

De slibdynamiek in het Eems-estuarium

Een heldere beschrijving van veranderingen door de eeuwen heen



De slibdynamiek in het Eems-estuarium

Een heldere beschrijving van veranderingen door de eeuwen heen

Auteur(s)

Julia Vroom

Bas van Maren

Met bijdragen van RWS-WVL

Charlotte Schmidt

De slibdynamiek in het Eems-estuarium

Een heldere beschrijving van veranderingen door de eeuwen heen

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	mevrouw ir. C.A. Schmidt
Referenties	WVH07 2023
Trefwoorden	Slib, zwevende stof, sedimentconcentraties, SSC, vertroebeling, Eems, Dollard, Delfzijl, Eemshaven, Emden, estuarium, slibbalans

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	21-06-2024
Projectnummer	11208080-000
Document ID	11208080-000-ZKS-0001
Pagina's	49
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Julia Vroom	Charlotte Schmidt
	Bas van Maren	

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

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Julia Vroom	Thijs van Kessel	Laura Vonhögen-Peters	
	Bas van Maren		Bart Grasmeijer	

Samenvatting

Het Eems-estuarium is één van de twee overgebleven estuaria in Nederland en ligt in het Nederlands-Duitse grensgebied. Een estuarium vertegenwoordigt grote natuurwaarde door haar kenmerkende geleidelijke overgangen: tussen zoet en zout water, tussen diep en ondiep water (verscheidenheid aan droogvalduren), tussen dynamische zones en luwe gebieden en tussen begroeid en onbegroeid gebied. In het Eems-estuarium staat die natuurwaarde onder druk, omdat de slibconcentratie in het water hoog is. Deze hoge slibconcentratie veroorzaakt een hoge troebelheid, waardoor de lichtinstraling vanaf het wateroppervlakte naar diepere waterlagen beperkt is en algengroei hierdoor wordt gelimiteerd. Omdat algen aan de basis staan van het voedselweb, werkt deze verminderde voedselproductie door in de gehele voedselketen. De hoge troebelheid vormt hierdoor een belemmering voor de ecologie. Daarnaast leidt de hoge slibconcentratie tot een hoog slibgehalte op en in de bodem, wat ook de ecologie beïnvloedt.

De natuurlijke dynamiek en estuariene ecologie vormen de belangrijkste natuurwaarden van het Eems-estuarium. De bodemligging zal altijd bewegen richting een evenwicht met de stroomsnelheden. Daarom slibben aangelegde havens en verdiepte vaargeulen snel aan. Om deze deelgebieden bevaarbaar te houden, is frequent onderhoud van havens en geulen noodzakelijk. In 2014 hebben beheerders en beleidsmakers van het Eems-estuarium in een samenwerkingsovereenkomst 'Ecologie & economie in Balans' afgesproken de slibconcentratie te gaan verminderen. Afgelopen decennia hebben verscheidene meetcampagnes en studies, o.a. voor de Kaderrichtlijn Water, en bestuurlijke overleggen (ook tussen Nederland en Duitsland), al veel inzicht verschaft in de slibproblematiek en in mogelijke oplossingsrichtingen. In 2016 is het programma ED2050 gestart met als doel te werken aan de realisatie van oplossingen voor de hoge slibconcentratie.

Aan de basis van oplossingen hoort een gedegen begrip van de natuurlijke processen te staan. In opdracht van Rijkswaterstaat WVL heeft Deltares sinds 2009 veel kennis ontwikkeld over de slibhuishouding in het Eems-estuarium. In dit syntheserapport wordt deze kennis bijeengebracht en worden aanbevelingen voor verder onderzoek gedaan om te komen tot een dieper begrip en goed onderbouwde oplossingen voor de hoge slibconcentratie in het Eems-estuarium, ten dienste van beleid en beheer. Een overzicht van alle rapporten die in dit kader zijn gepubliceerd, zijn achterin deze rapportage vermeld.

Morfologische ontwikkelingen

Door stormvloeden in de 16^e eeuw is de Dollard ontstaan, waardoor het Eems-estuarium sterk werd vergroot. In de eeuwen daarna is de Dollard verkleind als gevolg van achtereenvolgende inpolderingen. Hierdoor en door verschillende afsluitingen van watergangen werd de verdere morfologische ontwikkeling en ecologische ontwikkeling van het estuarium sterk beïnvloed. Daarnaast hebben getij, wind, golven, zoetwaterafvoer, biota en de mens ook invloed.

Slibconcentratie

De slibconcentratie is vermoedelijk vooral in de 20^e eeuw toegenomen. Metingen uitgevoerd in de periode 1950 – 1990 laten een toename zien, maar deze metingen zijn niet consistent uitgevoerd en de veranderingen kunnen daarom ook niet statistisch worden getoetst. Tussen 1990 en 2011 is de slibconcentratie in het Eems-estuarium verder (en statistisch significant) toegenomen, maar sinds 2012 gestagneerd in de Dollard en het middengebied (met uitzondering van de sedimentconcentraties in de Dollard in de winter – deze blijven toenemen). In de Bocht van Watum en in het buitengebied is de slibconcentratie zelfs licht afgenomen.

sinds 2012. Over de hele periode 1990 - 2020 is de toename van de jaargemiddelde slibconcentraties niet meer statistisch significant.

Naast langjarige trends vertonen de slibconcentraties op bijna alle meetpunten in het hele Eems-estuarium grote fluctuaties, vergelijkbaar met patronen in andere Nederlandse kustwateren en de Waddenzee. Deze variaties zijn nog niet verklaard, maar zijn waarschijnlijk gekoppeld aan grootschalige natuurlijke processen, zoals meteorologie.

Oorzaken

Het onderzoek heeft uitgewezen dat de belangrijkste oorzaken van de hoge slibconcentratie zijn 1) de veranderingen in de bodemligging in de afgelopen eeuw, met name als gevolg van vaargeulverdiepingen in Nederland en Duitsland, en 2) de sterke ruimtelijke inperking van het Eems-estuarium.

Door te diepe (vaar)geulen wordt slib makkelijk naar binnen getransporteerd. Door te weinig intergetijdengebieden wordt het aangevoerde slib niet voldoende ingevangen en vastgelegd. Daarnaast leiden zowel de diepe vaargeulen als het verlies aan intergetijdengebieden tot een verminderde demping van het getij, waardoor ook meer slib vanuit zee kan worden aangevoerd. Tenslotte is in de afgelopen eeuw ook de aanvoer van slib vanaf de Waddenzee en de Noordzee naar het Eems-estuarium waarschijnlijk toegenomen als gevolg van de grootschalige afsluitingen in de Waddenzee (Zuiderzee en Lauwerszee).

Interactie tussen Eems-rivier en Eems-estuarium

De in 2018-2019 samen met Duitsland uitgevoerde grootschalige meetcampagne ('EDoM') heeft veel nieuwe inzichten opgeleverd. Zo is gebleken dat bij normale afvoer het Vaarwater naar Emden vermoedelijk slib naar het estuarium exporteert. Slib wordt dan vanaf de Dollard aangevoerd over de Geiseleiddamm. In periodes met hoge afvoer, als de zoutgedreven stromingen sterker worden, wordt er mogelijk wel slib geïmporteerd, via het Vaarwater naar Emden¹, de Eemsrivier in. Met de data uit de meetcampagne kunnen de complexe sedimenttransporten rondom het Vaarwater naar Emden beter begrepen worden.

Oplossingen voor de hoge troebelheid

Door de bovenbeschreven verkregen inzichten in de (natuurlijke) processen is het duidelijk geworden dat oplossingen voor de hoge troebelheid vooral moeten worden gezocht in het creëren van bezinkplaatsen voor slib (binnendijks en buitendijks) en in het onttrekken van slib uit havens en vaargeulen (door het aan land te brengen of ver op de Noordzee te verspreiden).

Sedimentatie en onttrekking in $\text{ton}_{\text{ds}}/\text{j}$

Om het effect van slibonttrekking op de troebelheid te voorspellen, is het belangrijk te weten hoeveel slib er jaarlijks in het estuarium bezinkt of wordt onttrokken. In de Bocht van Watum is sinds het begin van de 20^e eeuw ongeveer een half miljoen ton droge stof (ton_{ds}) slib per jaar afgezet. Daarnaast bezinkt ook jaarlijks veel sediment (ca 1 miljoen ton_{ds}) op het Emshornwad, op de overgang tussen het Eems-estuarium en de Duitse Waddenzee. Daarbovenop is in de periode 2016-2020 ongeveer een half miljoen ton/jaar meer uit de Eemsrivier onttrokken dan eerdere schattingen aangaven, namelijk in totaal ~2,5 miljoen m^3 slib per jaar (ongeveer 1,25 miljoen $\text{ton}_{\text{ds}}/\text{j}$). Ook was eerder niet bekend dat er 1 miljoen slib op het Emshornwad bezonk. In totaal wordt er dus elk jaar 1,5 miljoen ton_{ds} slib per jaar onttrokken of afgezet en in de periode 2016-2020 nog eens 1,25 miljoen ton_{ds} per jaar daarbovenop. Dit impliceert ook dat de invloed van het onttrekken van slib op de troebelheid minder groot is dan eerdere studies suggereerden. Hierin werd berekend dat het continu onttrekken van het in alle havens en

¹ Een deel van het slib dat over de Geiseleiddamm in het Vaarwater naar Emden terecht komt, wordt stroomopwaarts de Eemsrivier op getransporteerd. Door verdiepingen van de Eemsrivier is de getijslag toegenomen, waardoor meer slib naar binnen wordt gepompt en het schoonspoelen van de rivier bij hoge rivierafvoer minder effectief is geworden. De import van slib heeft geresulteerd in een vergladding van de rivier en minder getijdemping, waardoor het getij nog verder kon opslingeren. Dit is een zichzelf versterkend effect.

vaargeulen sedimenterende slib op termijn zou leiden tot een verlaging van de troebelheid met ordegrrootte 50%. Deze verlaging zal conform de nieuwe inzichten kleiner zijn. Wel is nog steeds de verwachting dat het langdurig onttrekken van 1 miljoen ton_{ds}/j op termijn tot een structurele verlaging van de slibconcentratie in het Eems-estuarium zal leiden.

Effect van slibonttrekken op de trilaterale Waddenzee

Het slib dat vanaf de Noordzee (netto) naar de trilaterale Waddenzee wordt aangevoerd, wordt afgezet op luwe plekken en op kwelders. Op de schaal van de trilaterale Waddenzee is er hierdoor geen overschot aan slib. Lokaal, zoals in het Eems-estuarium, is er wel een overschot aan slib. De vraag of onttrekkingen van slib aan het Eems-estuarium (om het overschot te verminderen) invloed hebben op de slibdynamiek in de gehele trilaterale Waddenzee én op het meegroeivermogen, is echter hiermee nog niet beantwoord. Evident is dat het effect op de trilaterale Waddenzee afhankelijk is van de grootte en de duur van onttrekken van slib. De onttrekkingen uit het Eems-estuarium en de invang van slib op kwelders (in tegenwoordig afgedamde gebieden, zoals de voormalige Zuiderzee, Lauwerszee en de Dollard) waren vroeger veel groter dan tegenwoordig. Het effect van de voorgenomen onttrekkingen vallen daarmee ruimschoots binnen de historische variatie van de beschikbaarheid van slib in de trilaterale Waddenzee. Inzicht in de historische fluctuaties in de kustlangse slibstroom én in de historische slibsedimentatie in het Eems-estuarium is van belang om de relatieve grootte van het effect van slibonttrekkingen in het Eems-estuarium goed in te kunnen schatten.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
1.1	Aanleiding en probleemstelling	8
1.2	Wettelijke kaders en bestuurlijk proces	9
1.3	Belang van slib	9
1.4	Leeswijzer	11
2	Het Eems-estuarium door de eeuwen heen	12
2.1	Naamgeving geulen en platen Eems-estuarium	12
2.2	Grootschalige en lange-termijn morfologische ontwikkeling van het estuarium	13
2.3	Vaargeulverdiepingen in de afgelopen decennia	17
2.4	Hoe de slibconcentratie in het water in de afgelopen decennia is veranderd	19
2.5	Wat zijn de verwachtingen voor de toekomst?	23
3	Waardoor veranderingen in de slibconcentratie zijn opgetreden	24
3.1	Vaargeulverdiepingen	24
3.2	Onderhoudsbaggerwerk	26
3.3	Uitwisseling tussen het estuarium en de Eemsrivier	28
3.4	Slibsedimentatie en onttrekkingen van slib	30
3.4.1	Belang van inzicht in de slibbeschikbaarheid	30
3.4.2	Slibbalans	31
3.4.3	Effect onttrekken slib op vertroebeling	34
3.4.4	Aanvoer van slib vanaf de Waddenzee en Noordzee	35
3.5	Synthese: wat hebben we de afgelopen jaren geleerd?	36
4	Hoe we de vertroebeling kunnen verminderen	38
4.1	Toevoegen bezinkplaatsen voor slib of onttrekkingen	39
4.2	Vaargeuldiepte verkleinen	41
4.3	Uitwisseling tussen het estuarium en Eemsrivier verkleinen	41
5	Conclusies en aanbevelingen	43
5.1	Conclusies	43
5.2	Aanbevelingen	43
6	Producten uitgebracht i.k.v. KPP Eems-Dollard	45
7	Referenties	47

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en probleemstelling

In de Kaderrichtlijn Water (KRW) moet de juiste waterkwaliteit en een goede ecologische toestand worden gerealiseerd in 2027. De slibhuishouding is van belang voor de KRW, omdat slib direct en indirect invloed uitoefent op de goede ecologische toestand. vertroebeling kan een sturende factor zijn voor algen in de waterkolom, maar ook voor onderwatervegetatie als zeegras en voor het voorkomen van filtrerende bodemdieren.

