een gebied van enkele tientallen meters tot zo’n honderd meter rond de verspreidingslocatie.

Belangrijkste veranderingen/effecten abiotische kwaliteitskenmerken

Hieronder worden de belangrijkste veranderingen/effecten als gevolg van baggeren en verspreiden op de hierboven genoemde abiotische kwaliteitskenmerken beschreven.

Natuurlijke estuariene dynamiek / Natuurlijke balans tussen het getijvolume en de afvoer van de rivier en de dimensies van het estuarium

In deel I van dit rapport (Vroom et al., 2022) worden de belangrijkste veranderingen in waterbeweging besproken. Met betrekking tot de abiotische kwaliteitskenmerken Natuurlijke estuariene dynamiek en Natuurlijke balans tussen het getijvolume en de afvoer van de rivier en de dimensies van het estuarium zijn de volgende veranderingen in waterbeweging relevant:

- De baggerwerkzaamheden en waterbouwkundige werken uitgevoerd rond 1900-1920 hebben geleid tot een versnelde dominantie van het Oostfriesche Gaatje als hoofdgeul (en het opvullen van de Bocht van Watum).
- Uit de gemeten amplificatie van het getij blijkt dat de grootste veranderingen in de getijslag hebben plaatsgevonden in de Eemsrivier. In de Eemsrivier is de getijslag sterk toegenomen over de periode waarvoor we waterstandsgegevens hebben (sinds ~1960). Door het toenemen van de getijslag en de natte doorsnede in de Eemsrivier, zijn de stroomsnelheden ook veranderd. In het estuarium (Waddendeel en middendeel) zien we in de jaren 1960 - 1980 een toename van de getijslag. Deze toename is ook terug te zien in andere stations langs de Noordzeekust en is dus niet of niet volledig gerelateerd aan ingrepen. Dit is te zien aan de toename van de amplificatie van het getij, die zeer marginaal is in het estuarium;
- Uit modelstudies met de bodemligging van 1985 en 2005 in het estuarium (met in beide ‘berekningen in de Eemsrivier de bodemligging van 2005) blijkt dat de morfologische veranderingen in het estuarium in deze periode geen of nauwelijks effect hebben gehad op de getijslag in het estuarium (Van Maren et al., 2015b). Ook de gemeten getijslag toont in het estuarium weinig veranderingen. De morfologische veranderingen betreffen sedimentatie in de Oude Westereems, het Doekegat, de Bocht van Watum en op het Emshornwad en erosie in het Oostfriesche Gaatje. De sedimentatie in de Oostereems en Bocht van Watum is versneld door het verspreiden van baggerspecie in die geulen. De erosie in het Oostfriesche Gaatje is gedurende deze periode veroorzaakt door vaargeulverdiepingen, zandwinning en/of morfologische veranderingen (Vroom et al., 2012).

- Veranderingen in de morfologie zoals beschreven onder het vorige punt hebben wel geleid tot verandering in de saliniteitsgradiënt langs het estuarium en de residuele stroming, zo blijkt uit modelsimulaties (Van Maren et al., 2015a, b). Hierbij is de zoutindringing in het estuarium toegenomen en is er een meer constante landwaartse residuele stroming tussen de Eemshaven en de Dollard ontstaan met een hogere netto import van sediment uit de Noordzee en Waddenzee tot gevolg.

Geleidelijke overgangen

Het verdiepen en verbreden van vaargeulen (en het in stand houden daarvan door onderhoudsbaggeren) heeft geleid (leidt) tot minder geleidelijke/natuurlijke overgangen tussen diepe delen en ondiepe delen van het estuarium. Daarnaast is door eeuwenlange aanpassingen (deels antropogeen en deels autonoom) het meergeulensysteem veranderd in een systeem met een enkele hoofdgeul. Ook dit heeft geleid tot minder geleidelijke overgangen.

Open verbinding tussen zee en rivier

Bagger- en verspreidingsactiviteiten in het Eemsestuarium hebben geen effect op dit abiotische kwaliteitskenmerk. De open verbinding met de Eemsrivier blijft in stand. Echter is door de extreem hoge slibconcentratie in de Eemsrivier de zuurstofconcentratie in de Eemsrivier regelmatig laag tot zeer laag. Dit vormt een grote barrière voor trekvisser (diadrome vissoorten).

Goede waterkwaliteit aangevoerde water / Seizoensgebonden vertroebeling van het water

Voor een uitgebreide beschrijving van de effecten van verdiepen van vaargeulen en het baggeren en verspreiden daarna voor onderhoud van de vaargeul op SSC wordt verwezen naar deel I van dit rapport (Vroom et al., 2022).

Het verdiepen van (vaar)geulen en het (continu) baggeren en verspreiden t.b.v. onderhoud beïnvloedt de slibconcentratie in het systeem als volgt:

- Toename van de slibimport vanuit Waddenzee en Noordzee.
- Baggeren en verspreiden om de havens en vaargeulen op diepte te houden leidt tot beïnvloeding van de slibeigenschappen. Het slib wat in havens en vaargeulen wordt afgezet en vervolgens wordt gebaggerd bouwt geen sterkte op. Hierdoor kan het vanaf de verspreidingslocaties weer gemakkelijk resuspenderen en voor vertroebeling zorgen. Hiermee wordt ingegrepen op de natuurlijke processen. Dit zorgt waarschijnlijk voor een verhoging in de vertroebeling, maar hier is niet veel over bekend.
- Bij het opzuigen van sediment uit havens en vaargeulen zorgen de bodemverstoring en overflow voor een verhoging van de vertroebeling
- Bij het verspreiden van het gebaggerde materiaal ontstaat een baggerpluim die zorgt voor vertroebeling

Het jaargemiddeld netto effect van specifiek het baggeren en verspreiden ten behoeve van onderhoud is een verhoging van de SSC. Binnen het estuarium zorgt het continue baggeren en verspreiden daarnaast voor een herverdeling van sediment waarbij de SSC toeneemt in de buurt van verspreidingslocaties, maar mogelijk afneemt op andere locaties dichtbij de bezinkingslocaties, zoals havens en vaargeulen.

Een berekening is uitgevoerd om een globale indruk te krijgen van het oppervlak van het Eems-estuarium dat direct wordt beïnvloed door bagger- en verspreidingsactiviteiten. Met direct effect bedoelen we hier het gebied dat wordt beïnvloed door de near-field pluim/dichtheidsstroming. In de berekening zijn de volgende bagger- en verspreidingslocaties meegenomen:

- Baggeren: baggervakken C3, C4, C5, D1, D2, E1, E2, F, Haven Delfzijl, Eemshaven.
- Verspreiden: P2/K4, P5A, P1, Oude Westereems/P5, P6, K5, K6, K7, Air set Delfzijl, Groote Gat.

Voor de verspreidingslocaties is een extra bufferzone van 500 m meegenomen in de berekening. Voor Air set Delfzijl is uitgegaan van een beïnvloedingsgebied van een cirkel met een straal van 500 m. Voor verdere aannames bij deze berekening zie Appendix A1. Belangrijk hierbij is dat het om de near-field effecten gaat en niet om de effecten die optreden t.g.v. de sedimentpluim die over grotere afstanden verspreid.

Figuur 4-1 en Tabel 4-1 tonen het (globale) oppervlak van de Eems-Dollard dat direct beïnvloed wordt door bagger- en verspreidingsactiviteiten, dus zonder de grootschalige effecten van de verdiepingen van de vaargeulen. In totaal wordt ongeveer 6% van de Eems-Dollard beïnvloed. Hierbij moet worden opgemerkt dat we conservatief hebben gerekend met een zeer grote bufferzone van 500 m rondom de verspreidingslocaties. De bufferzone geeft aan voor welk gebied er een effect wordt verwacht van de near field pluim (effect op SSC en effect op bodemsamenstelling).

Tabel 4-1 Globale inschatting oppervlak van de Eems-Dollard (direct) beïnvloed door bagger- en stortactiviteiten.

	Oppervlakte *10 ³ ha	Percentage van interessegebied
Interessegebied	160,5	-
Baggeren	2,4	1,5
Verspreiden	7,7	4,8
TOTAAL van Baggeren + Verspreiden	10,1	6,3



Figuur 4-1 Gebied Eems-Dollard beïnvloed door baggeren en storten (voor toelichting berekening zie Appendix A1).

Conclusie

Baggeren en verspreiden heeft een effect op de volgende abiotische kwaliteitskenmerken: Natuurlijke estuariene dynamiek, Geleidelijke overgangen, Open verbinding zee en rivier en Waterkwaliteit. Enerzijds vanuit de vaargeulverdiepingen, welke hebben geleid tot een algehele toename van sedimentconcentraties in het estuarium. Anderzijds via de reguliere bagger- en verspreidingsactiviteiten welke met name zorgen voor een herverdeling van sediment binnen het systeem (met een gevarieerd beeld van verhogingen en verlagingen in SSC op verschillende locaties). De reguliere bagger- en verspreidingsactiviteiten zorgen daarnaast ook voor het continu weer in suspensie brengen van gesedimenteerd slib (dat ten gevolge van de vaargeulverdiepingen het estuarium is binnengekomen). Dit leidt waarschijnlijk tot een verhoging van de vertroebeling. Hier is echter geen kwantitatieve informatie over.

4.2 Landschappelijke samenhang en afwisseling van ecotopen

Door menselijke ingrepen in het verleden (verkleining van de Dollard en buitendijkse gebied door inpolderingen, aanleg van havens) is de Eems-Dollard kleiner geworden en daarmee ook habitatype H1130. Als gevolg van het kleiner worden van de Dollard zijn de geulen gaan sedimenteren en is er een 1-geul-systeem ontstaan. Het totale geulvolume is daarmee kleiner geworden. De verdiepingen in de Eems-Dollard hebben vervolgens weer geleid tot geulen die in verhouding tot de omvang van het bekken te ruim (en 'te gekanaliseerd') zijn. Ook heeft het verdiepen van vaargeulen geleid tot minder geleidelijke/natuurlijke overgangen tussen diepe delen en ondiepe delen van het estuarium. Daardoor zijn de natuurlijke verhoudingen van de verschillende ecotopen in het estuarium als geheel veranderd. Deze onnatuurlijke verhoudingen worden door onderhoudsbaggerwerk in stand gehouden.

Het areaal habitatype H1130 met een goede kwaliteit is door de verdiepingen en vervolgens het continu baggeren en verspreiden afgenomen (oppervlakteverlies) en er blijft minder ruimte over voor het realiseren van verbeterdoelen. De totale maximale grootte van het areaal dat door baggeren en verspreiden direct wordt beïnvloed en dus een verminderde kwaliteit heeft ligt op maximaal 6% (zie Figuur 4-1 en Tabel 4-1). Daarnaast treedt door het verdiepen en de daardoor verhoogde sedimentconcentraties in het water en in de bodem (indirect) kwaliteitsverlies van het habitatype op.

Conclusie

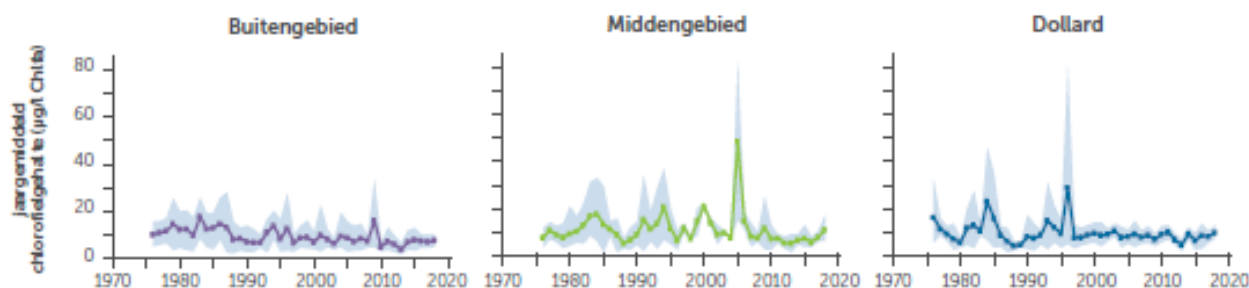
Door verdiepingen in het verleden is de landschappelijke samenhang significant veranderd. Dit wordt in stand gehouden door (onderhouds)baggeren en het verspreiden van bagger binnen het Eemsestuarium.

4.3 Primaire productie

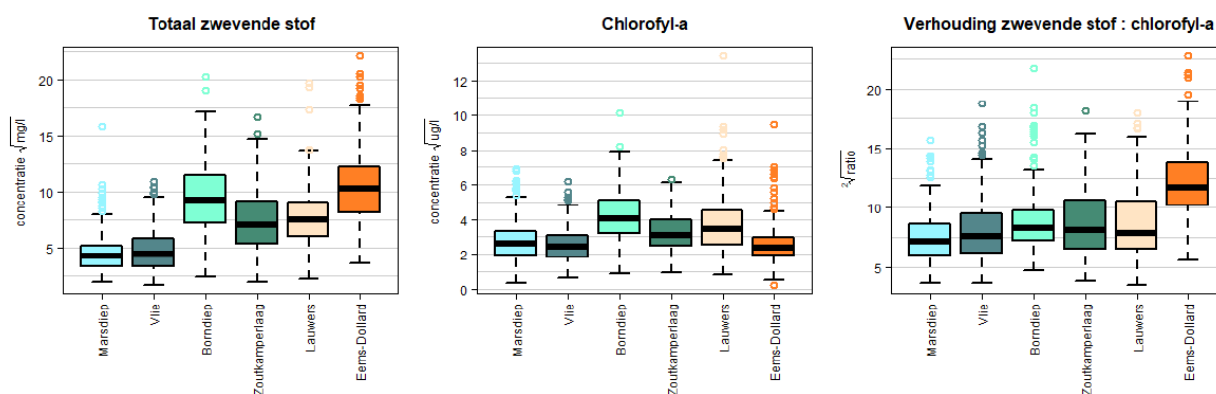
Huidige situatie

Estuaria zijn van nature productieve gebieden. Deze productie vormt de basis van het totale voedselweb dat bestaat uit talloze soorten, variërend van bacteriën tot vogels en zeezoogdieren. In de Eems-Dollard wordt de primaire productie verzorgd door de micro-algen (fytoplankton) in het water en de micro-algen (micro-fytobenthos) op de sedimenten van de droogvallende platen (Taal et al., 2015).

In Figuur 4-2 zijn de jaargemiddelde chlorofylgehaltenes voor de Eems-Dollard weergegeven. De chlorofylgehaltenes die gemeten zijn via de MWTL-meetstations in de Eems-Dollard zijn vergelijkbaar met Marsdiep en Vlie en zijn lager dan in Borddiep en Zoutkamperlaag, zie Figuur 4-3.



Figuur 4-2 Jaargemiddelde chlorofylgehaltenes ($\mu\text{g/l Chla}$) in de Eems-Dollard (Iedema et al., 2020).

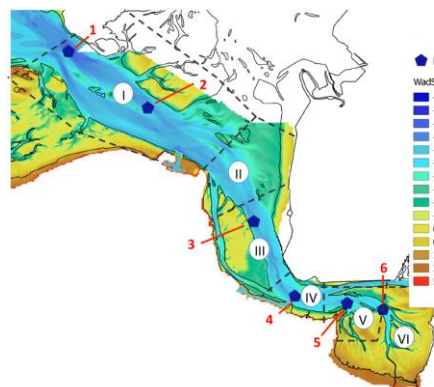
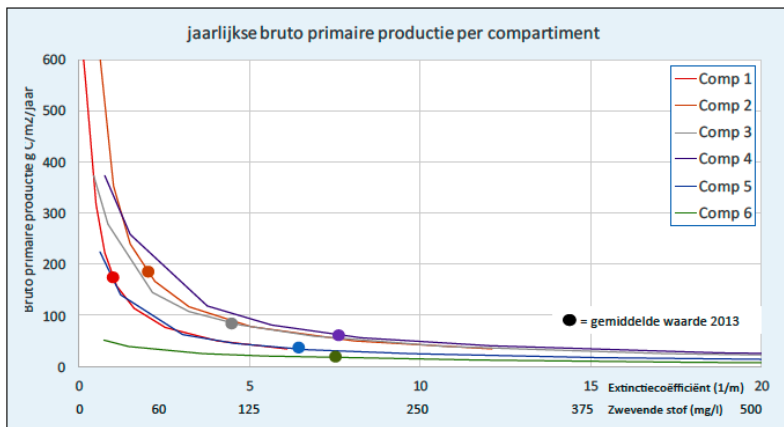


Figuur 4-3 Boxplots met wortel getransformeerde concentratie (totaal) zwevende stof (links), wortel getransformeerde concentratie chlorofyl-a (midden) en dubbele wortel getransformeerde ratio zwevende stof : chlorofyl – a (rechts) zoals gemeten in het MWTL meetprogramma voor stations gelegen in de Eems-Dollard en voor stations gelegen in de overige kombereingsgebieden van de Waddenzee in de periode 1988-2016 (Glorius et al., 2021).

Relatie tussen primaire productie en verstoringsfactoren

Voor primaire productie is met name verstoringsfactor verstoring door mechanische effecten (vertroebeling) relevant. Mogelijk dat er ook een relatie bestaat tussen primaire productie op de droogvallende platen (fytobenthos) en de verstoringsfactoren oppervlakteverlies, verandering overstromingsfrequentie en verandering dynamiek substraat. Hierover is weinig bekend. In de literatuur zijn de volgende relaties tussen primaire productie en mechanische effecten (vertroebeling) beschreven:

- De bruto primaire productie (BPP) wordt bepaald door lichtbeschikbaarheid en de voedingsstoffen fosfaat, stikstof en silicaat. Hoe troebeler het water hoe lager de primaire productie (BPP) door fytoplankton (Taal et al., 2015).
- In een groot deel van de Eems-Dollard wordt de BPP sterk gelimiteerd door de slibconcentratie: de algengroei in de Dollard en het Middengebied wordt gelimiteerd door de verminderde lichtbeschikbaarheid. In het buitengebied werken zowel de slibconcentratie als de nutriënten limiterend (Taal et al., 2015). Zie Figuur 4-4. N.B. let wel dat verhoogde slibconcentraties een kwaliteitskenmerk zijn van H1130. De BPP wordt gelimiteerd door de slibconcentratie maar in een estuarium hoort dat ook in enige mate zo te zijn. Belangrijk is vooral dat de slibconcentraties niet té hoog worden. In het middendeel en de Dollard zijn de slibconcentraties aan de hoge kant t.g.v. het verdiepen en onderhouden van vaargeulen.



Figuur 4-4 Relatie tussen de zwevende stof concentratie, de lichtuitdoving (extinctiecoëfficiënt) en de BPP door fytoplankton voor de verschillende compartimenten (rechts) in de Eems-Dollard (Taal et al., 2015).

- In de winterperiode is de primaire productie van het fytoplankton zeer gering, vooral door de zeer lage lichtinstraling (minder zonuren in winterperiode), en daardoor ook de groei. Er is dan zeer weinig zoöplankton en ook de voedselbehoefte van filterende bodemdieren is dan als regel minimaal. Hierdoor hebben baggeractiviteiten in de winterperiode minder effect op de primaire productie dan wanneer in het voorjaar of in de zomer baggeractiviteiten worden uitgevoerd. Het effect op het fytoplankton, en het daarvan direct afhankelijk deel van het ecosysteem, wordt in het voorjaar en in de zomer in sterke mate bepaald door a) de grootte van het gebied waarin verhoogde troebeling optreedt, b) de mate waarin de lichtdoordringing in het water wordt verminderd, en c) het aantal dagen dat verhoogde troebeling aanwezig is (Essink, 1993).

De primaire productie in het estuarium wordt dus voor een groot deel gereguleerd door de beschikbaarheid van licht en in het buitengebied een deel van de tijd door nutriënten (Taal et al., 2015). De toename van de troebelheid in de Eems-Dollard heeft geleid tot een afname van de lichtdoorlaatbaarheid van het water. Dit heeft een negatieve invloed op de primaire productie, voornamelijk door het pelagische fytoplankton (Brinkman et al., 2015). Hierdoor is de primaire productie in de Eems-Dollard in de periode 1955 – 2005² met 59% afgenomen (De Jonge en Schückel, 2019). Door de lage pelagische primaire productie zorgen met name de bodemalgen van de wadplaten in de Dollard voor een groot deel van de totale primaire productie, omdat hun groei niet door verminderde lichtcondities wordt belemmerd (De Jonge en van Beusekom, 1992; Lenselink et al., 2015; Taal et al., 2015).

Conclusie

Bovengenoemde studies zijn enkele of meerdere jaren geleden uitgevoerd. Recentelijk zijn er nieuwe inzichten gekomen waarbij duidelijk is geworden dat de SSC in het estuarium weliswaar hoog is maar niet overall een doorgaande trend vertoont. De hoofdconclusie blijft staan, namelijk dat de primaire productie in de Dollard en het middengebied lichtgelimiteerd is. In het buitengebied is de primaire productie juist voedselgelimiteerd. Baggeren en verspreiden draagt bij aan een verhoogde troebelheid ten opzichte van de natuurlijke situatie (voor toelichting en nuancering zie deel I van dit rapport (Vroom et al., 2022)). De activiteit draagt daarmee bij aan de limitatie van de primaire productie. Dit kan doorwerken op de kwaliteitskenmerken diversiteit bodemdieren, schelpdierbanken en vissen, doordat er minder voedsel wordt geproduceerd.

² Het betreft oudere gegevens, maar er zijn geen betere recentere gegevens beschikbaar. Dit betreft een leemte in kennis.

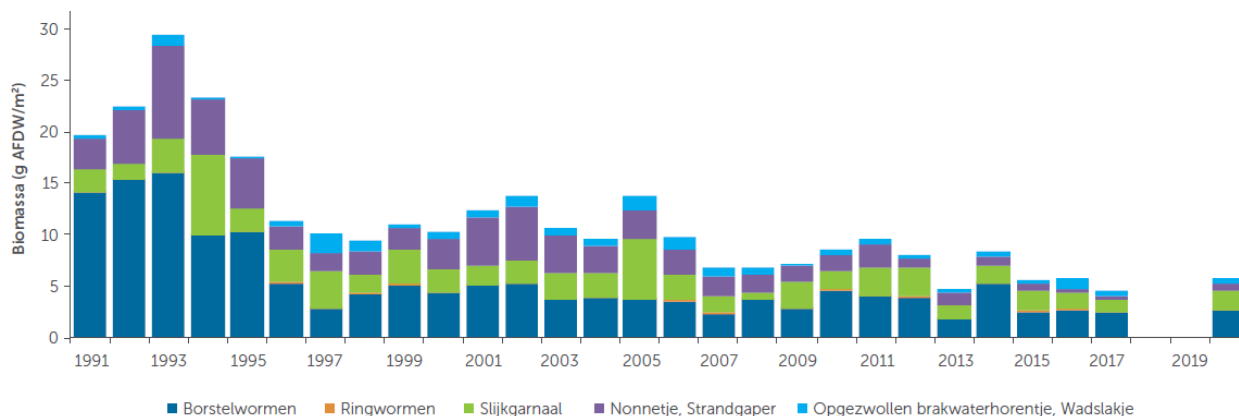
Significante effecten van baggeren en verspreiden op het kwaliteitskenmerk primaire productie door een verhoogde troebelheid kunnen niet worden uitgesloten.

4.4 Diversiteit bodemdieren

Huidige situatie

Op de Heringsplaat in de Dollard worden bodemdieren al dertig jaar gemonitord. In die periode is de biomassa sterk afgenomen, zie Figuur 4-5. Monitoring heeft uitgewezen dat de bodem veel slibrijker is geworden (minder geschikt voor bepaalde bodemdieren) en het water zeer troebel is geworden (zeer lage voedselproductie) Schmidt et al. (2021) geven aan dat dit waarschijnlijk de redenen zijn voor de sterke afname in biomassa. Een analyse van de SIBES staat op de planning en hieruit moet volgen of deze conclusie correct is. Door de slibrijkere bodem ontbreken in de Dollard, en ook op Hond-Paap, soorten die in de Waddenzee wel in groten getale voorkomen, zoals de wadpier.

Ook in het middendeel van de Eems-Dollard is de totale hoeveelheid biomassa afgenomen en is een verschuiving vastgesteld van tweekleppigen (strandgaper, kokkel) naar slibtolerante bodemfaunasoorten zoals borstelwormen, slakken en het wadkreeftje (Compton et al., 2017). Deze verschuiving is in lijn met de gemeten toename van het bodemslibgehalte in het middendeel van de Eems-Dollard.