Op basis van de verschillende studies uitgevoerd binnen het 1^e tranch KRW-maatregelpakket (zie Taal et al. (2015) voor een overzicht) uitgevoerd door Deltares in de periode 2011-2015, is vastgesteld dat de slibconcentraties in het Eems-estuarium te hoog zijn voor een goede ecologische toestand. Deze hoge concentraties zijn veroorzaakt door diverse ingrepen in het systeem, zoals de verdieping van geulen (waardoor sediment landwaarts wordt getransporteerd), aanleg van havens (waardoor gebaggerd en verspreid moet worden) en door landaanwinningen (waardoor natuurlijke bezinkplaatsen zijn verdwenen). In de Eemsrivier is de toestand het slechtst, met zeer hoge slibconcentraties en perioden van zuurstofloosheid. Ook in het middengebied zijn er zorgen over de vertroebeling. In de mondingszone is de primaire productie afgenomen door de afname van de nutriëntenlast (Brinkman et al. 2014). Daar zijn de nutriënten limiterend voor de algenproductie en niet de lichtcondities. In het middengedeelte en de Dollard zijn de lichtcondities wel limiterend voor de algengroei (primaire productie), de basis van het voedselweb. Om een goede ecologische toestand te kunnen bereiken, moet daarom de vertroebeling worden verminderd. Door de negatieve effecten op de ecologie wordt de verhoogde sliblast als probleem beschouwd (IenM & Provincie Groningen, 2015).

De totale biomassa aan bodemfauna in het Eems-estuarium is aanzienlijk lager dan in de rest van de Waddenzee (Compton et al. 2013). In het middendeel van het Eems-estuarium is de totale biomassa aan bodemfauna afgenomen en is een verschuiving vastgesteld van tweekleppigen (strandgaper, kokkel) naar slibtolerante bodemfaunasoorten zoals borstelwormen, slakken en het Wadkreeftje (Compton et al. 2017). Op Hond-Paap werd vroeger veel zeegras en mosselbanken gevonden, maar deze zijn in de loop van de tijd sterk achteruitgegaan en bijna helemaal verdwenen (Baptist & Geelhoed, 2016). Voor de Natura2000 verbeterdoelstelling en KRW is het voorkomen van mosselbanken en zeegrasvelden een kenmerkend onderdeel van een goede structuur en functie van het habitat.

Door IenM & Provincie Groningen (2015) is de ambitie uitgesproken om minimaal 1 miljoen ton slib op jaarbasis te onttrekken, om daarmee de vertroebeling te verminderen. Dit advies wordt opgepakt in het programma ED2050, een samenwerkingsverband van private en publieke partijen in het Eems-estuarium, dat als doel heeft om de ecologische status van het Eems-estuarium te verbeteren en meer in balans te brengen met de economische belangen. Hieruit zijn diverse initiatieven ontstaan gericht op het onttrekken van slib (zoals de kleirijperij, de dubbele dijk, ophogen landbouwgronden). Parallel aan deze initiatieven zijn diverse studies uitgevoerd om onze kennis van het estuarium te verbeteren (gericht op morfologische veranderingen, baggeren, en vertroebeling).

Het doel van deze rapportage is om het conceptueel beeld van de fysische werking van het Eems-estuarium (zoals vastgesteld in de 1^e tranch KRW-maatregelen) aan te vullen en daar waar nodig te herzien op basis van de vernieuwde inzichten verkregen door het onderzoek uitgevoerd in de 2^e tranch van KRW-maatregelen (2016-2022). Ook plaatsen we de in ED2050

tot doel gestelde extra onttrekking van 1 miljoen ton droge stof per jaar in perspectief van de andere slibstromen in en naar het estuarium.

1.2 Wettelijke kaders en bestuurlijk proces

In de Kaderrichtlijn Water (KRW, in werking sinds 2000) zijn door de Europese Commissie bindende kaders voor de bescherming en duurzaam gebruik van oppervlaktewater beschreven. Hierbij moet de juiste waterkwaliteit en een goede ecologische toestand worden gerealiseerd in 2027. De 1^e tranch van het KRW-maatregelenpakket bevatte de financiering van de eerste serie slibonderzoeken in het Eems-estuarium (2011-2015).

In 2010 is door Nederland en Duitsland gestart met het opstellen van een Integraal Management Plan (IMP), wat in 2016 gereed was. Het IMP bevat een gezamenlijk toekomstbeeld voor de bescherming van de natuur in het estuarium. Tijdens het opstellen van het IMP is in Duitsland het Masterplan Ems 2050 opgesteld en in Nederland is het MIRT-traject (Meerjarenprogramma voor Infrastructuur, Ruimte en Transport) doorlopen. In het MIRT-traject (2014-2015) zijn een probleemanalyse én oplossingsrichtingen opgesteld.

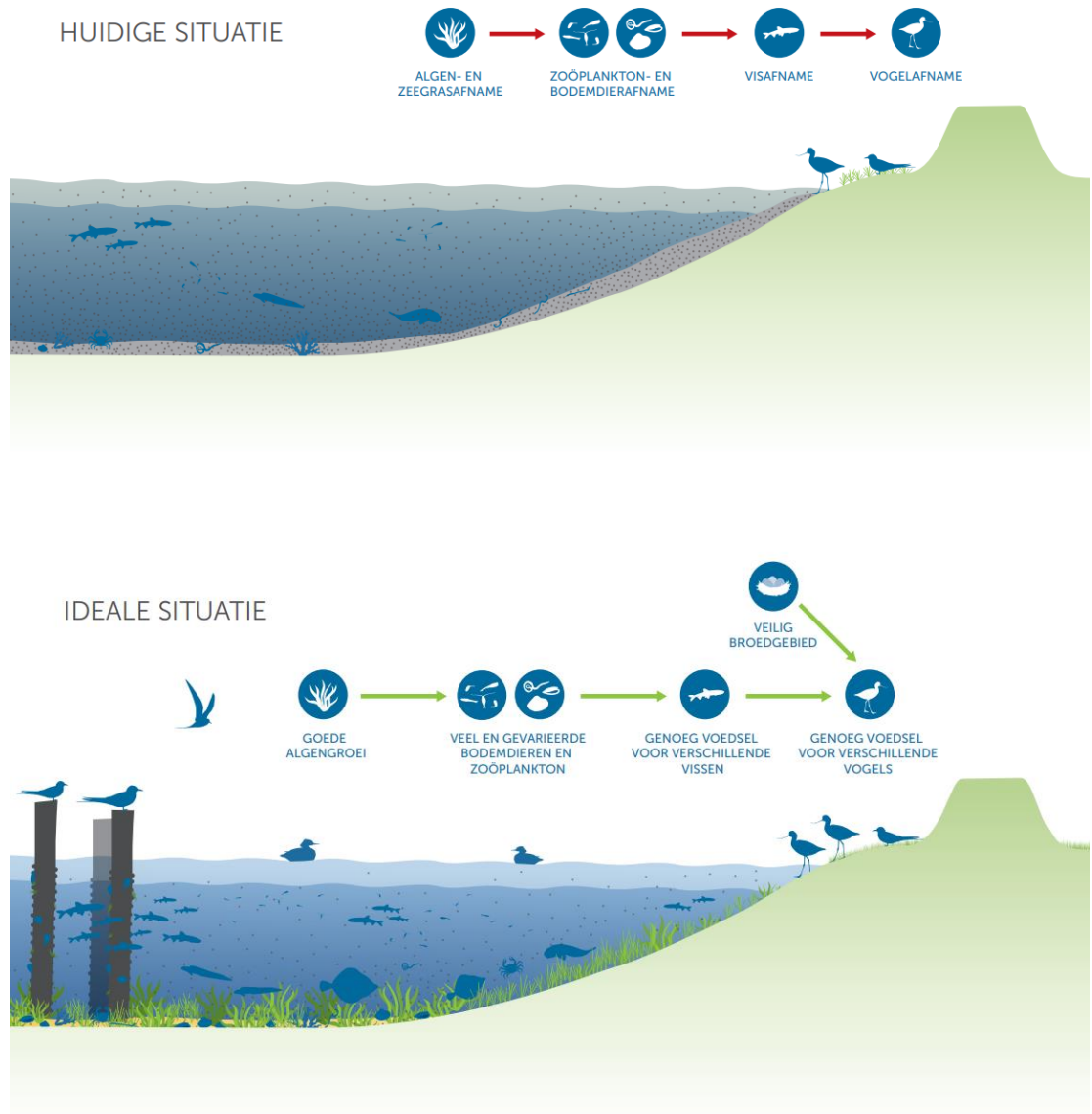
In het samenwerkingsverband Ecologie & Economie in balans werken sinds 2014 verschillende partijen (overheden, bedrijfsleven, natuurorganisaties) samen aan het verduurzamen van de economische groei en het verbeteren van de natuur. Deze partijen hebben voorgesteld ook aan het Eems-estuarium, als onderdeel van de Waddenzee, een Natura2000-status toe te kennen. In 2016 is het Eems-estuarium dan ook aangewezen als Natura2000-gebied, waarbij een verbeteringsdoelstelling is opgelegd.

In 2016 werd ook het Meerjarig Adaptief Programma Eems-Dollard 2050, dat volgde uit de samenwerking Ecologie en Economie in balans, gestart. Het rijk en de regio Groningen, verenigd in dit programma ED2050, werken aan het vergroten van het systeembegrip én aan verbetermaatregelen. Het programma heeft de ambitie om jaarlijks 1 miljoen ton slib (droge stof) te onttrekken uit het Eems-estuarium om de slibconcentratie te verlagen (van Es, 2021).

1.3 Belang van slib

Slib is fijn sediment, dat in de Nederlandse kustgebieden alom aanwezig is. Het zit in de *waterkolom* als 'zwevende stof' en wordt afgezet op de *bodem*. Daar kan het weer worden opgewoeld door stroming en golven. Zwevende stof bestaat uit zeer fijn zand (silt), kleideeltjes, algen en dood organisch materiaal. In de waterkolom zwevend slib beïnvloedt de hoeveelheid licht die in de waterkolom kan doordringen. De hoeveelheid licht is van belang voor de primaire productie, de algengroei die de basis van het voedselweb vormt en daarmee doorwerkt naar andere organismen, zoals schelpdieren die algen uit het water filteren en zelf door vogels worden gegeten. Hoge concentraties zwevend slib vormen een belemmering voor zichtjagers, bijvoorbeeld vissen en visetende vogels, en voor filtrerende organismen (Figuur 1-1). Toxische stoffen hechten aan slib, worden met het slib door het Eems-estuarium verspreid en kunnen in slibrijke gebieden accumuleren.

Slib in de bodem heeft ook invloed op de ecologie via benthische algen (microfytobenthos), die zich het best ontwikkelen op slibrijke droogvallende platen waar genoeg nutriënten voorhanden zijn en die voldoende nat blijven als de platen droogvallen. Deze algen zijn een belangrijke voedselbron voor bodemdieren als slakken en andere grazers. Bovendien leggen de benthische algen in en rondom de zomerperiode slib vast op de bodem, waardoor er (tijdelijk) minder erosie optreedt en dus minder slib in de waterkolom terecht komt.



Figuur 1-1 Illustratie van de huidige, ecologisch arme staat van het Eems-estuarium en het streefbeeld (ideale situatie) met lagere troebelheid, meer primaire productie en daarmee betere ecologische status (Schmidt et al. 2018).

Zand en slib sedimenteren en eroderen. Omdat slib zich vooral afzet in luwere gebieden, zijn er slibarme en slibrijke bodems in het Eems-estuarium. Geulen zijn veelal zandig vanwege de hoge stroomsnelheid, getijdenplaten zijn soms zandig en soms slibrijk, kwelders zijn altijd slibrijk. In het Eems-estuarium zijn kwelders met name aanwezig in de Dollard. Kweldervegetatie bevordert het invangen van slib, doordat het de stroming afremt en de bodem beschermt bij stormen. Doordat slib een belangrijke bijdrage levert aan het meegroeien van slibrijk intergetijdengebied (afhankelijk van de hydrodynamische dynamiek) en de kwelders met relatieve zeespiegelstijging, is slib op de lange termijn van belang voor de geomorfologische ontwikkeling en voor de hoogwaterveiligheid. Zandige intergetijdengebieden zullen bij gelijkblijvende stromingscondities niet meegroeien met de zeespiegelstijging door sedimentatie met slib, maar wel bij voldoende beschikbaarheid van zand.

In het Eems-estuarium is er overlast van slib door de hoge troebelheid en de hoge aanslibbing in havens en vaargeulen. Om de toegankelijkheid van de havens te garanderen, moet slib in de vaargeulen en havens gebaggerd worden, waarna het elders in het estuarium wordt

verspreid (of in Duitsland wordt onttrokken). In ED2050 wordt gewerkt aan het nuttig toepassen van dit slib. Door het aan land brengen wordt er netto slib aan het systeem onttrokken, met als doel de vertroebeling te verlagen. Het gewonnen slib wordt vervolgens nuttig toegepast door bijvoorbeeld het ophogen van land of het versterken van dijken.