Figuur 4-5 De biomassa van bodemdieren op de Heringsplaat is sinds 1991 sterk afgenomen. Net als in de rest van de Dollard vormen borstelwormen de grootste groep. Daarna volgt de slijkgarnaal (*Corophium volutator*). Bron: RWS (Schmidt et al., 2021).

Relatie tussen bodemdieren en verstoringsfactoren

Voor bodemdieren zijn met name de verstoringsfactoren Oppervlakteverlies, Verontreiniging, Overstromingsfrequentie, Verandering dynamiek substraat, Verstoring door mechanische effecten en Verandering in populatiedynamiek van belang.

Oppervlakteverlies

Zoals reeds in paragraaf 4.1 is benoemd leiden baggeren en verspreiden niet tot een afname van het totaalareaal van het habitatype H1130 Estuaria, maar wel tot verschuivingen van de (natuurlijke) verhoudingen van ecotopen binnen het habitatype en daarmee tot een verschuiving van habitats van bodemdieren binnen het estuarium. Ook leidt het baggeren en verspreiden tot een kwaliteitsverlies van de habitats en daarmee ook oppervlakteverlies van H1130 met goede kwaliteit. Bovendien leidt de afname van geleidelijke/natuurlijke overgangen/gradiënten tussen diepe delen en ondiepe delen van het estuarium als gevolg van verdiepingen tot verlies van habitats voor bodemdieren in deze overgangsgebieden. Bij een hoge frequentie van baggeren en verspreiden neemt bovendien binnen het habitatype het areaal toe van delen van het gebied waar bodemdieren zich niet of nauwelijks meer kunnen herstellen (zie Figuur 4-1 en Tabel 4-1). Dit wordt verder besproken onder het kopje *Verstoring door mechanische effecten*.

Verontreiniging

Aan de hand van de KRW-normen wordt de ecologische waterkwaliteit in de Eems-Dollard in de laatste KRW-update van 2022 als matig beoordeeld. De chemische waterkwaliteit krijgt het oordeel voldoet niet. Van verschillende stoffen wordt de norm overschreden (o.a. kwik, arseen, tributyltin). Verontreiniging met chemische stoffen kunnen een verstoring van het reproductiesucces van bodemdieren tot gevolg hebben. Bodemdieren die zich voeden met sedimentdeeltjes, zoals de zeeper, worden het zwaarst belast (Kaag et al., 1997). Het is echter niet de verwachting dat er een effect is van verontreiniging veroorzaakt door baggeren en storten op de diversiteit van bodemdieren.

Overstromingsfrequentie

Er zijn geen aanwijzingen dat de overstromingsfrequentie van de platen in de Dollard substantieel is veranderd. Dit is wel het geval op Hond-Paap (Elias, 2021) omdat deze plaat in de afgelopen 30 jaar lager is komen te liggen en wat breder is geworden. Het effect hiervan op de diversiteit van bodemdieren is onduidelijk. Mogelijk dat de geplande analyse van SIBES data hier meer duidelijkheid over kan geven.

Verandering in dynamiek substraat

Zoals bij de beschrijving van de huidige situatie is aangegeven is er in de huidige situatie waarschijnlijk sprake van een slibrijkere bodem t.g.v. de langjarige toename van het slibaanbod als gevolg van de verdiepingen. Hierdoor heeft een verschuiving plaatsgevonden naar slibtolerante bodemfaunasoorten (verandering in populatiedynamiek). Analyse van de morfologische veranderingen in deel I van dit rapport (Vroom et al., 2022) laat zien dat er vooral slib wordt afgezet in de Bocht van Watum en op het Eemshornwad. Het is aannemelijk dat de grote slibvolumes die worden gebaggerd in het Emders Vaarwater en Gatjebogen en worden verspreid op Klapstellen 5 en 7 (ca. 6 miljoen m³/j) bijdragen aan een relatief grote sedimentbeschikbaarheid en sedimenttoevoer naar het Eemshornwad (0.9 miljoen m³ slib per jaar; Elias et al., 2021). Dit gebied is aan netto sedimentatie onderhevig, hier bezinkt jaarlijks ook 1.7 miljoen m³/j aan zand (Elias et al., 2021). Het is dus een gebied, waar de waterbeweging dusdanig is, dat er sediment kan worden afgezet. De slibsedimentatie op het Eemshornwad wordt niet gestuurd door de verspreiding van baggerspecie, maar door grootschaliger morfologische ontwikkeling van de bekkens van de Westereems en de Oostereems (welke weer een gevolg zijn van het inpolderen van de Dollard, waterbouwkundige werken en verdiepingen (zie Vroom et al., 2022)). De verspreiding van baggerspecie kan door de grotere beschikbaarheid van sediment nabij dit sedimentatiegebied wel de slibsedimentatie versnellen.

Verstoring door mechanische effecten – vertroebeling van het water

De volgende relaties tussen vertroebeling van het water en bodemdieren zijn bekend:

- Effecten op primaire productie (paragraaf 4.3) kunnen doorwerken op het kwaliteitskenmerk diversiteit bodemdieren.
- Verhoogde zwevende stof gehalten kunnen de vestiging en groei van filtrerende tweekleppige schelpdieren, waaronder mosselen, nadelig beïnvloeden (Essink, 1993). De effecten op mossel(bank)en als gevolg van vertroebeling worden verder beschreven in paragraaf 4.5.
- Diverse bodemdieren zijn voor hun voedselvoorziening aangewezen op het uit het water filteren van gesuspendeerde organische stof bevattende deeltjes, waaronder de tweekleppige schelpdieren mossel, kokkel en strandgaper. Deze dieren voeden zich met de verteerbare fractie van de zwevende stof. Een toename van het aandeel anorganisch slib in het zwevende stof leidt bij deze dieren tot een verlaging van de netto-voedselopname per tijdseenheid (inname-efficiëntie) (Essink, 1993). De voedselkwaliteit van het zwevende stof vormt waarschijnlijk een belangrijke groeiregulerende factor voor deze filtrerende schelpdieren (Essink & Bos, 1985).

- Een dergelijke aanwijzing voor groeiregulatie werd ook verkregen voor het nonnetje, een tweekleppig schelpdier, dat deels zwevende stof, deels bodemsediment als voedsel gebruikt (Laane et al., 1987).

Verstoring door mechanische effecten – bodemberoering en bodembedekking

Door Altenburg & Wymenga is een literatuurstudie uitgevoerd naar de effecten van natuurlijke bodemdynamiek en menselijke bodemberoering (mechanische verstoring) in de sublitorale Waddenzee (Rippen et al., 2020). De belangrijkste conclusie ten aanzien van baggeren is dat baggeren een afname in biomassa, dichtheid en soortenrijkdom van de bodemdiergemeenschap tot gevolg kan hebben (Wan-Hussin et al., 2020). Daarbij zijn bodemdiergemeenschappen in gebieden met een lage natuurlijke dynamiek gevoeliger en duurt herstel langer dan bij baggeren in een meer dynamisch gebied. Hersteltijden kunnen oplopen van enkele jaren tot 15 jaar, afhankelijk van de systeemeigen dynamiek in een gebied en de intensiteit van baggeren (Waye-Barker et al., 2015).

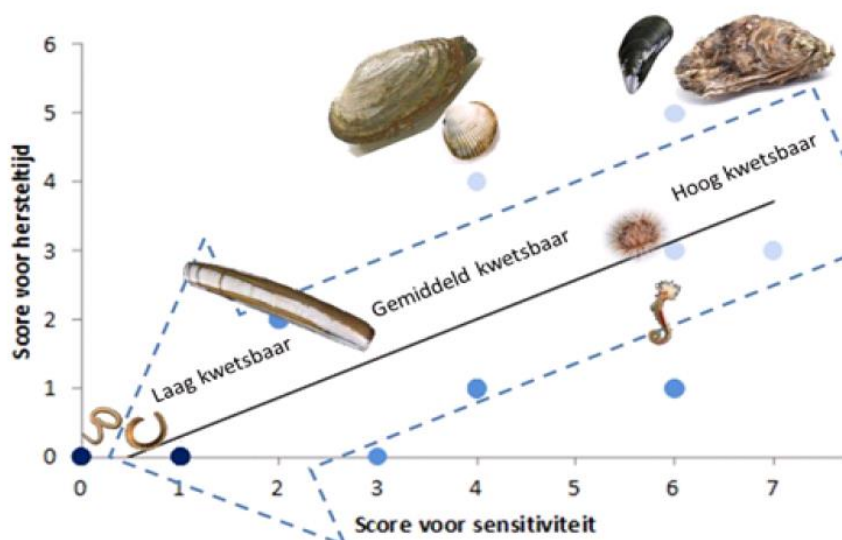
Ook door verspreiding van baggerspecie kan de soortenrijkdom en dichtheid van de bodemdiergemeenschap afnemen. De bodemdiergemeenschap kan enkele maanden na de verspreiding van baggerspecie weer hersteld zijn (met de functionele diversiteit weer op orde), maar de samenstelling (qua kenmerkende eigenschappen) van de verschillende bodemorganismen kan tot meer dan vier jaar nodig hebben voor herstel (Rippen et al 2020).

Rippen et al (2020) concluderen in hun literatuurstudie dat door regelmatige bodemberoering in laagdynamische gebieden (met hoog kwetsbare soorten) de soortensamenstelling van de bodem verschuift naar een soortensamenstelling die meer past bij hoogdynamische gebieden (met laag kwetsbare soorten; soorten die zijn aangepast aan hoge natuurlijke dynamiek en een korte hersteltijd hebben) en dus tot een verandering in populatiedynamiek. Dit is weergegeven in Figuur 4-6, waarbij de pijl staat voor aanhoudende bodemberoering. Dit effect strekt verder dan alleen de bagger- en verspreidingslocaties, maar heeft ook betrekking op gebieden waar grote hoeveelheden slib sedimenteren (herverdeling sediment), waaronder het Emshornwad.

In het geval van de baggerwerkzaamheden in de Eems-Dollard is het volgende aan de hand:

- In Figuur 1-2 zijn de bagger- en verspreidingslocaties in de Eems-Dollard weergegeven. Baggerwerkzaamheden vinden voornamelijk in hoogdynamische gebieden (geulen) plaats en in de havens. De havens, waar eveneens gebaggerd wordt, maken geen onderdeel uit van het Natura 2000-gebied.
- Er wordt vrijwel continu in de Eems-Dollard gebaggerd. Baggergegevens laten zien dat een aantal (delen van) geulen maandelijks of vrijwel maandelijks wordt gebaggerd en een aantal geulen waar minder maanden per jaar (maar nog steeds meerdere malen per jaar) wordt gebaggerd.

De frequentie van bodemberoering door baggeractiviteiten is op veel baggerlocaties maar ook verspreidingslocaties hoog. Hierdoor is er op en rond de baggerlocaties niet tot nauwelijks tijd voor herstel van de bodemdiergemeenschappen. Deze effecten beperken zich tot de baggerlocaties en de directe nabijheid daarvan (zie ook Figuur 4-1 en Tabel 4-1). Omdat het baggeren veelal in de geul zelf plaatsvindt, en deze verdiept ligt t.o.v. de omgeving, kan worden gesteld dat de effecten ook alleen binnen de geul plaatsvinden.



Figuur 4-6 Relatie tussen hersteltijd (hoge score, lange hersteltijd, laag herstellend vermogen) en sensitiviteit (hoge score, hoge gevoeligheid) voor bodemberoering voor de meest voorkomende soorten in het sublitoraal van de Waddenzee. NB. sommige punten staan voor meer dan één soort (gelijke scores). In kleur is de relatie met natuurlijke dynamiek weergegeven. In donkerblauw soorten die in een gemiddeld tot hoog dynamisch gebied leven, in blauw soorten die leven in een gemiddeld dynamisch gebied en in lichtblauw soorten die kunnen leven in een laag tot gemiddeld dynamisch gebied. Onder invloed van aanhoudende menselijke dan wel natuurlijke beroering (pijl) wordt verwacht dat de soortensamenstelling verschuift langs de lijn van hoog kwetsbare naar minder kwetsbare soorten met een kortere hersteltijd (Rippen et al., 2020).

In het geval van de verspreidingswerkzaamheden in de Eems-Dollard is het volgende aan de hand:

- Er wordt vrijwel continu sediment in het gebied verspreid op daarvoor aangewezen verspreidingslocaties.
- Minimaal maandelijks wordt baggerspecie verspreid op de locaties Klapstelle 5, Klapstelle 7 en met behulp van Airset Delfzijl en Paapsand Sud in het middendeel van de Eems-Dollard. Voor de verspreidingslocaties Airset Delfzijl en Paapsand Sud zijn wekelijkse cijfers beschikbaar, maar de daadwerkelijke verspreidingsfrequentie is op deze locaties hoger (data 2017).
- De overige verspreidingslocaties in het gebied worden niet maandelijks gebruikt, maar veelal wel meerdere malen per jaar.

Ook de frequentie van bodemberoering (door bodembedekking) door verspreidingsactiviteiten is lokaal hoog. Lokaal betekent hierbij enkele tientallen meters rondom de verspreidingslocatie. Echter, omdat niet elk schip steeds op precies dezelfde plek het beun openzet om sediment te verspreiden is het aannemelijk dat 'worst case' het verstoorde gebied (het gebied onder invloed van de near-field pluim) bestaat uit de verspreidingslocatie met een straal van 500 m. Omdat er veelvuldig wordt verspreid is er op en rond de verspreidingslocaties niet tot nauwelijks tijd voor herstel van de bodemgemeenschappen. Dit is ook aangegeven in Figuur 41.

Verandering in populatiedynamiek

Door baggeren en verspreiden van sediment wordt ter plaatse van de bagger- en verspreidingslocaties de populatiedynamiek in de Eems-Dollard beïnvloed door sterfte van bodemdieren (direct effect). Afhankelijk van de frequentie van bodemberoering door baggeren en/of bodembedekking door verspreiden kan de soortensamenstelling van de bodemfauna tijdelijk of permanent veranderen (indirect effect), zie kopje *Verstoring door mechanische effecten*. Daarnaast kunnen veranderingen van de (natuurlijke) verhoudingen tussen de verschillende ecotopen, minder geleidelijke/natuurlijke overgangen en veranderingen in abiotische omstandigheden (zoals slibgehalte in de bodem) leiden tot veranderingen in populatiedynamiek

van bodemdieren (indirect effect). Een verandering in soortensamenstelling heeft al plaatsgevonden naar meer sliibtolerante soorten.

Conclusies

Op basis van het bovenstaande kan het volgende geconcludeerd worden:

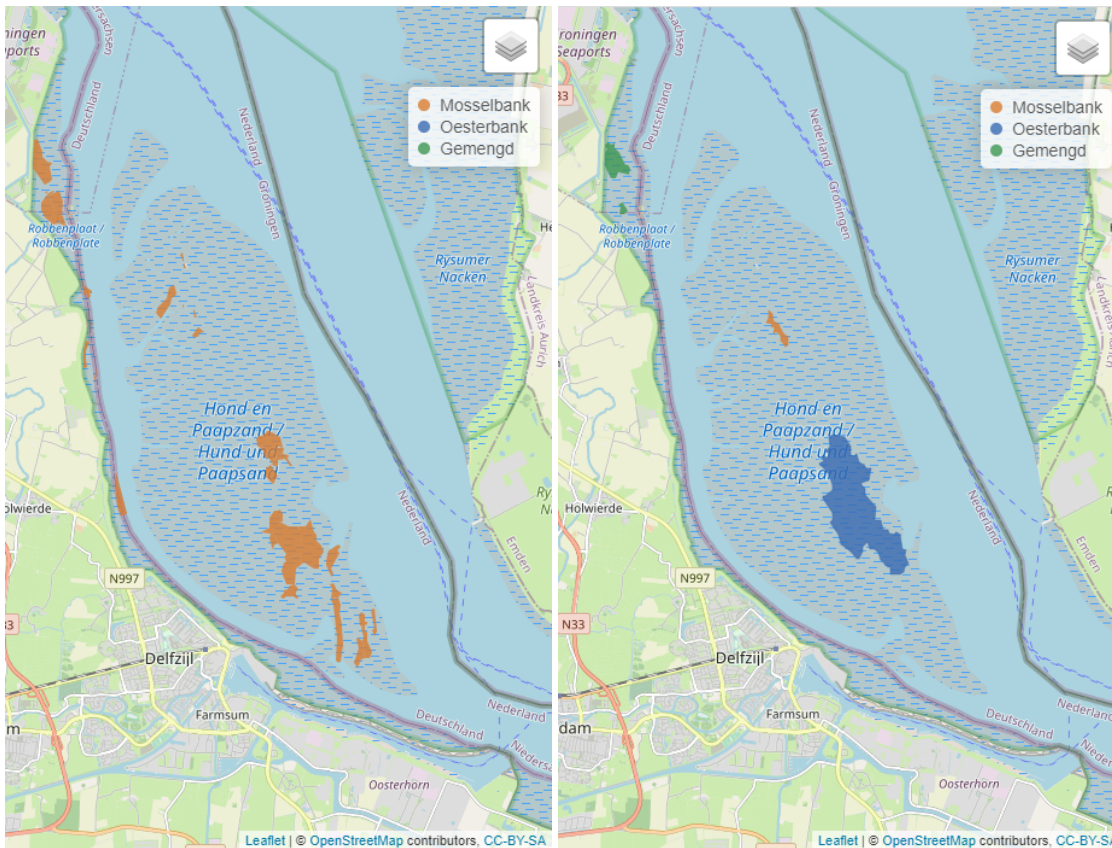
- Een toename van slib in de bodem (verandering in dynamiek substraat) heeft waarschijnlijk geresulteerd in een verschuiving van de soortensamenstelling van bodemdieren. Of deze conclusie klopt moet nog blijken uit analyse van SIBES-data. De toename in bodemslibgehalte wordt voornamelijk veroorzaakt door grootschalige morfologische ontwikkelingen uit het verleden, maar kan worden versneld door het verspreiden van baggerspecie.
- Door het baggeren en verspreiden wordt maximaal 6% van de Eems-Dollard vrijwel permanent verstoord.
- Effecten op primaire productie (paragraaf 5.3) kunnen doorwerken op het kwaliteitskenmerk diversiteit bodemdieren en op het hele voedselweb.
- Door baggeren en verspreiden van sediment wordt ter plaatse van de bagger- en verspreidingslocaties de populatiedynamiek in de Eems-Dollard beïnvloed door sterfte van bodemdieren (direct effect). Daarnaast kunnen veranderingen van de (natuurlijke) verhoudingen tussen de verschillende ecotopen, minder geleidelijke/natuurlijke overgangen en veranderingen in abiotische omstandigheden (zoals slibgehalte in de bodem) leiden tot veranderingen in populatiedynamiek van bodemdieren (indirect effect). Afhankelijk van de frequentie van bodemberoering door baggeren en/of bodembedekking door verspreiden kan de soortensamenstelling van de bodemfauna tijdelijk of permanent veranderen.
- Significante effecten door baggeren en verspreiden op het kwaliteitskenmerk Diversiteit bodemdieren kunnen niet worden uitgesloten.
- Effecten op het kwaliteitskenmerk Diversiteit bodemdieren kunnen doorwerken hogerop in de voedselketen.

4.5 Schelpdierbanken

Huidige situatie

Mosselbanken komen in de Eems-Dollard alleen nog voor op de wadplaten Voolhok en Hond-Paap. In 2002 vormden mosselen qua biomassa nog de belangrijkste schelpdiersoort op de Hond-Paap, maar het areaal op Hond-Paap is sinds 2003 sterk afgenomen van 200 ha tot zo'n 7,5 ha in 2020 (areaal met meer dan 5% bedekking door mosselen), zie Figuur 4-7 (en Troost et al., 2021). Figuur 4-7 laat ook zien dat de voormalige mosselbanken in het zuidelijk deel van Hond-Paap nu gekoloniseerd zijn door de Japanse oester. De (pure) mosselbank in het noordelijk deel van Hond-Paap werd in 2017 voor het eerst aangetroffen (Glorius et al., 2021). De banken gelegen op de wadplaat Voolhok hebben zich weten te handhaven, maar ook het areaal van die banken was afgenomen in 2013 (Glorius et al., 2021). Figuur 4-7 laat zien dat de bank op Voolhok in 2020 een gemengde bank is.

Uit de dataset die in het kader van de studie van Glorius et al. (2021) is verzameld ten aanzien van de sedimentsamenstelling in de Eems-Dollard in verschillende tijdvakken (Figuur 4-8) komt naar voren dat van het zuidelijk deel van Hond-Paap, waar de Japanse oesters voorkomen, de bodem slibrijker is dan van het noord(oost)elijke deel van Hond-Paap, waar de mosselbank voorkomt.



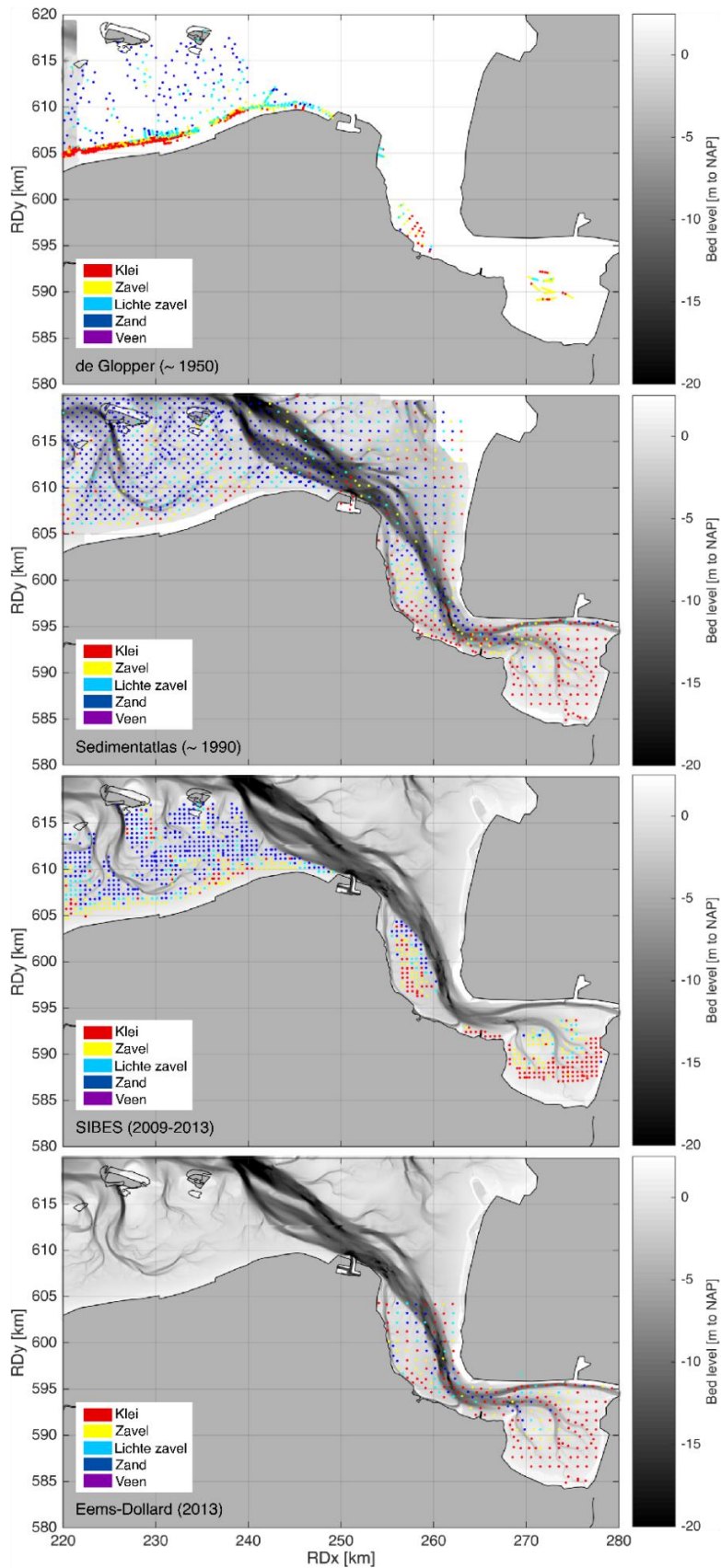
Figuur 4-7 Mosselbanken en oesterbanken op de platen in de Waddenzee in 2003 (links) en 2020 (rechts). Bron: WMR (https://shiny.wur.nl/Schelpdiermonitor_Banken/)

Relatie tussen voorkomen schelpdierbanken en verstoringsfactoren

Voor bodemdieren zijn met name de verstoringsfactoren Verontreiniging, Overstromingsfrequentie, Verandering dynamiek substraat en Verstoring door mechanische effecten van belang.