1.4 Leeswijzer

Het rapport begint met twee kaarten met daarop de namen van de geulen en plaatgebieden. Vervolgens beschrijven we hoe het Eems-estuarium zich over het afgelopen millennium morfologisch heeft ontwikkeld: van smalle getijdenrivier naar een zeer groot estuarium en geleidelijk aan weer terug in omvang tot haar huidige vorm. De laatste decennia spelen vaargeulverdiepingen een steeds grotere rol. Deze grootschalige en lange termijn veranderingen vormen de opmaat naar de beschrijving van de veranderingen in vertroebeling. Hoofdstuk 2 sluit af met wat we voor de toekomst kunnen verwachten.

Hoofdstuk 3 gaat in op welke processen hebben geleid tot een toename in de slibconcentratie in het Eems-estuarium. We bespreken de vaargeulverdiepingen, het onderhoudsbaggerwerk en de uitwisseling met de zeer troebele Eemsrivier. De slibbalans, in wezen een boekhouding voor slib voor een afgebakend gebied, is een belangrijk middel om meer inzicht te krijgen over hoe de slibhoeveelheden in het Eems-estuarium over de tijd zijn veranderd. Hoofdstuk 3 sluit af met een samenvatting van de belangrijkste nieuwe inzichten in de processen die invloed hebben op de sedimentconcentraties in het estuarium.

In hoofdstuk 4 passeren mogelijke oplossingen de revue. Het geeft een overzicht van oplossingen, waarvan de meesten het afgelopen decennium zijn getoetst op effectiviteit met een numeriek slibmodel van het Eems-estuarium.

Hoofdstuk 5 vormt beknopte conclusies en aanbevelingen.

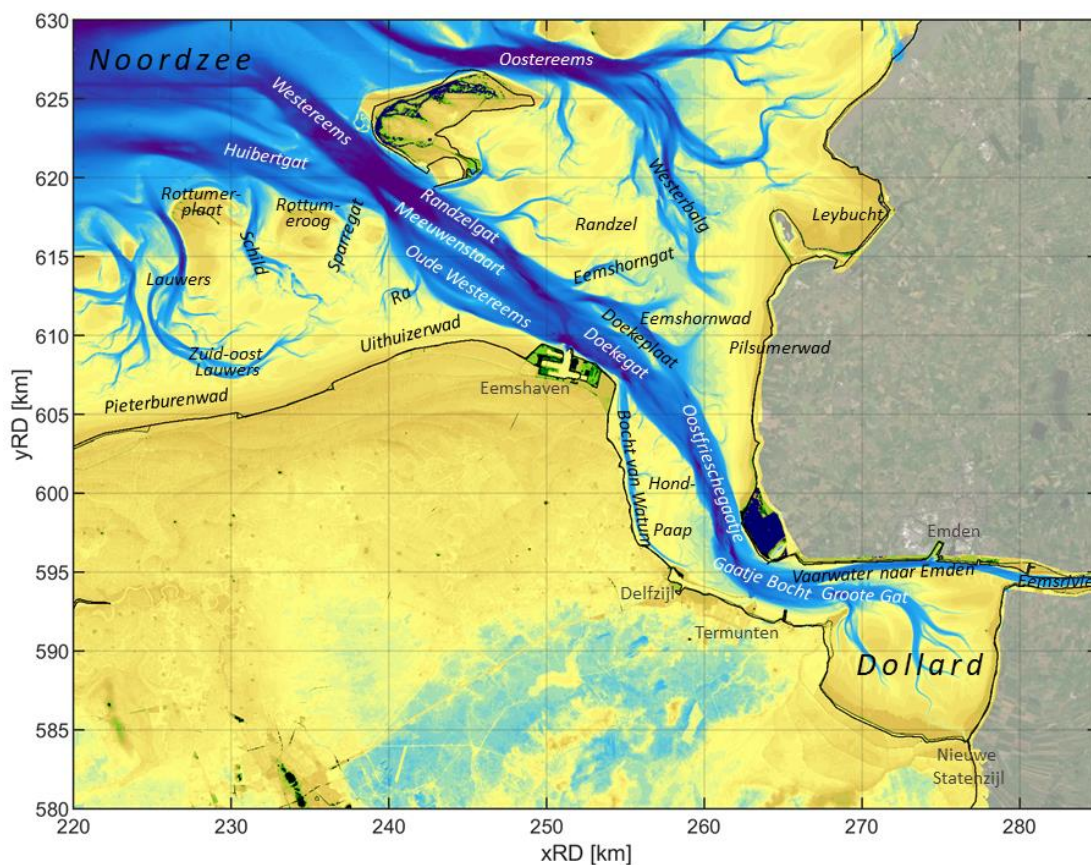
Afsluitend zijn alle rapporten die binnen KPP Eems (de samenwerking tussen Deltares en Rijkswaterstaat) zijn verschenen op een rijtje gezet.

2 Het Eems-estuarium door de eeuwen heen

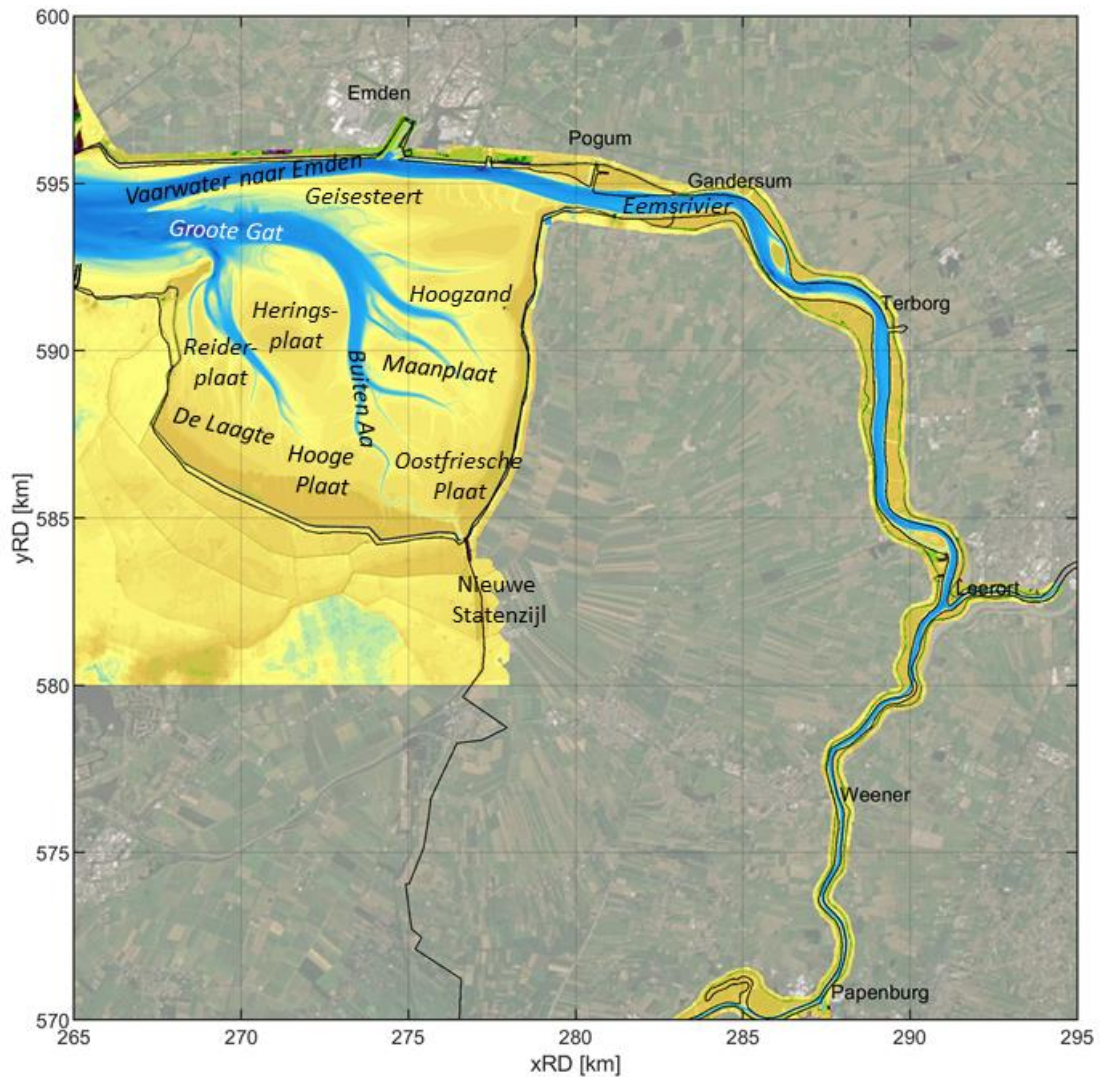
2.1 Naamgeving geulen en platen Eems-estuarium

Het Eems-estuarium 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). 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 ook nu nog vindt veel uitwisseling plaats over het relatief lage wantij.

De Dollard is een relatief ondiep gedeelte met grote droogvallende platen omringd door kwelders (Figuur 2-2). Aan de noordzijde wordt de Dollard begrensd door de Geiseleiddamm met daarachter het Vaarwater naar Emden, die verderop overgaat in de Eemsrivier. Bij Nieuw-Statenzijl mondt de Westerwoldse Aa, een klein riviertje, door middel van sluizen uit in de Dollard. De Eemsrivier wordt beïnvloed door het getij tot aan de stuw bij Herbrum. Stroomafwaarts van Herbrum wordt de Eemsrivier 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 Eems-estuarium.



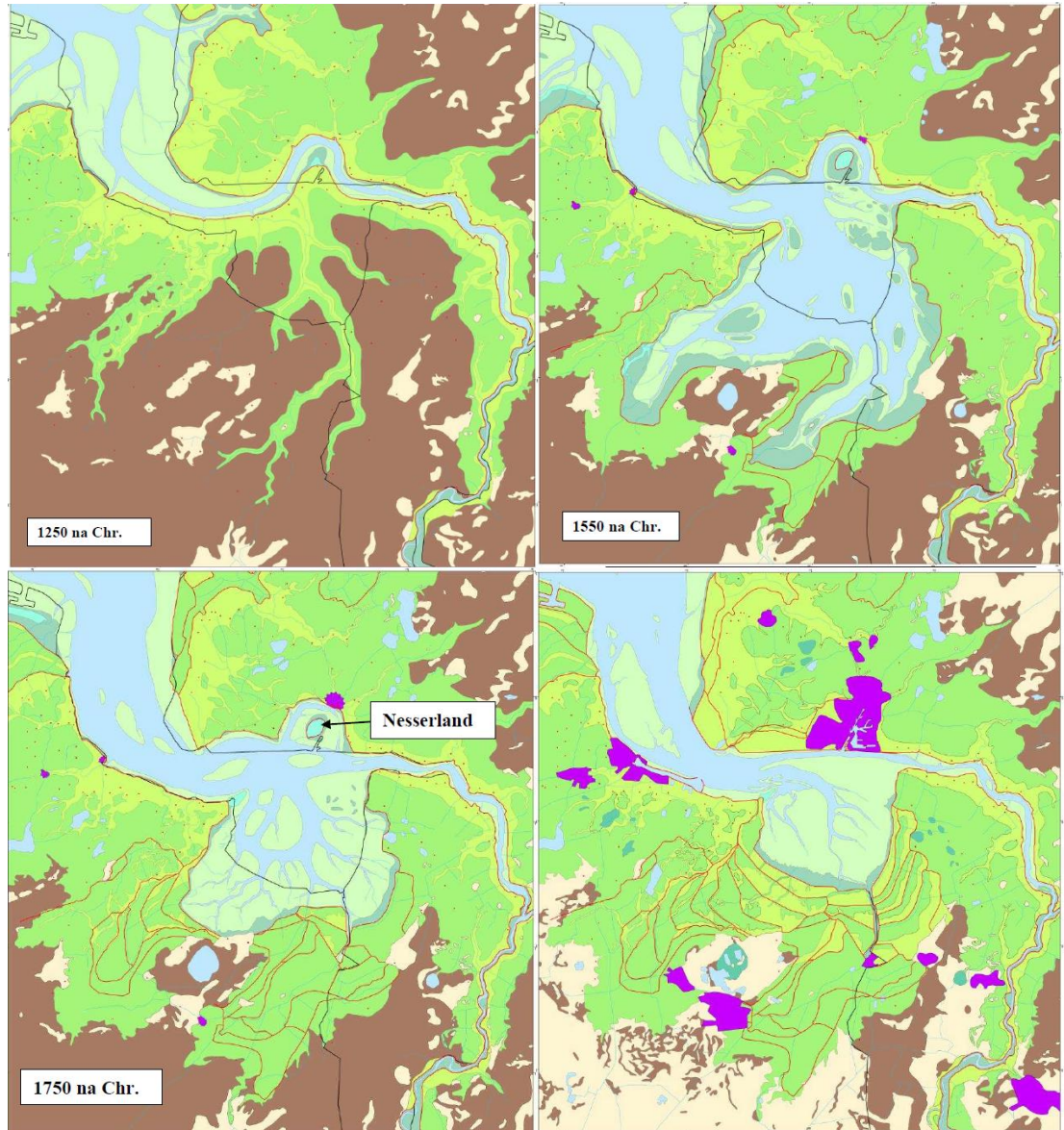
Figuur 2-2 Naamgeving van geulen, platen en plaatsen in de Dollard en de Eemsrivier. Bodemligging in de Dollard van 2019/2020 en in de Eemsrivier van 2005.