Verontreiniging

De meeste weekdieren kunnen nauwelijks vluchtgedrag vertonen, zodat zij sterk afhankelijk zijn van de lokale waterkwaliteit. Effecten zijn velerlei en spelen zich af van moleculair tot ecosysteemniveau. Vervuiling leidt niet altijd tot sterfte, soms zijn er gedragsveranderingen: sommige weekdieren sluiten tijdelijk hun kleppen of operculum, maar dit verstoort wel de voedselvoorziening en ademhaling. Verontreiniging kan ook leiden tot fysiologische veranderingen, zoals verminderde filtratie, verhoogde zuurstofopname en verstoring van de (schelp-) groei (Sheehan, 1984). Hormoonverstorende stoffen hebben gevolgen voor de voortplanting van weekdieren. Met name in het larvestadium zijn zij vaak gevoelig voor verontreiniging, bijvoorbeeld de mossel, Japanse oester en alikruik (Sheehan, 1984, Hunt & Anderson, 1993). Het is echter niet de verwachting dat er een effect is van verontreiniging op schelpdierbanken, dat wordt veroorzaakt door baggeren en storten. Dit heeft voornamelijk te maken met het feit dat de verontreinigingen gebonden zijn aan het slib. Het zou kunnen zijn dat het slib minder voedsel bevat en schelpdieren daarom een grotere hoeveelheid slib moeten filteren om aan voldoende voedsel te komen. Op die manier komen ze ook in aanraking met een grotere hoeveelheid verontreinigde stoffen. Dit onderwerp bevat teveel onzekerheden om op basis van deze beperkte studie grote conclusies te kunnen trekken.



Figuur 4-8 Sedimentsamenstelling in het Eems estuarium (aangepast uit: Colina Alonso, 2021) zoals bepaald door De Glopper in de jaren '50, in de sedimentatlas rond 1990, volgens de SIBES meetcampagne voor de jaren 2009-2013 en voor de Eems Dollard meetcampagne in 2013. N.B. In de kaart van 1950 staat de Eemshaven ingetekend, maar die was destijds nog niet aangelegd (uit: Vroom et al 2022).

Overstromingsfrequentie

Er zijn geen aanwijzingen dat de overstromingsfrequentie van de platen in de Eems-Dollard substantieel is veranderd, behalve op de Hond-Paap (Elias, 2021). Het (mogelijke) effect hiervan op schelpdierbanken is onduidelijk.

Verandering dynamiek substraat

In de literatuur is het volgende bekend over de relatie tussen schelpdieren en slibgehalte van de bodem:

- Japanse oesters blijken op droogvallende platen die sterk aanslibben goed te kunnen overleven door in verticale positie te groeien (Wadden in Beeld, 2019).
- Uit de dataset die in het kader van de studie van Glorius et al. (2021) is verzameld ten aanzien van de sedimentsamenstelling in de Eems-Dollard in verschillende tijdvakken (Figuur 4-8) komt naar voren dat van het zuidelijk deel van Hond-Paap, waar de Japanse oesters voorkomen, de bodem slibrijker is dan van het noord(oost)elijke deel van Hond-Paap, waar de mosselbank voorkomt.

Het slibgehalte in de bodem is (naast de slibconcentratie in het water) dus mogelijk een belangrijke factor voor het voorkomen van mosselbanken.

Verstoring door mechanische effecten

In de literatuur is het volgende bekend over de relatie tussen schelpdieren en slib in de waterkolom (verstoring door mechanische effecten):

- Sterfte van mosselen kan optreden bij extreem hoge concentraties zwevend stof en is waargenomen bij 1220 mg/l (Purchon, 1937).
- Hogere concentraties slib in het water leiden doorgaans tot een verminderde groei van mosselbanken (Essink et al., 1990). Glorius et al (2021) concluderen dat vooral langdurige periodes (meerdere maanden) met verhoogde concentraties zwevende stof een blijvend risico lijken te vormen voor de overleving van (aangelegde of op natuurlijk wijze ontstane) droogvallende mosselbanken. De grootste bedreiging voor de overlevingskansen van mosselen en het herstel van mosselbanken vormt langdurige blootstelling aan grote hoeveelheden slib (referenties in Van Ark et al 2022).
- Te hoge concentraties (anorganisch) zwevende stof kunnen tot negatieve effecten op de mossel leiden. Effecten die kunnen optreden zijn een afname van de voedselopnamesnelheid, een verhoogde productie van pseudofaeces, afname van de pompsnelheid en daarmee verlaagd zuurstofaanbod, hogere energiebehoefte en respiratie, aanpassing van de morfologie, een verminderde groei en uiteindelijk ook sterfte (Tamis, 2016 & Essink et al., 1985 & 1999).
- De morfologische reactie op verhoogde zwevende stof concentraties bestaat eruit dat de kieuwen van de mosselen kleiner worden en de palpen groter (beide organen zijn betrokken bij het filteren van water en uitscheiden van ongewenste deeltjes) (Capelle et al., 2021; Essink, 1999).
- Japanse oesters blijken op droogvallende platen die sterk aanslibben goed te kunnen overleven door in verticale positie te groeien (Wadden in Beeld, 2019).

Zoals blijkt uit Deel I van dit rapport (Vroom et al., 2022) fluctueert de jaargemiddelde troebelheid (SSC) sterk, met een factor 2 hogere of lagere SSC dan het langjarig gemiddelde. Deze fluctuaties treden over het gehele estuarium op, en in de Waddenzee is vergelijkbaar gedrag vastgesteld (Herman et al., 2018). Na een lange periode van toenemende en hogere SSC, die waarschijnlijk zijn veroorzaakt door de grootschalige morfologische ontwikkelingen (waaronder verdiepingen), bevinden we ons momenteel in een periode van stabiele en niet verder stijgende SSC in het midden en buitendeel van het estuarium en licht stijgende SSC in de Dollard. Onderhoudsbaggerwerk zelf zorgt niet voor een lange termijn toename van de

SSC, wel voor het in stand houden van de hoge concentraties. De lange termijn toename is een gevolg van de grootschalige ingrepen zoals het verdiepen van vaarwegen.

Conclusies

Hogere concentraties slib in het water en in de bodem leiden waarschijnlijk tot een verminderde groei van mosselbanken. Japanse oesters blijken op droogvallende platen die sterk aanslibben te kunnen overleven door in verticale positie te groeien. Baggeren en verspreiden draagt bij aan een verhoogde troebelheid ten opzichte van de natuurlijke situatie (voor toelichting en nuancering zie Deel I van dit rapport (Vroom et al., 2022)) en draagt daarmee bij aan de limitatie van de groei van mosselbanken.

Significante effecten van baggeren en verspreiden op het kwaliteitskenmerk mosselbanken door een verhoogde troebelheid kunnen niet worden uitgesloten. Effecten op het kwaliteitskenmerk Schelpdierbanken kunnen doorwerken verderop in de voedselketen.

4.6 Zeegras(velden)

Huidig voorkomen

Zeegras kwam in de Eems-Dollard in het verleden op slechts één locatie, in hoge dichtheden, voor. Het betrof groot zeegras op de wadplaat Hond-Paap. Deze soort liet een korte opleving zien rond de eeuwwisseling, maar is nu vrijwel verdwenen. Sinds 2005 groeit er nauwelijks meer zeegras in de Eems-Dollard. Tijdens de MWTL metingen in 2020 is op Hond-Paap alleen groot zeegras aangetroffen. Het betrof vaak een enkele plant, maar soms ook meer en/of grotere planten. De bedekking kwam echter nooit boven de 0-1% bedekkingsklasse (Schutter et al., 2020).

Op Voolhok werd tijdens de MWTL metingen in 2020 geen groot zeegras aangetroffen en slechts één plukje klein zeegras (Schutter et al., 2020). Tijdens de kartering in 2017 werd zowel groot zeegras (9 cellen) als klein zeegras (2 cellen) aangetroffen (Zwarts et al. 2018).

Relatie tussen voorkomen zeegras(velden) en verstoringsfactoren

Voor zeegras(veld)en zijn met name de verstoringsfactoren Verontreiniging, Verandering overstromingsfrequentie, Verandering dynamiek substraat en Verstoring door mechanische effecten van belang.

Verontreiniging

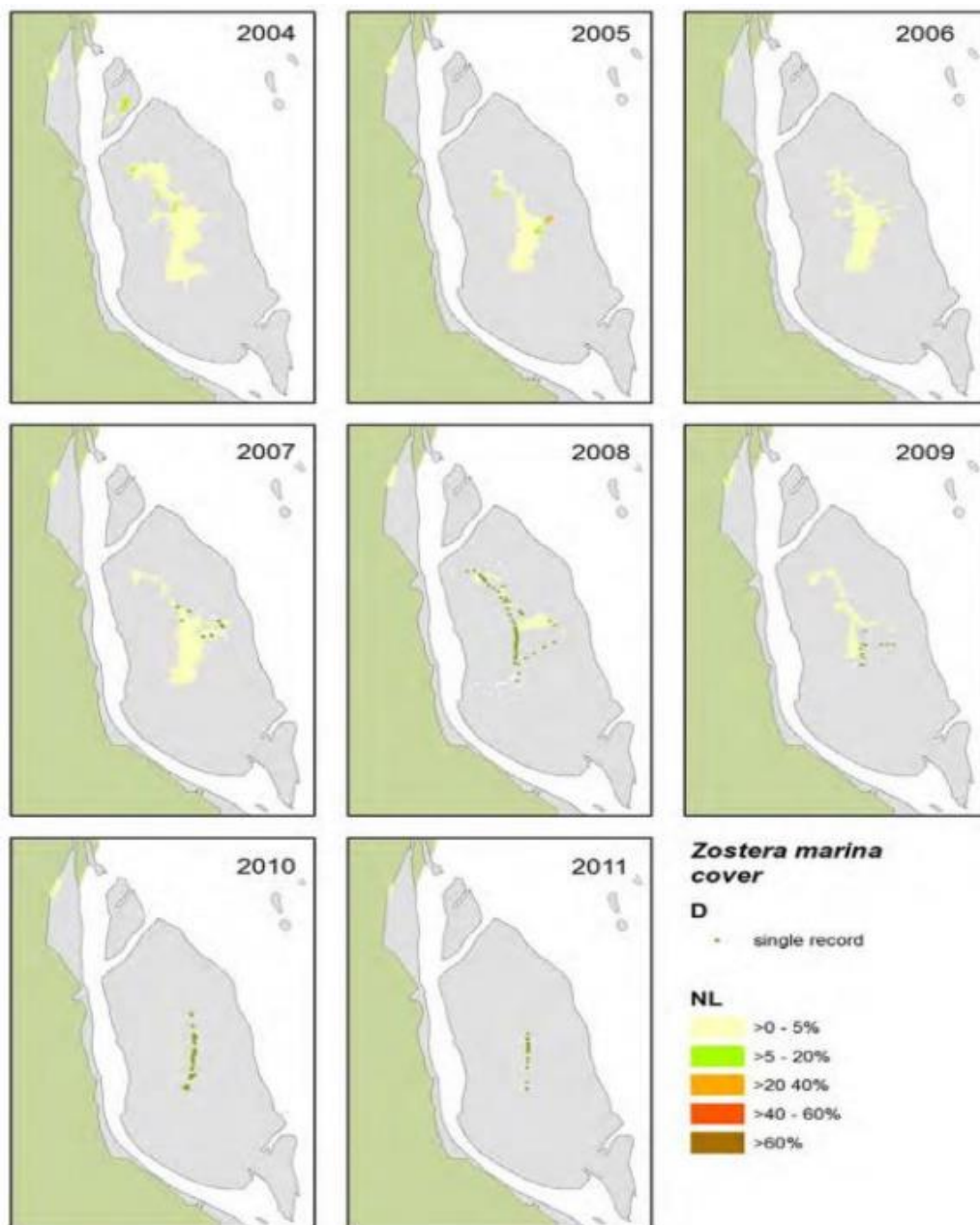
Philippart et al. (2020) vonden indirect bewijs dat de aanwezigheid van onder andere cadmium en kwik en zwevende deeltjes (SPM) de groei van zeegras in verschillende delen van de Waddenzee belemmert. Het is mogelijk dat dit door baggeren en verspreiden van slib vanuit de bodem in de waterkolom wordt gebracht, maar het is niet de verwachting dat dit effect bepalend is voor de aan- of afwezigheid van zeegras.