2.2 Grootschalige en lange-termijn morfologische ontwikkeling van het estuarium

Het Eems-estuarium was rond 1250 na Chr. een geleidelijke overgang tussen de Eemsrivier en de Noordzee, die meanderend en smal was (Figuur 2-3). Al vanaf circa 1000 na Chr. werd het gebied bedijkt, omdat door ontginning van het veengebied de bodem daalde, en daardoor het risico op overstromingen toenam. Ook na bedijking ging de bodemdaling door, waardoor de gevolgen van mogelijke dijkdoorbraken steeds groter werden. Het gevolg was dan ook gigantisch toen rond 1550 door een serie stormvloedden de Dollard werd gevormd.

Door deze nieuwe grote komberging van het estuarium, schuurden geulen diep uit om de grote hoeveelheden water die met het getij naar binnen en buiten stroomden, te accommoderen. Daarbij kwam ook veel fijn sediment naar binnen, dat zich aan de luwere, landwaartse uiteinden van het estuarium afzette: de verlanding begon. Het land hoogde gestaag op, totdat het hoog genoeg was om weer te kunnen worden ingepolderd. Als gevolg daarvan werden tot aan 1981 (Polder Breebaart) grote delen van de Dollard (en ook grote delen van de Waddenkust) geleidelijk aan weer ingepolderd (Figuur 2-4). Het proces van sedimentatie en

verlanding zet door, maar de Dollard is sinds de jaren 1960 nauwelijks meer opgehoogd. De oorzaak van de afwezigheid van sedimentatie in de Dollard is (nog) niet vastgesteld.



Figuur 2-3 Het ontstaan van de Dollard gevolgd door landaanwinningen. Uit: Vos & Knol (2009).

De hierboven geschetste ontwikkeling is illustratief voor de grote hoeveelheden fijn sediment die altijd al naar het Eems-estuarium zijn aangevoerd en daar zijn bezonken. Omdat de mens gebieden inpolderde die zich al ver hadden opgehoogd, volgde de mens hier de natuurlijke ontwikkeling. Wel beïnvloedden de bedijkingen de respons op de zeespiegelstijging en de stijging van het gemiddeld hoogwater. De bedijkte gebieden zijn immers blijvend afgesloten en vormen hiermee een vaste begrenzing van het estuarium. Daardoor wordt met een stijging van de waterspiegel het estuarium gemiddeld dieper en niet breder. Deze vormverandering heeft op haar beurt weer invloed op de getijvoortplanting en werkt uiteindelijk door in de morfologische respons.



Figuur 2-4 Landaanwinningen en bedijkingen in het Eems-estuarium. Aangepast van: brochure *Morfologische veranderingen RWS*.

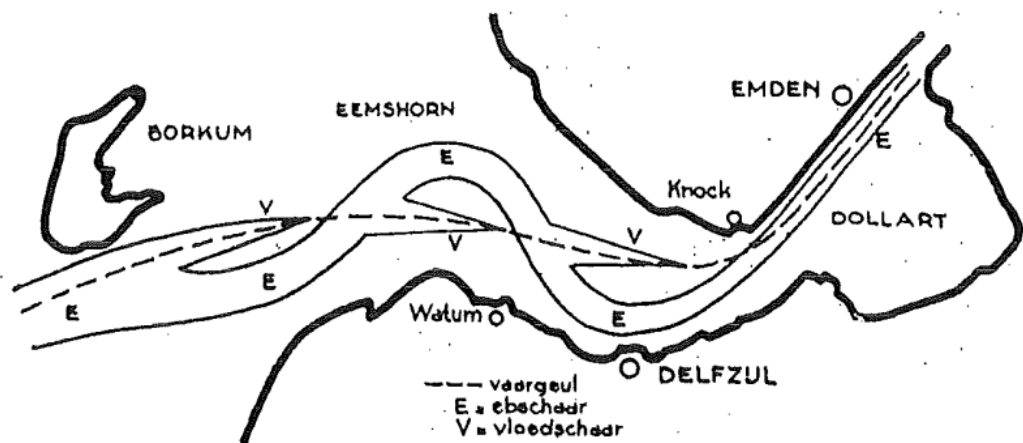
Oude historische kaarten tonen hoe het Eems-estuarium zich de afgelopen twee eeuwen heeft ontwikkeld (Figuur 2-5). Bij een natuurlijk (groot) estuarium verwachten we een meergeulensysteem met schakels van parallelle eb- en vloedscharen. Aan het eind van de vloedscharen vormen zich zandige drempels. De locaties van de scharen en de punten waar deze samenkomen, worden voor een belangrijk deel gestuurd door de aanwezigheid van harde lagen in de ondergrond (Pierik et al. 2019). Deze harde lagen bestaan uit oude kleiafzettingen, die zeer moeilijk of langzaam eroderen. Waar deze lagen in de ondergrond aanwezig zijn, wordt de natuurlijke verdieping van geulen tegengehouden, waardoor ze breder worden. Waar geen harde lagen aanwezig zijn, kunnen door erosie diepe geulen of kuilen ontstaan.

Rond 1812 zijn de eb/vloedschaarsystemen in het Eems-estuarium duidelijk waarneembaar (Figuur 2-5). De Bocht van Watum vormde de hoofdgeul. De historisch grote omvang van de Dollard en de geleidelijke opvulling ervan werkte nog lange tijd door op de benedenstroomse morfologie (Van Maren et al. 2017a). Zowel door de geleidelijke verkleining van de Dollard, als door een verruiming van het Doekegat wordt de verbinding met de Oostereems zwakker en vult de Bocht van Watum langzaam op. Door baggerwerken wordt de drempel aan het einde van het Doekegat (versneld) opgeruimd, waardoor de Bocht van Watum sneller smaller wordt (Gerritsen, 1952; Vroom et al. 2022). Ook het baggeren van de drempel bij Knock leidt ertoe dat de Bocht van Watum een secundaire functie als ebschaar krijgt, met drempels aan beide uiteinden (Van Veen, 1950). De forse sedimentatie in het Oost-Friesche Gaatje wordt met baggerwerken en de aanleg van geleidedammen tegengegaan. Doordat de Bocht van Watum smaller wordt, breidt de plaat Hond-Paap zich in westwaartse richting uit. Na 1949 zet deze morfologische ontwikkeling zich verder door. Door het stoppen met baggeren van de Bocht van Watum wordt deze nu ook ondieper. Omdat het Oost-Friesche Gaatje op diepte wordt

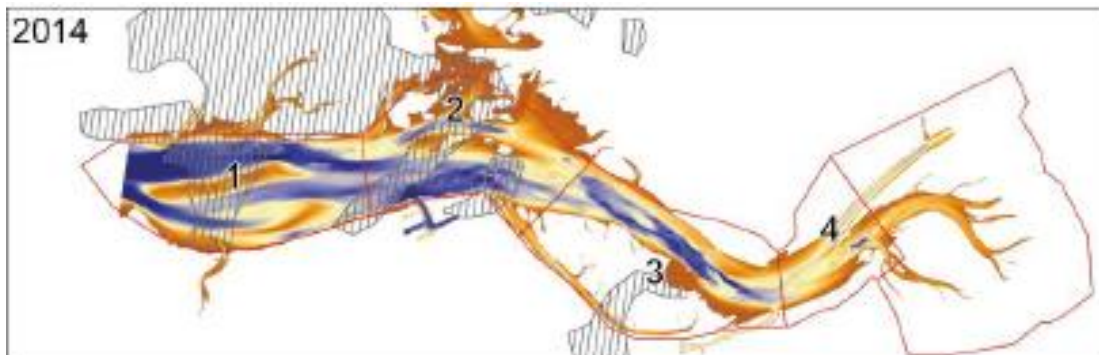
gehouden en de baggerspecie wordt verspreid in de Bocht van Watum wordt de opvulling met voornamelijk slib verder versneld.



Figuur 2-5 Bodemkaarten van 1812, 1901 en 1949 uit Gerritsen (1952). Op de kaarten zijn de eb-/vloedschaarsystemen, zoals beschreven door Van Veen (1950), ingetekend. De vloedscharen zijn recht en aangegeven met blauwe pijlen. De ebgeul vormt een doorlopende, meanderende geul en is aangegeven met oranje. Aan het landwaartse uiteinde van de vloedscharen bevinden zich drempels, die hinderlijk zijn voor de scheepvaart.



Figuur 2-6 Schakels van eb- en vloedscharen in het Eems-estuarium. Uit: Van Veen (1950).



Figuur 2-7 De ligging van ondiepe harde Pleistocene lagen zijn grijs gearceerd weergegeven op de bathymetrie van 2014 (uit Pierik et al. 2019).

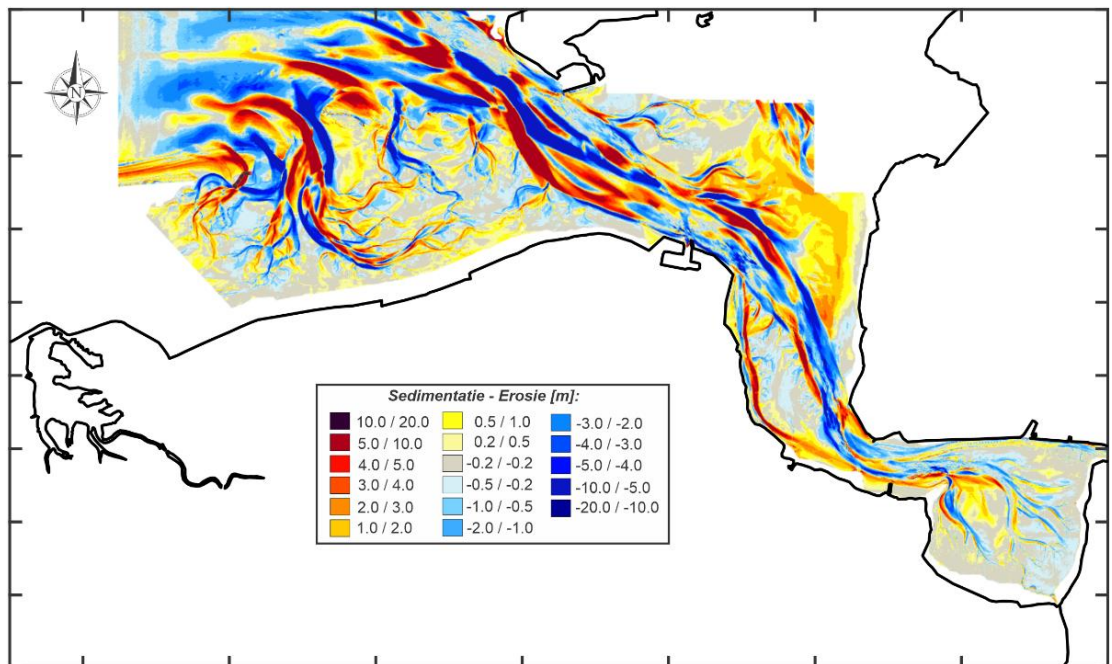
2.3 Vaargeulverdiepingen in de afgelopen decennia

In de vorige paragraaf kwam de rol van vaargeulverdiepingen al even aan bod. De eerste baggerwerkzaamheden (1898) concentreren zich rond het Oostfriesche Gaatje, het Vaarwater naar Emden en in de bovenstroomse delen van de Eemsrivier (tussen Leerort en Papenburg). De Eemsrivier werd in de 19^e eeuw al gekanaliseerd en verkort door het afsnijden van geulmeanders. In de loop van de 20^e eeuw intensiverden de baggerwerken en breidden ze zich in benedenstroomse richting uit. Begin jaren 1970 is de haveningang van Delfzijl heringericht en is de Eemshaven aangelegd. In het Waddengedeelte van het estuarium is de vaargeul verlegd van de Oude Westereems naar het Randzelgat en van het Huibertgat naar de Westereems. Heel recent is ook de vaargeul tussen Eemshaven en de Noordzee verder verdiept en verbreed. Een overzicht van alle gedocumenteerde vaargeulverdiepingen is beschikbaar in Vroom et al. (2022).

Rond 1950 was de diepte van het Oost-Friesche Gaatje zo'n 12,5 tot 14 meter onder NAP (Gerritsen, 1952) en de diepte van het Vaarwater naar Emden zo'n -10 m NAP. Tegenwoordig ligt het Oost-Friesche Gaatje zo'n 14 tot 15 m onder NAP. Digitale bodemkaarten zijn pas beschikbaar sinds 1989, en daardoor kunnen de veranderingen in bodemhoogte voor die tijd minder goed gekwantificeerd worden. Ook de streefdieptes in het Oostfriesche Gaatje in de jaren 1950-1990 zijn niet gerapporteerd. Pierik et al. (2019) rapporteert een verruiming van de geulen in het gehele estuarium tussen 1953 en 1985 van ca. 200 miljoen m³, dit komt overeen met een verlaging van de bodemligging in deze geulen van circa 1 meter. Uit de rapportage van de baggercijfers (Vroom et al. 2022) blijkt tussen 1960 en 1970 een ruime verdubbeling van het baggerbezwaar in het estuarium tussen de Noordzee en Emden (inclusief de havens) van minder dan 5 miljoen m³ per jaar tot 11 miljoen m³/j, een forse toename van de baggerinspanning die waarschijnlijk ook wijst op diepere geulen.

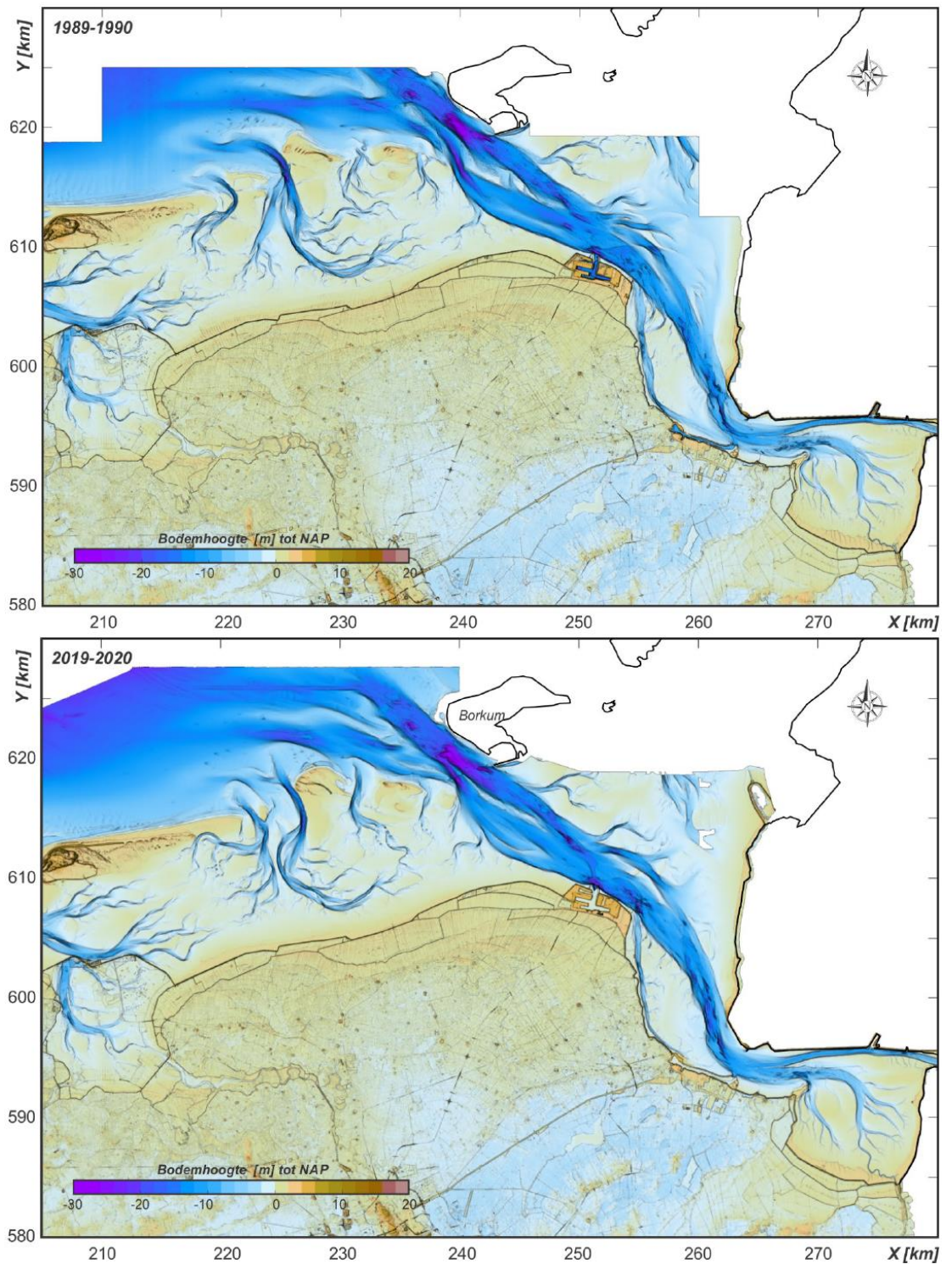
Een andere manier om morfologische veranderingen in een estuarium inzichtelijk te maken, is via de getijslag. De waterstanden in een estuarium worden bepaald door de vorm (breedte, diepte) van het estuarium, die de reflectie en de demping van de getijgolf bepalen. Veranderingen in de morfologie werken dus door op de getijvoortplanting. Dit komt duidelijk naar voren in de opslinging van het getij: dat is de getijslag op een bepaald station gedeeld door de getijslag in de monding (Figuur 3-2). Uit de getijopslinging blijkt dat tussen Borkum en Knock er weinig veranderingen in de getijslag zijn opgetreden sinds 1950. Uit getij-analyse van de waterstanden bij Delfzijl (Vroom et al. 2012) blijkt dat de getij-asymmetrie bij Delfzijl is verschoven van piekvloeddominant (dus hoogste snelheidspieken tijdens vloed) naar hoogwaterkentering. Dat laatste is belangrijk voor het transport van fijn sediment, maar deze verandering in getij-asymmetrie is tot op heden niet verder onderzocht voor het Eems-estuarium.

Recente bodemkaarten (1989-2020, zie Figuur 2-9) laten vooral geulmigratie zien tussen Borkum en Eemshaven, en flinke sedimentatie op het Emshornwad (nabij het wantij tussen de Westereems en de Oostereems) en in de Bocht van Watum. Het Oostfriesche Gaatje is flink ruimer (breder en dieper) geworden, en ook het noordelijk uiteinde van Hond-Paap is geërodeerd. In de Dollard heeft lichte erosie van de platen plaatsgevonden aan de oostzijde, en lichte sedimentatie op de platen aan de westzijde.



Figuur 2-8 Sedimentatie en erosie tussen 1989 en 2020. Uit Elias et al, 2021.

Deze bodemveranderingen zijn ook uitgesplitst per polygoon door Elias et al. (2021), wat inzicht geeft in de belangrijkste erosie- en sedimentatievolumes. Hier wordt in sectie 3.4 verder op in gegaan.



Figuur 2-9 Bodemkaarten in 1989 en 2019 (Uit Elias et al. 2021).

2.4 Hoe de slibconcentratie in het water in de afgelopen decennia is veranderd

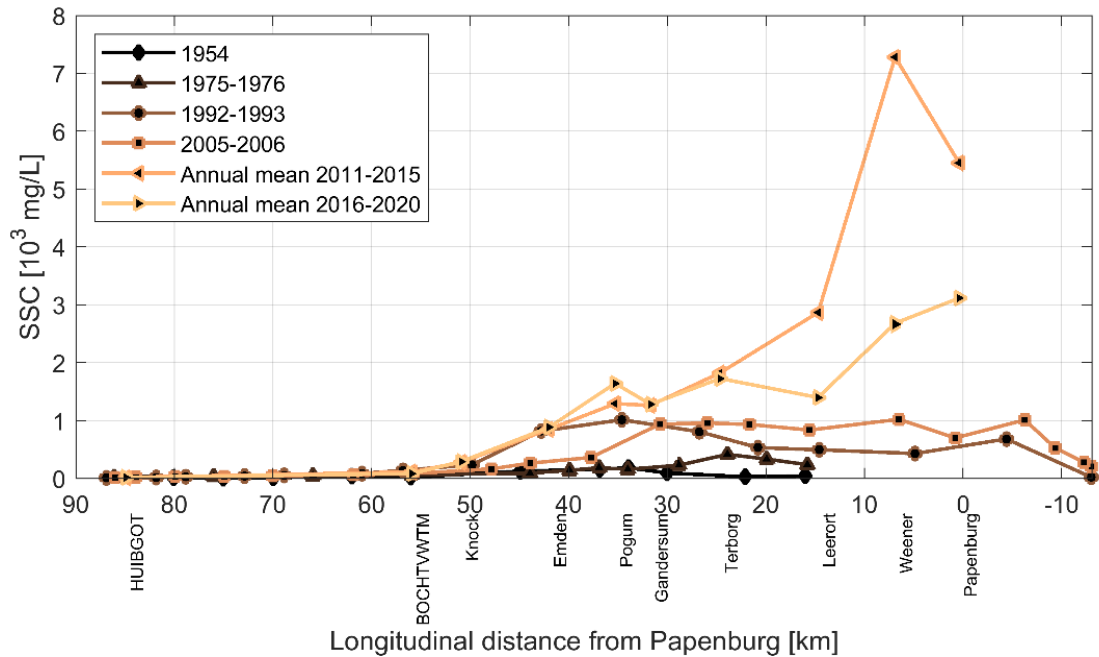
De ontwikkeling van het Eems-estuarium tot heden laat zien dat in de afgelopen eeuw de mens een steeds grotere invloed kreeg op het Eems-estuarium. De slibconcentratie in het Eems-estuarium is hoog. Helaas ontbreken consistente metingen voor de periode tot 1990 waardoor

het zwevend-stofgehalte van ongeveer 100 jaar geleden moeilijk is in te schatten. De reden dat het lastig is de ontwikkeling van de vertroebeling in het estuarium sinds de start van de metingen in de jaren 1950 (wanneer de oudste sedimentconcentratiemetingen beschikbaar zijn - Postma, 1960) te kwantificeren, is de grote natuurlijke variatie in vertroebeling in ruimte en tijd. Sedimentconcentraties worden bepaald door:

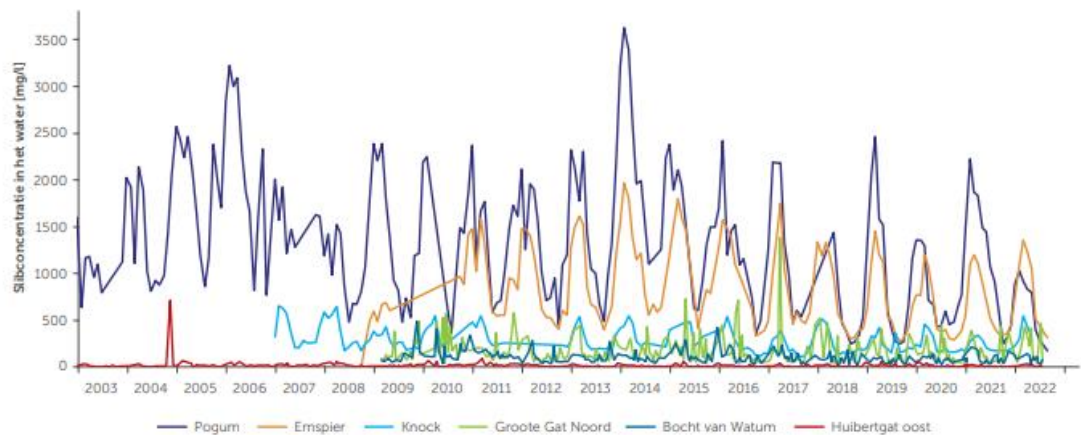
- 1 Het getij: er zijn grote verschillen tussen sedimentconcentraties tijdens hoge stroomsnelheden en tijdens kentering en tijdens springtij en doottij.
- 2 De wind: er zijn grote verschillen tussen sedimentconcentraties tijdens periodes met sterke wind en golven en kalme condities.
- 3 Het seizoen: in de winter zijn de sedimentconcentraties hoger dan in de zomer. Deels komt dat door wind en golven, maar ook verschillende mate van biostabilisatie en (bovenstrooms van Knock) de invloed van de afvoer van de Eemsrivier kan hieraan bijdragen.
- 4 De lokale bodemligging: sedimentconcentraties in geulen verschillen van de sedimentconcentraties op platen. Een punt op dezelfde (x,y)-positie kan door morfologische veranderingen veranderen van een geëxponeerde ligging naar een luwe omgeving.
- 5 De locatie ten opzichte van de grootschalige bodemligging en zoet-zoutgradiënten: In een natuurlijk estuarium nemen de sedimentconcentraties toe vanaf zee richting de rivier tot aan het punt van de zoutindringing, waar zich een troebelheidsmaximum vormt.
- 6 De diepte in de waterkolom: bij de bodem zijn de sedimentconcentraties hoger dan aan het wateroppervlak.

Om de gemeten sedimentconcentraties over tijd met elkaar te kunnen vergelijken, moeten deze zoveel mogelijk in dezelfde getijfase, onder dezelfde wind- en golf forcing, in hetzelfde seizoen, op dezelfde locatie en op dezelfde diepte worden genomen. Sinds 1990 is het zwevend stofgehalte in het estuarium (tussen de monding en Nieuwe Statenzijl) consistent gemeten, dat wil zeggen in min of meer dezelfde fase van het getij en met vergelijkbare monsternamemethodes en labanalyses. In de jaren '80 is al vastgesteld dat (destijds) de sedimentconcentraties in het water van het Eems-estuarium ongeveer 1,5 keer zo hoog waren als in andere estuaria in Nederland en Duitsland (BOEDE, 1985).

In de Eemsrivier is de vertroebeling de afgelopen decennia aantoonbaar toegenomen, vooral rond 1990, toen ook vloeibare sliedlagen ('fluid mud') aan de bodem van de vaargeul ontstonden (Figuur 2-10). Het troebelheidsmaximum is in bovenstroomse richting opgeschoven en heeft zich uitgestrekt over een veel grotere zone (De Jonge, 2014). De sedimentconcentratie bedraagt tegenwoordig meerdere g/l's. Figuur 2-11 laat zien dat de zwevend stofgehalten bij Pogum en Emsspier zeer hoog zijn, en dat er sinds circa 2010 in de Eemsrivier een dalende trend optreedt.