Verandering overstromingsfrequentie

De volgende relaties tussen het voorkomen van zeegras(velden) en overstromingsfrequentie (gekoppeld aan hoogteligging) zijn bekend:

De toe- en afname van litoraal zeegras op de Hond-Paap is eerder geconstateerd en uitvoerig geanalyseerd door Jager & Kolbe (2013). Zij observeerden dat het zeegras in de regel op de hoogste delen van het plaatsysteem voorkomt en dat de hoogteontwikkeling van de hoogste delen een sterke correlatie vertoont met het voorkomen van het zeegras. Jager & Kolbe (2013) laten zien dat in de jaren van ophoging het zeegras op de Hond-Paap op die hogere delen 40-60% van de tijd droog komt te vallen, wat binnen het optimale groeibereik van 40-65% van litoraal zeegras ligt. In de andere jaren, waarin het plaatsysteem lager ligt, is de droogvalduur overal op het plaatsysteem te kort.

- Ook Philippart et al. (2020) constateren dat het voorkomen van zeegras voornamelijk gerelateerd lijkt te zijn aan de sedimenthoogte en/of duur van de inundatie, waarbij aangenomen wordt dat de duur van de inundatie de structurende variabele is voor zeegrasgroei en -overleving.
- Recent onderzoek laat zien dat het eiland Hond-Paap afvlakt: in het middendeel neemt de hoogte af (12 cm) maar de plaatranden en prielen vullen op (Elias, 2021). De oorzaak van deze verandering is niet geheel duidelijk. Mogelijk is er een verband met de verschillende ingrepen in het systeem (o.a. verdiepingen, inpolderingen en gaswinning). Deze afvlakking van Hond-Paap zorgt mogelijk voor een toename van de overstromingsfrequentie. Dit kan een van de oorzaken zijn van het beperkte voorkomen van zeegras op Hond-Paap.



Figuur 4-9 Verspreiding en bedekking van groot zeegras op de Hond-Paap en Voolhok, 2004-2011. Bron: RWS MWTL (uit Jager & Kolbe (2013)).

Verstoring door mechanische effecten

Verstoring door mechanische effecten op zeegrasvelden kan optreden via vertroebeling van het water en bodembedekking. Onder andere de volgende relaties zijn beschreven:

- Zeegras verdraagt het niet om begraven te worden onder sediment (Cabaço and Santos, 2007; Daniell et al., 2008). Voor de westelijke Waddenzee is gesuggereerd dat zeegras voornamelijk voorkomt op plaatsen met lage sedimentatiesnelheden (van der Graaf & Wanink 2007).
- Voor zeegras geldt dat een hoge troebelheid problemen oplevert door een afname in de hoeveelheid licht en door het achterblijven van slib op de bladeren bij eb (Philippart et al., 2020). In hoeverre het laatste ook een rol speelt op Hond-Paap is niet duidelijk, de stroomsnelheid tijdens eb voorkomt mogelijk het achterblijven van slib op de bladeren.
- De kritische grenzen voor troebelheid voor zeegras kunnen uitgedrukt worden in relatieve lichtbeschikbaarheid (% van oppervlaktestraling), waarbij de minimale lichtvereisten voor volwassen planten van klein zeegras (2%) lager is dan voor groot zeegras (11-36%) (Erfteijer & Lewis 2006).
- Hoe helderder het water, hoe dieper groot zeegras zich kan vestigen (<https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/waterkwaliteit/indicatoren-voor-waterkwaliteit/zeegras/groot-zeegras>).
- Uit onderzoek van Folmer (2019) volgt dat het gemiddelde slibgehalte van de bodem op plekken met zeegras tussen 2% en 52% ligt. Het is niet te zeggen of er sprake is van een oorzakelijk verband. Echter, de observatie dat zeegras niet voorkomt in de meest slibrijke bodems stemt overeen met de literatuur. Koch (2001) heeft op basis van een literatuuroverzicht vastgesteld dat gezonde zeegrasvelden voorkomen op bodems met slibgehalten tussen 0.4% en 72%. Hierbij merkt Koch (2001) op dat tolerantie voor de hoogste slibgehalten optreden bij lage saliniteit. Gezonde *Z. marina* velden werden in sedimenten met slibgehalten tussen 2.3% en 56.3% gevonden.

Tot 2004 bevond zich een verspreidingslocatie in de Bocht van Watum, nabij Hond-Paap. Huidige verspreidingslocaties en baggerlocaties liggen op grotere afstand van de Hond-Paap. Sinds 2005 groeit er echter nauwelijks meer zeegras op Hond-Paap.

Conclusies ten aanzien van de effecten van baggeren en verspreiden

Hogere concentraties slib in het water leiden doorgaans tot een verminderde groei van zeegras. Baggeren en verspreiden draagt bij aan een verhoogde troebelheid ten opzichte van de natuurlijke situatie (voor toelichting en nuancering zie Deel I van dit rapport (Vroom et al., 2022)) en draagt daarmee mogelijk bij aan de limitatie van de groei van zeegras(velden). Baggeren en verspreiden kan daarnaast bijdragen aan veranderingen in de hoogteligging van platen, bodemslibgehalte en sedimentstabiliteit en kan daarmee eveneens een bijdrage leveren aan de limitatie van de groei van zeegras(velden) (maar dit is niet aangetoond voor het Eems estuarium). Zeegras is daarnaast gevoelig voor verontreiniging, het is niet de verwachting dat het vrijkomen van stoffen door onderhoudsbaggeren en verspreiden bepalend is voor de aan- of afwezigheid van zeegras(velden). Dit is anders bij verdiepingen; in dat geval worden oude, nog niet eerder gebaggerde lagen verstoord. Daarbij kunnen oude verontreinigingen opnieuw in het estuarium terecht komen.

Significante effecten van baggeren en verspreiden op het kwaliteitskenmerk zeegras(velden) door een verhoogde troebelheid kunnen niet worden uitgesloten. Effecten op het kwaliteitskenmerk Zeegras(velden) kunnen doorwerken verderop in de voedselketen.

4.7 Vissen

Huidige situatie

Typische soorten

Een aantal vissoorten (schol, schar, puitaal, slakdolf) is in de Eems-Dollard sterk achteruitgegaan. De enige soorten die stabiel zijn gebleven zijn pelagische vissoorten zoals jonge haring en spiering, die als trekvissen uit andere gebieden afkomstig kunnen zijn (Jager et al., 2019). De spiering wordt sinds enkele jaren in het najaar weer aangetroffen in de Eems-rivier (bij Terborg) (Schmidt et al., 2021). Het is onbekend of de Eems-Dollard voor jonge haring en spiering ook een goed opgroeigebied is. Er zal binnenkort onderzoek plaatsvinden naar de kinderkamerfunctie van de Eems-Dollard voor vis.

Kinderkamer- en opgroeifunctie voor vissen

Er is weinig informatie beschikbaar over de huidige geschiktheid van de Eems-Dollard als kinderkamer- en opgroeigebied voor bodem- en pelagische vissen.

Migratieroute voor diadrome vissoorten

Het Eemsestuarium levert in potentie een toegang tot bovenstroomse paaigebieden en aangenomen wordt dat het gebied een belangrijk leefgebied zou kunnen vormen voor diadrome vissoorten (zeeprik, rivierprik en fint) vanwege het estuariene karakter.

In hoeverre de zeeprik in het estuarium voorkomt is onduidelijk. In de Eems-Dollard is in de periode tussen 2006 en 2017 bij de reguliere jaarlijkse voor- en najaarsmonitoring slechts twee keer een enkel exemplaar waargenomen (Jager et al., 2019). Rivierprikken worden in de Eems-Dollard regelmatig aangetroffen in de ankerkuil in het najaar. Sinds 2012 lijken de aantallen echter lager dan de paar jaar ervoor (Jager et al., 2019). In de vismonitoring in dit gebied worden daarnaast ook regelmatig finten aangetroffen. Enkele tientallen exemplaren van deze soort worden bij ankerkuil-monitoring in het gebied gevangen. Ondanks deze vangsten zijn populatietrends van de soort onzeker, al lijken de aantallen de laatste jaren weer wat af te nemen (Jager et al., 2019). Er zijn al enkele jaren geen paaiende Finten meer waargenomen (Schmidt et al., 2021)

Relatie tussen vissen en verstoringsfactoren

Voor vissen zijn de verstoringsfactoren Verontreiniging en Verstoring door mechanische effecten van belang.

Verontreiniging

Aan de hand van de KRW-normen wordt de ecologische waterkwaliteit in de Eems-Dollard in de laatste KRW-update van 2022 als matig beoordeeld. De chemische waterkwaliteit krijgt het oordeel voldoet niet. Van verschillende stoffen wordt de norm overschreden (o.a. kwik, arseen, tributyltin), wel wordt in de meeste gevallen aangegeven dat het redelijk zeker is dat het doel in 2027 wordt bereikt (Factsheet bij het Stroomgebiedbeheersplan, 2022). Verontreiniging met chemische stoffen kunnen een verstoring van het reproductiesucces van vissen tot gevolg hebben. Het is echter niet de verwachting dat er een effect is van verontreiniging op de diversiteit van bodemdieren, dat wordt veroorzaakt door baggeren en storten.

Verstoring door mechanische effecten

De volgende relaties tussen vissen en verstoringsfactoren zijn onder andere beschreven:

- Diadrome soorten hebben een hoge zuurstofbehoefte en zijn hierdoor kwetsbaar voor antropogene invloeden die het zuurstofgehalte verlagen (Kranenbarg, 2004). Gebieden met lage zuurstofconcentraties worden gemeden door vissen. Voor bot en spiering werd dit vastgesteld bij concentraties lager dan 3 mg/l (de Jong et al., 2000). In de Eemsrivier worden jaarlijks periodes met zeer lage zuurstofconcentratie gemeten.

- Diadrome soorten die langere tijd in het estuarium verblijven (fint, spiering, aal) zijn gevoelig voor (veranderingen in) de waterkwaliteit (Kranenbarg, 2004).
- Veel estuarien residente soorten maken gebruik van specifieke habitats als zeegrasvelden (zie paragraaf 4.6) en mosselbanken (zie paragraaf 4.5). Negatieve effecten van baggeren en verspreiden op deze kwaliteitskenmerken werken zo door op vissen.
- Voor zichtjagers is het lokaliseren en herkennen van de prooi sterk afhankelijk van de hoeveelheid licht, dus van de helderheid (tegengestelde: troebelheid) van het water. Bij een toename van de troebelheid zullen zichtjagers hinder kunnen ondervinden van de afname van de absolute lichtintensiteit, maar daarnaast ook van de verandering van de spectrale samenstelling en van het polarisatiepatroon van het licht in het water. De mate waarin deze zichtjagers hinder ondervinden van de toegenomen troebelheid is van een groot aantal factoren afhankelijk. Voor een deel zijn deze factoren gekoppeld aan de predator zelf, zoals een voor verschillende gedragselementen geldende verschillende kritische lichtdrempel, een bij jonge en oude dieren verschillend oplossend vermogen van het vissenoog. Voor een ander deel zijn deze factoren gekoppeld aan de prooi, zoals de grootte van de prooi (i.v.m. de detectie door de predator) en grotere ontsnappingsmogelijkheden van prooi in troebel water. Het netto-effect van verhoogde troebelheid op zichtjagers onder de vissen is dus de resultante van diverse beïnvloedingen, zowel van de predator zelf, als van diens prooi. Vermoedelijk zijn pelagische predatoren van sterk beweeglijke soorten (waaronder haring, sprong en spiering) het sterkst afhankelijk van helder water (Baveco, 1988).