Figuur 2-10 Gesuspendeerde sedimentconcentratie (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).

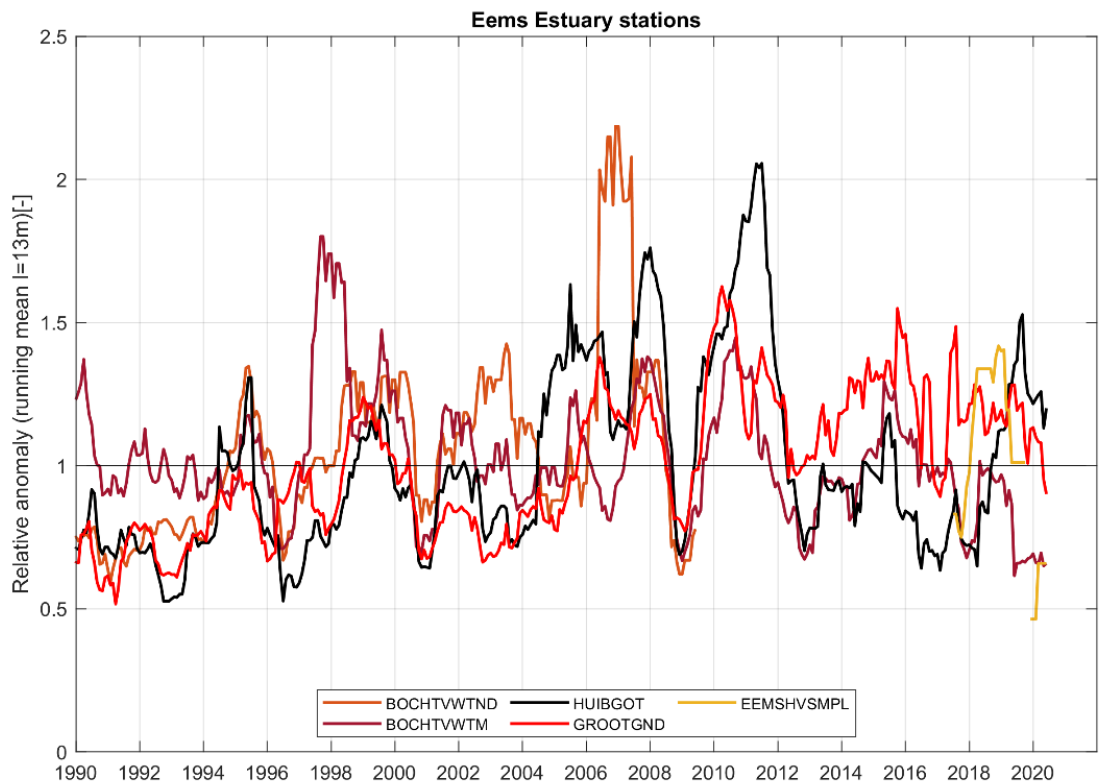


Figuur 2-11 Maandelijks gemiddelde zwevende stofgehalten op verschillende Nederlandse en Duitse stations in het estuarium.

De schaarse metingen die er zijn van vóór 1990 (Postma 1960; Manuels & Rommets, 1972; De Jonge 2014), wijzen op een toename in sedimentconcentratie in het estuarium. De metingen sinds 1990 in het estuarium (MWTL metingen van RWS) zijn in 2012 geanalyseerd en toonden toen een statistisch significante toename van de zwevend stofgehalten (Vroom et al. 2012) over de periode 1990-2011. In 2008 en 2011 waren de zwevende stofconcentraties erg hoog, wat bepalend was voor het vaststellen van een statistisch significante toename over deze periode. In Smits & Van Maren (2021) is de inmiddels langere periode (1990-2020) beschouwd en zijn ook Duitse meetdata van zwevende stof aan de analyse toegevoegd. Uit de nieuwe analyse blijkt dat de trends over de gehele periode minder sterk en niet meer

statistisch significant zijn. Dit komt vooral door het weer licht afnemen van het zwevende stofgehalte na 2011 op de stations Huibertgat Oost en Bocht van Watum.

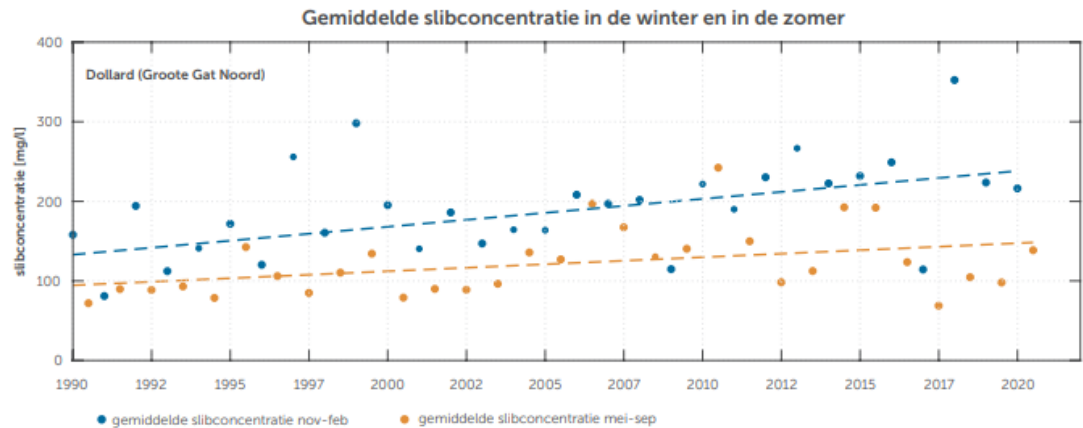
De vertroebeling toont grote fluctuaties (Figuur 2-12), met enkele jaren waarin de vertroebeling veel hoger is geweest dan het langjarig gemiddelde, bijvoorbeeld rond 2008 en 2011. Dit zien we ook in andere Nederlandse watersystemen, zoals de Westerschelde en de Waddenzee (Herman et al. 2018). Ondanks dat het langjarig gemiddelde binnen systemen sterk verschillend is (achterin bekkens en estuaria is het veel troebeler dan bij het zeegat), treden de langjarige fluctuaties binnen een systeem min of meer synchroon op en fluctueren alle stations binnen een factor 2. Er is nog geen verklaring gevonden voor de langjarige fluctuaties in de Nederlandse (kust)wateren. Ze zijn bijvoorbeeld niet te koppelen aan grootschalige ingrepen zoals de aanleg van de Tweede Maasvlakte. Maar gezien grote systemen als de Waddenzee gelijktijdige verstoringen vertonen, is de huidige hypothese dat meteorologische forcering (wind, temperatuur) of biologische processen (variatie in biota die de vertroebeling beïnvloeden, zoals flocculatie door algen, bioturbatie door slijkgarnalen, of biostabilisatie door mossels) hierin een belangrijke rol spelen. Omdat de fluctuaties niet één op één te koppelen zijn aan meer dynamische of kalmere periodes, verloopt de koppeling tussen meteorologie en vertroebeling waarschijnlijk complexer, mogelijk via het tijdelijk opladen en leeglopen van zogenaamde slibbuffers (tijdelijke opslagplaatsen). Om veranderingen in de vertroebeling beter te begrijpen, moet de oorzaak van de fluctuaties beter worden onderzocht.



Figuur 2-12 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).

In het Eems-estuarium zijn momenteel drie MWTL-meetlocaties voor zwevend stof operationeel. Bij Huibertgat Oost (gemiddelde SSC 24 mg/l over 1990-2020) vertoont de tijdserie veel gelijkenis met de Waddenstations, met eenzelfde fasering van pieken in vertroebeling. De zwevend stofconcentratie op dit station wordt dus niet bepaald door de vertroebeling in het Eems-estuarium. De meetlocatie in de Bocht van Watum (gemiddelde SSC

122 mg/l over 1990-2020) toont deels gelijkenis met de Wadden-stations, met dezelfde pieken rond 2008 en 2011. Na 2011 neemt de vertroebeling af. De vertroebeling op deze locatie wordt beïnvloed door de grootschalige opvulling van deze geul, en in het verleden mogelijk ook door verspreiding van havenslib. Bij Groote Gat Noord (gemiddelde SSC 139 mg/l over 1990-2020) zien we eveneens de kenmerkende pieken rond 2008 en 2011, maar daarna blijft de vertroebeling relatief hoog. In de winter neemt het zwevend stofgehalte tot op heden toe (Figuur 2-13). Het is nog niet duidelijk in hoeverre de vertroebeling bij Groote Gat Noord wordt beïnvloed door de zeer hoge sedimentconcentraties op de Eemsrivier, hier wordt in het volgende hoofdstuk nader op ingegaan.



Figuur 2-13 Gemiddeld zwevend stofgehalte zomer (mei-sep) of winter (nov-feb) voor station Groote Gat Noord.

2.5 Wat zijn de verwachtingen voor de toekomst?

Een belangrijke vraag is welke sedimentconcentraties we in de toekomst kunnen verwachten. In de komende decennia (tot ca. 2050) zal de zeespiegel naar verwachting beperkt stijgen. De snelheid van bodemdaling zal over de tijd waarschijnlijk afnemen door de afgenomen gaswinning. Mogelijke verdere vaargeulverdiepingen, aanpassingen in bagger- en verspreidingsstrategieën, inzet van het Emssperwerk om de getijvoortplanting in de Eemsrivier te beïnvloeden en onttrekkingen hebben ook allemaal invloed op de sedimentconcentraties in het estuarium, maar deze ingrepen zijn nog onzeker.

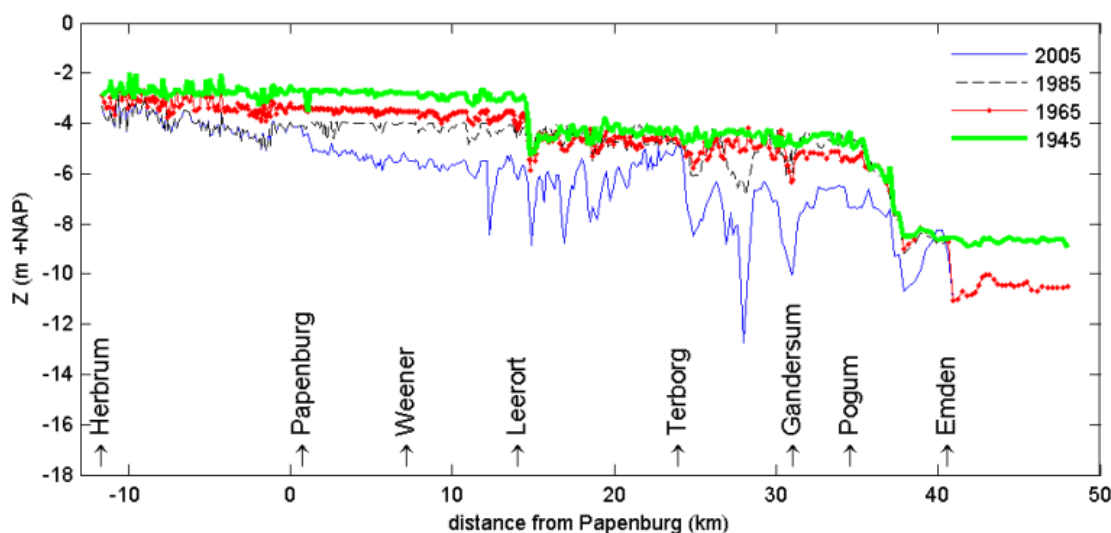
Uit verkennende modelberekeningen (Van Maren et al. 2017c) met zeespiegelstijging en bodemdaling blijkt dat er aanslibbing plaatsvindt op de slibrijke gebieden in de Dollard. Echter ook zonder relatieve zeespiegelstijging hogen deze platen in het model op, terwijl dat in werkelijkheid niet zo is. Wat daar de oorzaak van is, is niet bekend. De slibconcentraties worden in de modelvoorspelling ook sterk beïnvloed door de morfologische ontwikkeling van de geulen en plaatgebieden. De modelvoorspellingen hiervan zijn echter ook onzeker. De modellen zijn nog niet goed in staat gebleken de werkelijkheid met voldoende nauwkeurigheid en betrouwbaarheid te reproduceren. Wel kan gesteld worden dat tot 2050 de morfodynamiek grotere invloed heeft op de sedimentatie en slibconcentraties dan de effecten van zeespiegelstijging (Van Maren et al. 2017c).

3 Waardoor veranderingen in de slibconcentratie zijn opgetreden

In dit hoofdstuk bespreken we de verschillende oorzaken die hebben bijgedragen aan de vertroebeling in het Eems-estuarium. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de Eemsrivier en het daarbuiten gelegen estuarium.

3.1 Vaargeulverdiepingen

De oorzaak van de toename van de troebelheid in de Eemsrivier ligt in de vaargeulverdiepingen. In de Eemsrivier is over de afgelopen eeuw de bodem steeds verder omlaag gebracht (Figuur 3-1). In de jaren 1930 is de rivier verdiept tussen Pogum en Papenburg, in 1955 tussen Leerort en Papenburg, in de jaren 1960-1970 vooral rond het Vaarwater naar Emden en vanaf halverwege de jaren 1980 zijn drie grote verdiepingen uitgevoerd: de Homeric-verdieping (-5.7 m GHW), de Zenith-verdieping in 1991 (-6.3 m GHW) en de Oriana-verdieping in 1995 (-7.3 m NAP).

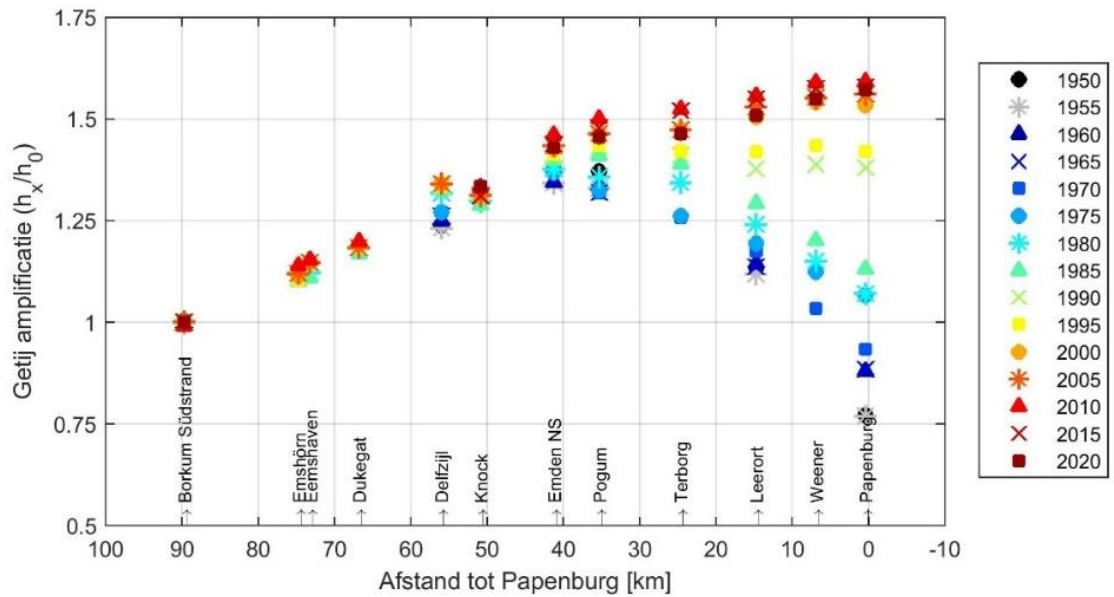


Figuur 3-1 Bodemligging Eemsrivier (Van Maren et al. 2014a).

Sinds 1950 is het getij op de Eemsrivier hierdoor steeds verder opgeslingerd (Figuur 3-2). In 1950 was de getijslag maximaal bij Emden, verder de Eemsrivier op werd het getij gedempt. In 2010 echter, is het getij op de Eemsrivier zo ver versterkt, dat bij het meest bovenstroomse meetpunt bij Papenburg de getijslag het hoogst is. Sinds 2010 is de getijopslingering weer iets afgenomen. De grote sprongen in getijopslingering lijken op te treden halverwege de jaren 1950, na de Homeric-verdieping en na de Oriana-verdieping, maar ook daarvoor en daarna zien we een toename van de getijslag.

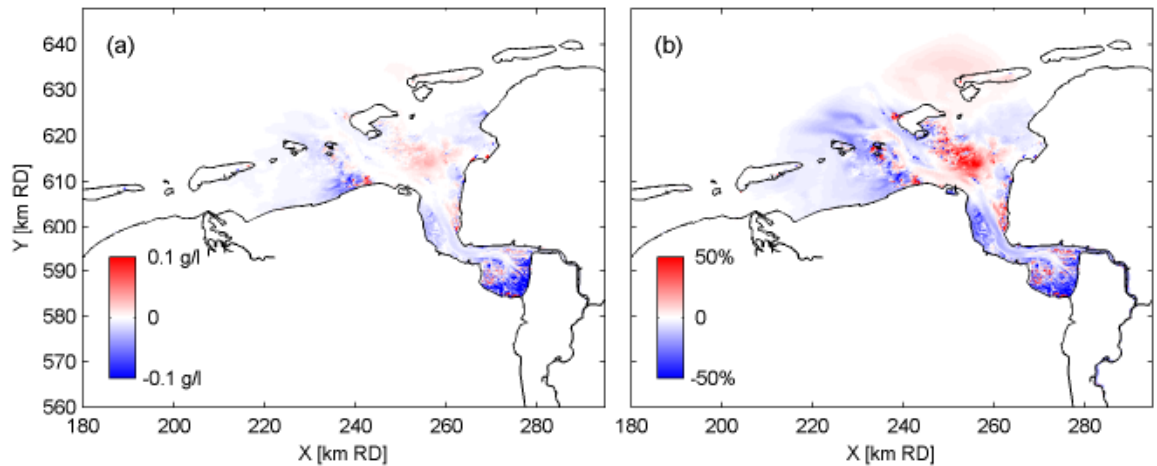
Deze verandering in getijvoortplanting leidde ertoe dat meer slib naar binnen kon worden getransporteerd. Ook werd het schoonspoelen van de Eemsrivier door de zoetwaterafvoer minder effectief door de grotere natte doorsnede. Als gevolg hiervan nam de troebelheid toe (Figuur 2-10). Doordat de bodem steeds gladder werd, kon het getij nog verder opslingeren en ontstond een zichzelf versterkend terugkoppelmechanisme (Winterwerp et al. 2013). Vanuit de Eemsrivier werd en wordt nog steeds een flinke hoeveelheid slib onttrokken (2,5 miljoen m³/j

tegenwoordig, Vroom et al. 2022) en is de troebelheid zeer hoog. De Eemsrivier is dus zeer ver verwijderd van haar natuurlijke (evenwichts)situatie, met sterke beperking van het ecologisch functioneren tot gevolg (Baptist & Tamis, 2015).



Figuur 3-2 Opslingering van de getijslag in het estuarium, waarbij de getijslag in elk station gedeeld is door de getijslag in de monding (Borkum Südstrand). Data verkregen van Rijkswaterstaat (Nederlandse stations) en NLWKN (Duitse stations).

Door de grotere breedte van het estuarium benedenstrooms van Knock hebben verdiepingen geen noemenswaardig effect op de getijopslingering in het brede deel. Ook zijn de verdiepingen minder goed gedocumenteerd. We weten dat het Oostfriesche Gaatje door baggeren ten behoeve van de scheepvaart fors is verdiept en uitgeruimd. Het groter worden van het Oostfriesche Gaatje en het opvullen van de Bocht van Watum, versterkt door de respons op de landaanwinningen in de Dollard, zijn de oorzaken van het huidige morfologische gedrag van het systeem, dat zich beweegt naar een één-geul-systeem. Modellsimulaties hebben aangetoond dat de verdiepingen via de toegenomen zoutindringing een effect hebben op de residuele stroming en daarmee de troebelheid in het estuarium hebben verhoogd. Figuur 3-3 toont de absolute (a) en de relatieve (b) toename van de slibconcentratie als gevolg van de verdiepingen van de vaargeulen. Blauw is een toename in de tijd (2005 vs. 1985) en rood is een afname in de tijd. Omdat vóór 1985 ook baggerwerkzaamheden zijn uitgevoerd die het estuarium hebben verdiept en niet in deze berekening zijn meegenomen, is het effect van vaargeulverdiepingen op de vertroebeling in het estuarium waarschijnlijk nog groter.

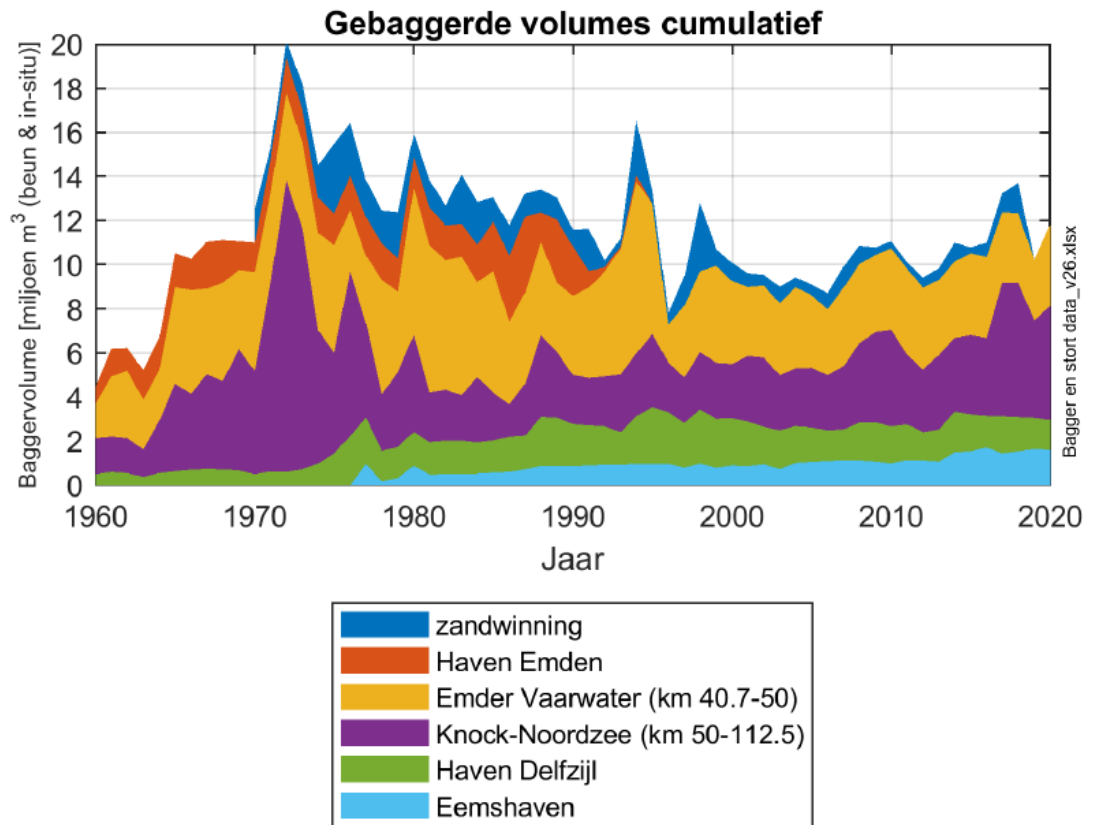


Figuur 3-3 Absolute (links) en relatieve verandering (rechts) van de jaargemiddelde SSC tussen 1985 en 2005. De figuur toont het verschil (1985 min 2005). Een afname (blauw) in de figuur betekent dus een toename in SSC in 2005 t.o.v. 1985.

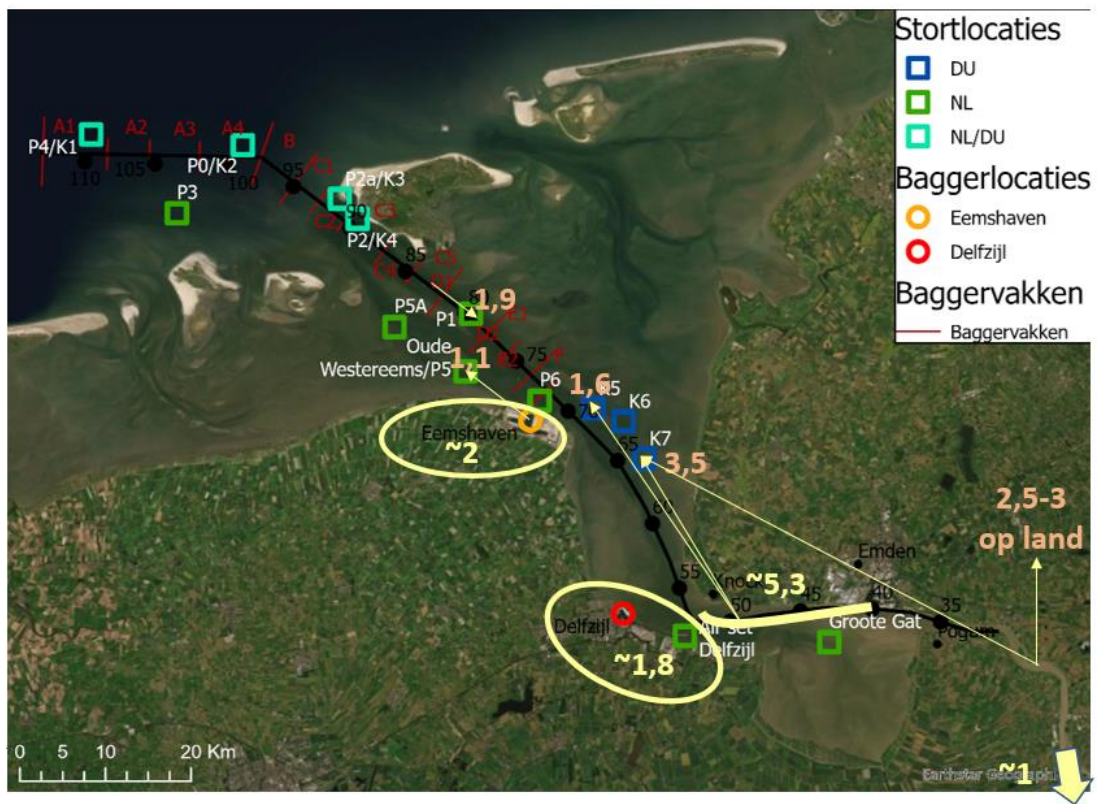
3.2 Onderhoudsbaggerwerk

Om de vaargeulverdiepingen op diepte en op breedte te houden en om te voorkomen dat de aangelegde havens dichtslibben, vindt er onderhoudsbaggerwerk plaats. Figuur 3-4 toont de baggervolumes in het Eems-estuarium sinds 1960. De laatste 20 jaar zijn de baggervolumes vrij stabiel, maar de recente verdieping van het traject Noordzee-Eemshaven kan nog leiden tot een verhoging van de baggerinspanning. Omdat dit het buitengebied betreft, zal dit vooral zandig materiaal zijn. De haven van Emden (achter sluizen) wordt sinds begin jaren 1990 niet meer gebaggerd, maar het slib wordt daar in suspensie gehouden.