Conclusies

Het verdiepen van vaargeulen heeft geleid tot minder geleidelijke/natuurlijke overgangen tussen diepe delen en ondiepe delen van het estuarium. Daardoor zijn de natuurlijke verhoudingen van de verschillende ecotopen in het estuarium als geheel veranderd. Deze onnatuurlijke verhoudingen worden door onderhoudsbaggerwerk in stand gehouden. Het verdiepen heeft geleid tot een toename van de troebelheid in het estuarium en met name een sterke toename van de troebelheid in de Eemsrivier. Daarnaast zorgt het onderhoudsbaggerwerk voor het in stand houden van de verhoogde troebelheid. In de Eemsrivier is de troebelheid zo groot dat hier regelmatig sprake is van zuurstofloosheid. Verdiepen en onderhoudsbaggerwerk leidt via de route van verhoogde troebelheid tot een verminderde kwaliteit van het leefgebied van diverse vissoorten.

Eén van de kenmerken van een goede structuur en functie van een estuarium is dat het gebied functioneert als migratieroute voor diadrome vissoorten. Voor de Eemsrivier (vanaf de stuw bij Herbrum tot aan Emden) is aangetoond dat de troebelheid (SSC) door vaargeulverdiepingen zeer sterk is toegenomen (Winterwerp & Wang, 2013; De Jonge et al., 2014; van Maren et al., 2015a; Dijkstra et al., 2019a). Door de toename van troebelheid in de Eemsrivier (een gevolg van de verdiepingen) en de periodiek zeer lage zuurstofconcentraties zijn de migratiemogelijkheden voor diadrome vissoorten sterk beperkt.

Significante effecten van baggeren en verspreiden op de kwaliteitskenmerken kinderkamer- en opgroefunctie van vissen en migratieroute voor diadrome vissoorten kunnen niet worden uitgesloten. Effecten op het kwaliteitskenmerk Vissen kunnen doorwerken verderop in de voedselketen.

5 Overzicht conclusies

- Door verdiepingen (maar ook door niet aan baggeractiviteit gerelateerde ingrepen zoals inpolderingen) in het verleden is de **landschappelijke samenhang** significant veranderd. Dit wordt in stand gehouden door (onderhouds)baggeren en het verspreiden van bagger binnen het Eemsestuarium.
- In een deel van het Eems estuarium wordt de bruto **primaire productie** sterk gelimiteerd door de slibconcentratie. Baggeren en verspreiden draagt bij aan een verhoogde troebelheid ten opzichte van de natuurlijke situatie waarbij er niet wordt gebaggerd en sediment wordt vastgelegd in sedimentatiegebieden. De activiteit draagt daarmee bij aan de lichtlimitatie van de primaire productie. Significante effecten van baggeren en verspreiden op het kwaliteitskenmerk primaire productie door een verhoogde troebelheid kunnen niet worden uitgesloten.
- Een toename van slib in de bodem (verandering in dynamiek substraat) heeft waarschijnlijk geresulteerd in een verschuiving van de soortensamenstelling van **bodemdieren**. Of deze conclusie klopt moet nog blijken uit analyse van SIBES-data. De toename in bodemslibgehalte is voornamelijk veroorzaakt door grootschalige morfologische ontwikkelingen in het verleden, waaronder de verdiepingen van de vaargeulen, maar kan worden versneld door het verspreiden van baggerspecie bij het onderhoud van de vaargeulen. Door onderhoud van de vaargeulen door middel van baggeren en verspreiden wordt 'worst case' 6% van het Eems estuarium vrijwel permanent verstoord (het betreft hier de gebieden die onder invloed staan van de near-field pluim). Door baggeren en verspreiden van sediment wordt ter plaatse van de bagger- en verspreidingslocaties de populatiedynamiek in het estuarium beïnvloed door sterfte van bodemdieren. Daarnaast kunnen veranderingen van de (natuurlijke) verhoudingen tussen de verschillende ecotopen, minder geleidelijke/natuurlijke overgangen en veranderingen in abiotische omstandigheden (zoals slibgehalte in de bodem) leiden tot veranderingen in populatiedynamiek van bodemdieren. Afhankelijk van de frequentie van bodemberoering door baggeren en/of bodembedekking door verspreiden kan de soortensamenstelling van de bodemfauna tijdelijk of permanent veranderen. Significante effecten door baggeren en verspreiden op het kwaliteitskenmerk Diversiteit bodemdieren kunnen niet worden uitgesloten.
- Hogere concentraties slib in het water en in de bodem leiden tot een verminderde groei van **mosselbanken**. Baggeren en verspreiden draagt bij aan een verhoogde troebelheid ten opzichte van de natuurlijke situatie en draagt daarmee bij aan de limitatie van de groei van mosselbanken.

Significante effecten van baggeren en verspreiden op het kwaliteitskenmerk mosselbanken door een verhoogde troebelheid kunnen niet worden uitgesloten.
- Hogere concentraties slib in het water leiden doorgaans tot een verminderde groei van **zeegras**. Baggeren en verspreiden draagt bij aan een verhoogde troebelheid ten opzichte van de natuurlijke situatie en draagt daarmee mogelijk bij aan de limitatie van de groei van zeegras(velden). Baggeren en verspreiden kan daarnaast bijdragen aan veranderingen in de hoogteligging van platen en sedimentstabiliteit (maar dit is niet aangetoond voor het Eems estuarium) en kan daarmee eveneens een bijdrage leveren aan de limitatie van de groei van zeegras(velden). Significante effecten van baggeren en verspreiden op het kwaliteitskenmerk zeegras(velden) door een verhoogde troebelheid kunnen niet worden uitgesloten.
- Het baggeren en verspreiden van bagger leidt bovendien tot een toename van de troebelheid en een daling van het zuurstofgehalte. Baggeren en verspreiden draagt daarmee bij aan een verminderde kwaliteit van het leefgebied van diverse **vissoorten**.
- Effecten op het verschillende kwaliteitskenmerken kunnen doorwerken verderop in de voedselketen.

Referenties

Baptist, M.J., J.T. van der Wal, E.O. Folmer, U. Gräwe & K. Elschot (2019). An ecotype map of the trilateral Wadden Sea. *Journal of Sea Research* 152, 101761.

Baveco, J.M., 1988. Vissen in troebel water. De effecten op visuele predatoren van verhoogde troebelheid en zwevend-stofgehaltes als gevolg van baggerwerkzaamheden. Literatuuronderzoek, RDD Aquatic Ecosysteem, Groningen. 61 pp.

Brinkman A.G., R. Riegman, P. Jacobs, S. Kühn & A. Meijboom (2014). Ems-Dollard primary production research, full data report. IMARES Report C160/14.

Brinkman, A.G. (in voorbereiding). A new habitat suitability map for intertidal mussel beds in the Dutch Wadden Sea.

Cabaço, S., & R. Santos (2007). Effects of burial and erosion on the seagrass *Zostera noltii*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 340: 204–212.

Capelle, J.J., E. Hartog, L. van den Bogaart, H.M. Jansen & J.W.M. Wijsman (2021). Adaptation of gill-palpation by mussels after transplantation to culture plots with different seston conditions. *Aquaculture* (541).

Compton, T.J., S. Holthuijsen & M. Mulder (2017). Shifting baselines in the Ems Dollard estuary: A comparison across three decades reveals changing benthic communities. *Journal of Sea Research* 127: 119–132.

Daniell, J.J., P.T. Harris, M.G. Hughes, M. Hemer & A. Heap (2008). The potential impact of bedform migration on seagrass communities in Torres Strait, northern Australia. *Continental Shelf Research* 28: 2188–2202.

De Jong, F., J.F. Bakker, C.J.M. van Berkel, K. Dahl, N.M.J.A. Dankers, C. Gätje, H. Marencic & P. Potel (2000). 1999 Waddenzee Quality Status Rapport. m.m.v. J. Wanink, A. Zeevaarder en P. Esselink, Nederlandse vertaling van: Wadden Sea Quality Status Report. Wadden Sea Ecosystem No. 9. Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Quality Status Report Group. Wilhelmshaven, Germany; waaraan toegevoegd de Nederlandse situatie uitgebreid. Rapport RIKZ/2000.008

De Jonge, V.N. & J.E.E. van Beusekom (1992). Contribution of resuspended microphytobenthos to total phytoplankton in the Ems estuary and its possible role for grazers. *Neth. J. Sea Res.*, 30: 91- 105

De Jonge, V.N., H.M. Schuttelaars, J.E.E. van Beusekom, S.A. Talke, & H.E. de Swart (2014). The influence of channel deepening on estuarine turbidity levels and dynamics, as exemplified by the Ems estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 139, p. 46-49.

De Jonge, V. & U. Schückel (2019). Beoordelen van de conditie van ecosystemen en het verkennen van ontwikkelingsrichtingen van ecosystemen onder veranderende omstandigheden. Notitie januari 2019.

Dijkstra, Y. M., H.M. Schuttelaars, G.P. Schramkowski, & R.L. Brouwer (2019a). Modeling the transition to high sediment concentrations as a response to channel deepening in the Ems River Estuary. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124. <https://doi.org/10.1029/2018JC014367>.

Elias, E. (2021). Analyse Hond-Paap. Deltares memo, 22 p.

Erfteemeijer, P.L. & R.R.R. Lewis III (2006). Environmental impacts of dredging on seagrasses: a review. *Marine Pollution Bulletin* 52: 1553-1572.

Essink, K. & A.H. Bos (1985). Growth of three bivalve molluscs transplanted along the axis of the Ems Estuary. *Netherlands Journal of Sea Research*, (19), 45-51.

Essink, K., R. Bijkerk, H.L. Kleef, & P. Tydeman (1990). De invloed van het zwevende stof regime op de groei en conditie van de mossel (*Mytilus edulis* L.). Notitie Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren GWAO90.12022

Essink, K. (1993). Ecologische effecten van baggeren en storten van baggerspecie in het Eems-Dollard estuarium en de Waddenzee. Eindrapport van het project BAGHWAD*3. Rapport Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren DGW-93.020. ISSN 0927-3980.

Essink, K. (1999). Ecological effects on dumping of dredged sediments; options for management. *Journal of Coastal Conservation*. (5), 69-80.

Folmer, E. (2019). Update habitatkaart littoraal zeegras voor de Nederlandse Waddenzee: Een aanscherping van de trilaterale zeegras habitatkaart voor de Nederlandse Waddenzee op basis van een analyse van de effecten van golfwerking, sediment en wadpieren op zeegras.

Glorius, S.T., A. Meijboom, T. Gienapp, T. Janssen & A. Wehrmann (2021). Initiëren van een droogvallende mosselbank. Een proef in het Eems-Dollard estuarium. Wageningen University & Research rapport C090/21C.

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 rapport 11202177-000-ZKS-0011.

Iedema, W., C. Schmidt, H. Mulder, K. van Es, M. Onwezen, A. Brenninkmeijer & F. Haarman (2020). ED2050 Meerjarig adaptief programma Eems-Dollard 2050. De toestand van de natuur, de projecten en het programma in 2019. Brochure van het Meerjarig adaptief programma Eems-Dollard 2050. Oktober 2020.

Jager, Z. & K. Kolbe (2013). Wax and wane of *Zostera marina* on the tidal flat Hond-Paap and in the Ems estuary; examinations of existing data, ZiltWater Advies Study report 201302.

Jager, Z., J. de Leeuw, R. van Hal, K. Molla Gazi, I. Mulder & M. van der Sluis (2019). Vis in het Eems – estuarium. Wageningen University & Research rapport C069/19.

Kaag, N.H.B.M., Boon, J.P., Booij, K., Fischer, C.V., Foekema, E.M., Hillebrand, M.T.J., Hummel, H., Kralt, H., Scholten, M.C.Th., Timmermans, B.M.H., Vonck, A.P.M.A., de Vries, M., van Weerlee, E. (1997). BENTOX Toxische effecten van verontreinigde sedimenten voor marien benthos: 1. Verkennend onderzoek met 'natuurlijk' verontreinigde sedimenten; 2. Benzo(a)pyreen en fluoranteen; 3. BaP concentratiereeks. BEON Rapport 96(3). RIKZ: Den Haag. 166 pp.

Kranenbarg J. (2004). KRW vis in overgangswateren; Antropogene knelpunten en potentiële herstel- en inrichtingsmaatregelen. Rapport WL | delft hydraulics in opdracht van DG Rijkswaterstaat / RIKZ. Rapportnummer Z3905.

Laane, R.W.P.M., H. Etcheber & J.C. Relexans (1987). Particulate organic matter in estuaries and its ecological implication for macrobenthos. *Mitt. Geol.-Palaont. Inst Univ. Hamburg* 64: 71-91.

Lenselink, G., M. Taal, S. Hommes, A. Oost, B. van Maren, M. J. Baptist, J. Tamis & B. Brinkman (2015). *Ecologisch perspectief Eems-Dollard 2050 - MIRT-onderzoek Eems-Dollard fase II*. Deltares, Utrecht.

Ministerie van LNV (2016). Profieldocument H1130 Estuaria (versie 2016). Opgehaald op: https://www.natura2000.nl/sites/default/files/profielen/Habitattypen_profielen/Profiel_habitattype_1130_2016.pdf.

Pierik, H.J., F.S. Busschers & M.G. Kleinhans (2018). De rol van resistente lagen in de historische morfologische ontwikkeling van het Eems-Dollard estuarium vanaf de 19^{de} eeuw, Universiteit Utrecht,

Philippart, C.J.M., I. Ballesta-Artero, A.S. Candy, K. Elschot & M.E.B. van Puijenbroek (2020). Factors underlying the recovery potential of littoral seagrass in the Dutch Wadden Sea.

Postma, H. (1960). Einige Bemerkungen über den Sinkstofftransport im Ems-Dollard Gebiet. In JH van Voorthuysen: *Das Ems-Estuarium*. *Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb.k. Gen.* 19: pp. 103-110.

Purchon, R.D. (1937). An ecological study of the beach and the dock at Portishead. *Proc. Bristol Nat. Soc.*, (8), 311-329.

Reise, K., & J. Kohlus (2008) Seagrass recovery in the Northern Wadden Sea? *Helgoland Marine Research* 62: 77–84.

Rijkswaterstaat (2017). *Ecotopenkaart Waddenzee 2017*. Bron: https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?url=https%3A%2F%2Fgeoservices.rijkswaterstaat.nl%2Farcgis%2Frest%2Fservices%2FGDR%2Fecotopen_zout%2FMapServer&source=sd.

Rippen, A., E. van der Zee, N. Fieten, J. Latour & E. Wymenga (2020). Review effecten natuurlijke bodemdynamiek en menselijke bodemberoering in de sublitorale Waddenzee. *Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden*.

Schmidt, C., F. van Bentum, K. van Es, M. Onwezen & A. Brenninkmeijer (2021). *ED2050 Meerjarig adaptief programma Eems-Dollard 2050. De toestand van de natuur, de projecten en het programma in 2020. Brochure van het Meerjarig adaptief programma Eems-Dollard 2050. Oktober 2021*.

Schutter, M., de Jong, J., van Deelen J.J. (2020). *Zeegraskartering MWTL Waddenzee en Oosterschelde 2020*. Bureau Waardenburg Rapportnr. 20-281 Bureau Waardenburg, Culemborg.

Sheehan, P.J. 1984. Chapter 4: Effects on individuals and populations. Pp 23-50 in: Sheehan, P.J., D.R.Millar, G.C. Butler & P. Bourdeau (1984). *Effects of pollutants at the ecosystem level (part I)*. John Wiley & sons, N.Y.

Taal, M.D., C.A. Schmidt, A.G. Brinkman, W. Stolte & D.S. van Maren (2015). *Slib en primaire productie in de Eems-Dollard. Een samenvatting van vier jaar meten, modelleren, kennis bundelen en verwerven. Gezamenlijk rapport van Deltares, Imares en Rijkswaterstaat*.

Tamis, J.E. (2016). Effects of silt on bivalves occurring in the Ems-Dollard estuary. 2016. WMR report, pp 43.

Troost, K., M. van Asch, E. Brummelhuis, D. van den Ende, Y. van Es, K.J. Perdon, J. van der Pool, C. van Zweeden & J. van Zwol (2021). Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone, Waddenzee en zoute deltawateren in 2020. CVO rapport: 21.001.

Van Ark, M., A. Wehrmann, S.T. Glorius. & C.B.M. Leuversink (2022). Herstel mosselbanken in Eems-Dollard vraagt geduld en bescherming bestaande banken. Web publication/site, Nature Today. <https://www.naturetoday.com/intl/nl/nature-reports/message/?msg=28669>

Van der Graaf, S. & J.H. Wanink (2007). Zeegras in de Waddenzee: onderzoek naar het uitblijven van de groei van zeegras in de Waddenzee. Koeman en Bijkerk BV, Report 2007-097.

Van Maren, D.S., Winterwerp, J.C. & Vroom, J. (2015a). Fine sediment transport into the hyperturbid lower Ems River: the role of channel deepening and sediment-induced drag reduction, Ocean Dynamics, DOI 10.1007/s10236-015-0821-2.

Van Maren, D.S., van Kessel, T., Cronin, K. & Sittoni, L. (2015b). The impact of channel deepening and dredging on estuarine sediment concentration. Continental Shelf Research 95, p. 1-14, <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2014.12.010>.

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, B., H.J. Pierik, P.J.T. Dankers & C. Schmidt (2020). De verslibbing van de Eems-Dollard.

Van Maren, B. & P. Herman (2019). Memo: Deltares visie slibgehalte Eems Dollard. Deltares.

Vroom, J., H.F.P. van den Boogaard, & D.S. van Maren (2012). Mud Dynamics in the Ems-Dollard, research phase 2: analysis existing data. Deltares report 1205711.001, 97 p.

Vroom, J., B. de Vries, P.J.T. Dankers & B. van Maren (2022). Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op habitatype H1130 in het Eems estuarium. Deltares-rapport: 11206835-000-ZKS-0005, voorlopig rapport, 1 april 2022.

Wageningen Environmental Research m.m.v. Wageningen Marine Research (2017). Info-graphic Herstel estuarium natuur in de Eems-Dollard met kansen voor economisch medegebruik. Bron: <https://edepot.wur.nl/427052>.

Wan Hussin, W.M.R., K.M. Cooper, C.R.S.B. Froján, E.C. Defew & D.M. Paterson (2012). Impacts of physical disturbance on the recovery of a macrofaunal community: A comparative analysis using traditional and novel approaches. Ecological Indicators 12: 37-45.

Waye-Barker, G.A., P. McIlwaine, S. Lozach, K.M. Cooper (2015). The effects of marine sand and gravel extraction on the sediment composition and macrofaunal community of a commercial dredging site (15 years post-dredging). Marine Pollution Bulletin 99: 207-215.

Winterwerp, J.C. & Wang, Z.B. (2013). Man-induced regime shifts in small estuaries—I: theory. Ocean Dynamics 63, 1279–1292. <https://doi.org/10.1007/s10236-013-0662-9>.

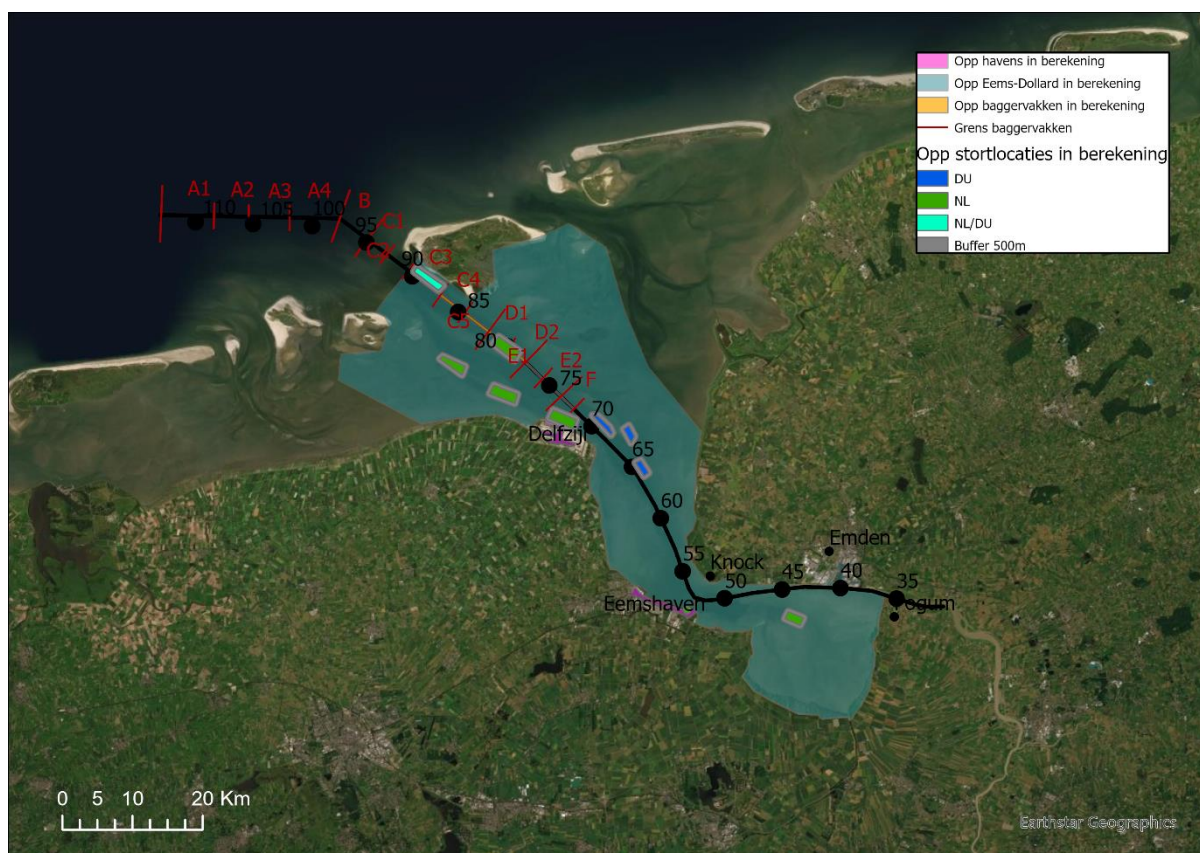
Winterwerp, J.C. & Wang, Z.B., van Braeckel, A., van Holland, G. and Kösters, F. (2013). Man-induced regime shifts in small estuaries—II: a comparison of rivers. *Ocean Dynamics* 63, 1293–1306. <https://doi.org/10.1007/s10236-013-0663-8>.

Zwarts, M., Verduin, E., Heusinkveld, J. (2017). Zeegraskartering MWTL Waddenzee. Meetjaar 2017. Eurofins Aquasense. 11 januari 2018.

A1 Methode en aannames globale berekening gebied beïnvloed door baggeren en storten

Een berekening is uitgevoerd om een globale indruk te krijgen van het oppervlak van de Eems-Dollard wat (direct) wordt beïnvloed door bagger- en stortactiviteiten. Deze appendix beschrijft de aannames en data die gebruikt zijn voor de berekening. De resultaten van de berekening staan in paragraaf 4.1.

De oppervlakten gebruikt voor de berekening staan weergegeven in Figuur A1-1.



Figuur A1-1 Oppervlakten gebruikt voor globale berekening gebied Eems-Dollard beïnvloed door baggeren en storten.

In de berekening zijn de volgende bagger- en stortlocaties meegenomen:

- Baggeren: baggervakken C3, C4, C5, D1, D2, E1, E2, F, Haven Delfzijl, Eemshaven;
- Stortlocaties: P2/K4, P5A, P1, Oude Westereems/P5, P6, K5, K6, K7, Air set Delfzijl, Groote Gat.

Het interessegebied Eems-Dollard zoals gebruikt voor de berekening is weergegeven in Figuur A1-1 (blauw). Als globale grenzen zijn aangehouden (op basis van luchtfoto):

- Grens Noordzee – Waddenzee, specifiek grens baggervak C2/C3.
- Grenzen tussen geulsystemen in Waddenzee (zeer globaal).
- Land-water grens Eems-Dollard.

De grenzen van de baggervakken zijn gebaseerd op de kaart in Bijlage 4 van de Jaarrapportage vaargeulenonderhoud 2016-2019 (oktober 2020). Bij de baggervakken is uitgegaan van een vaste breedte per baggervak van 200 m voor de vakken C2, en E1 t/m F en 430 m voor de vakken C3 t/m D2. De locatie en afmetingen van de stortlocaties zijn gebaseerd op de kaart Baggerungen Außerems 2019 van WSV.de (datum 25-09-20).

Voor de baggervakken en baggerwerkzaamheden in havens is de aanname dat het oppervlak beïnvloeding gelijk is aan het oppervlak van de baggervakken en de havenbekkens. Voor de stortlocaties is een extra bufferzone van 500 m meegenomen. Voor Air set Delfzijl is uitgegaan van een beïnvloedingsgebied van een cirkel met een straal van 500 m.