De grootste baggerinspanning in het Eems-estuarium vindt plaats op het traject tussen Knock en Emden (km 40,7 tot 53). De vaargeul op dit traject loopt deels langs de Geiseleiddamm. Tussen Knock en Emden wordt jaarlijks zo'n 5,3 miljoen m³ gebaggerd, wat vervolgens wordt verspreid op daarvoor aangewezen verspreidingslocaties (Klapstelle 5, 6 en 7) nabij het Emshornwad. Het materiaal is slibrijk. Uit de haven van Delfzijl en haar toegangsheul Oversteek Paapsand-Süd wordt jaarlijks zo'n 1,8 miljoen m³ slib verwijderd, grotendeels met behulp van een airset. Met een airset wordt de sliblaag door water- en luchtinjectie in suspensie gebracht om het met de ebstroom te laten wegstromen. De onzekerheidsmarge in de via airset verwijderde sedimentvolumes is groot. In de Eemshaven en haar toegangsheul wordt 1,9 miljoen m³/j gebaggerd en verspreid in het Waddengedeelte van het estuarium. In de Eemsvier wordt 2,5 tot 3 miljoen m³/j gebaggerd en grotendeels aan land gebracht. Het totale jaarlijkse baggervolume van het gehele Eems-estuarium komt uit op ongeveer 13 miljoen m³/j. Dit betreft zowel zand als slib.



Figuur 3-4 Baggervolumes in het Eems-estuarium voor de periode 1960-2020 uit Vroom et al. (2022). Inclusief zandwinning en exclusief data van de Eemsrivier. Baggervolumes in de Eemsrivier bedragen 2-3 miljoen m³/j en worden hoofdzakelijk op land gebracht. Voor details zie Vroom et al. (2022).



Figuur 3-5 Bagger- en verspreidingslocaties.

Het effect van het onderhoudsbaggerwerk op het estuarium is ingewikkelder dan het in eerste instantie lijkt. Er zijn twee effecten:

- vertroebeling door baggeren en verspreiden. Dit betreft vertroebeling door bodemberoering bij het baggeren, vertroebeling door de overflow uit het baggerschip en vertroebeling bij het verspreiden. In numerieke modellen op de schaal van het estuarium wordt alleen het laatste effect meegenomen.
- Modificatie van de slibeigenschappen. Het slib wordt steeds weer in suspensie gebracht en kan daardoor geen sterkte opbouwen. Het effect hiervan is nog niet gekwantificeerd en zou verder onderzocht moeten worden.

Daarnaast is er nog een effect: de havens vormen een zeer effectieve slibvang. Daarom moeten ze ook steeds gebaggerd worden. Doordat havens slib invangen, verlagen ze de vertroebeling in het estuarium, maar omdat dit materiaal ook weer in het estuarium wordt verspreid, wordt dit verlagend effect weer teniet gedaan (Van Maren et al. 2015d). Omdat invang en verspreiding in plaats en tijd uiteenlopen, is de optelsom van het concentratieverlagende en -verhogende effect ook plaats- en tijdafhankelijk.

Bij het op diepte houden van havens en de geulen in het estuarium (uitgezonderd de Eemsrivier), wordt geen slib onttrokken, maar dit wordt verspreid in het systeem. Dit wordt gedaan om het morfologisch systeem minder te beïnvloeden. Daarnaast dient er voldoende sediment in het systeem te blijven voor het meegroeien met zeespiegelstijging.

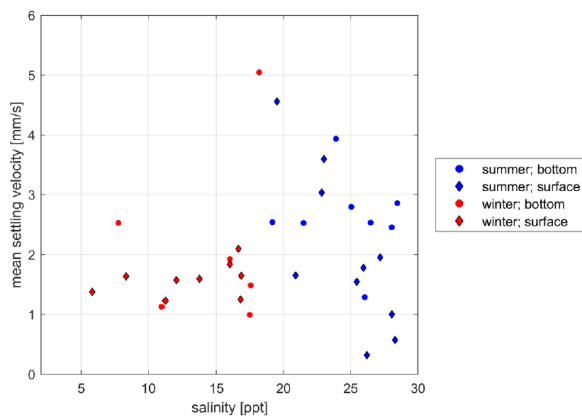
Hoewel er al verschillende simulaties zijn gedaan om het effect van verspreiden van baggerspecie in het estuarium inzichtelijk te maken (Van Maren et al. 2015d), is er ook voortschrijdend inzicht waarmee de modellering en daarmee de inzichten in de toekomst verder kunnen worden verbeterd. Het betreft:

- Beter inzicht in de processen die leiden tot de grote aanslibbing tussen Knock en Emden, waarmee mogelijk de aanslibbing in dit gebied modelmatig beter kan worden gereproduceerd en daarmee het effect van het verspreiden van deze zeer grote volumes op (1) de vertroebeling en (2) de sedimentatie op het nabij de verspreidingslocaties gelegen Emshornwad. Deze processen worden nog onvoldoende begrepen, mogelijk mede door seizoensvariaties in slibeigenschappen. De EDoM meetcampagne heeft hierin veel belangrijke nieuwe inzichten opgeleverd.
- Onderzoek naar het effect van airset in de haven van Delfzijl op de slibeigenschappen en vertroebeling. Het is niet bekend wat het gebruik van airset doet met de valsnelheid van het sediment, maar het is aannemelijk dat het sediment zich anders zal gedragen dan indien het via een hopper wordt verplaatst.
- Het toevoegen van het effect van bodemberoering en eventueel overflow (als dit toegestaan is) tijdens het baggeren aan het model.
- Het veranderen van de slibeigenschappen als gevolg van baggeren en verspreiden.

3.3 Uitwisseling tussen het estuarium en de Eemsrivier

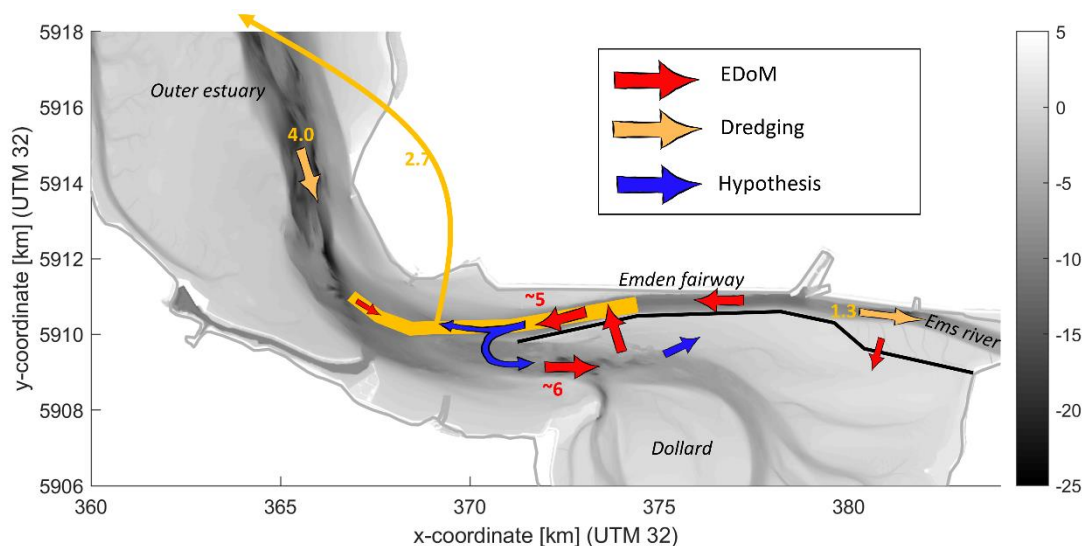
De vraag is welke invloed de extreem hoge troebelheid in de Eemsrivier heeft op het estuarium benedenstrooms. Het slib dat in de Eemsrivier wordt onttrokken is eerder aangevoerd vanaf zee. Er is dus een groot landwaarts transport van 2,5 tot 3 miljoen m³/j, de hoeveelheid die jaarlijks uit de Eemsrivier wordt onttrokken. In het Vaarwater naar Emden en iets ten westen daarvan wordt veel gebaggerd (ca. 5 miljoen m³/j) en in het estuarium verspreid nabij het Emshornwad.

Uit metingen (Smits en Van Maren, 2021) blijkt dat tijdens hoge rivierafvoeren (in de winter) veel slib uit de Eemsrivier naar het estuarium wordt meegevoerd. Nabij de stuw bij Herbrum zijn de sedimentconcentraties in de winter daardoor het laagst en benedenstrooms van Gandersum in de winter juist het hoogst. Bij lage afvoeren is het precies andersom. Het grotere slibtransport van bovenstrooms naar benedenstrooms en de hogere sedimentconcentraties in het Vaarwater naar Emden in de winter, leiden opmerkelijk genoeg niet tot een piek in het baggerbezwaar in het Vaarwater naar Emden in de winter. Juist in de zomer worden in het Vaarwater naar Emden de grootste volumes gebaggerd. Dit is mogelijk te verklaren uit het flocculatiegedrag van het sediment. Uit veldonderzoek ("EDoM", Van Maren et al. 2021) blijkt dat in de zomer de valsnelheid van de samengeklonterde sedimentdeeltjes het hoogst is (Figuur 3-6).



Figuur 3-6 Valsnelheid van sedimentdeeltjes tijdens de zomer (blauw) en de winter (rood). Uit van Maren et al. (2021).

In de EDoM meetcampagnes is ook vastgesteld dat sediment vanuit het Vaarwater naar Emden wordt geëxporteerd naar het estuarium (rode pijl in Figuur 3-7). Deze export lijkt onderdeel van een grotere recirculatie van sediment, dat vanuit het Vaarwater naar Emden via het Eems-estuarium richting de Dollard wordt getransporteerd, en vanaf daar over de Geisesteert en Geisedam weer richting het Vaarwater gaat. Of het transport van fijn sediment inderdaad via deze circulatie verloopt, is nog niet eenduidig vastgesteld en zal met meer gedetailleerde analyses van de EDoM-dataset en modelstudies moeten worden bevestigd. Deze circulatie van sediment zal vermoedelijk bijdragen aan de hoge troebelheid in het Vaarwater naar Emden, bij Knock en in de Dollard.



Figuur 3-7 Geschematiseerde residuele transporten in het Eems-estuarium op basis van baggercijfers (oranje), de EDoM metingen (rood) en geschatte transporten (blauw). Uit van Maren et al. (2021).

3.4 Slibsedimentatie en onttrekkingen van slib

3.4.1 Belang van inzicht in de slibbeschikbaarheid

Langs en in de Waddenzee wordt slib in oostwaartse richting getransporteerd. De hoeveelheid slib die van west naar oost wordt getransporteerd bedraagt jaarlijks tussen de 11 en 14 miljoen ton slib (droge stof; Oost et al. 2021). Deze slibstroom gaat door de Waddenzee en Noordzee vanuit Nederland naar Duitsland. De diverse grote afsluitingen uit het verleden (zoals van de Zuiderzee en de Lauwerszee) hebben waarschijnlijk (al dan niet tijdelijk, tot een nieuw evenwicht is ingesteld) geleid tot een verhoging van het slibaanbod naar het Eems-estuarium (van Maren et al. 2016), omdat daarmee afzettingsgebieden voor slib verloren zijn gegaan. De invloed van deze specifieke grootschalige afsluitingen op het slibtransport naar het Eems-estuarium en de slibsedimentatie in de Eems is nog niet gekwantificeerd, maar zou wel verder onderzocht moeten worden.

In het verleden werd veel fijn sediment afgezet langs de randen van het estuarium, die daardoor gestaag ophoogden. Na verloop van tijd konden deze gebieden worden bedijkt, waardoor ze werden gescheiden van het estuarium. Door deze inpolderingen nam het areaal van bezinkplaatsen in het Eems-estuarium af met mogelijke toename van de slibconcentraties in de waterkolom.

In Duitsland zijn in de afgelopen decennia tot heden grote hoeveelheden sediment uit de rivier onttrokken door baggerslib (en zand) aan land te brengen.

Het verlies van bezinkplaatsen of verliesposten², of dat nu ten gevolge is van inpolderingen of van verminderde onttrekkingen, heeft effect op de vertroebeling (Van Maren et al. 2016). Omdat er geen sediment wordt vastgelegd op en in de bodem of kunstmatig uit het systeem wordt verwijderd, blijft het in de waterkolom waardoor de troebelheid toeneemt.

² Een verliespost van slib is een hoeveelheid slib op de balans die aan het 'actieve' systeem wordt onttrokken. Slibsedimentatie op een intergetijdengebied, waarbij slib permanent wordt vastgelegd en niet meer wordt geremobiliseerd kan een verliespost op de slibbalans zijn. Ook het kunstmatig onttrekken van baggerspecie is een verliespost op de balans. Het baggeren van slib dat vervolgens weer wordt verspreid in het systeem, is géén verliespost. Het slib blijft dan immers beschikbaar in het systeem.

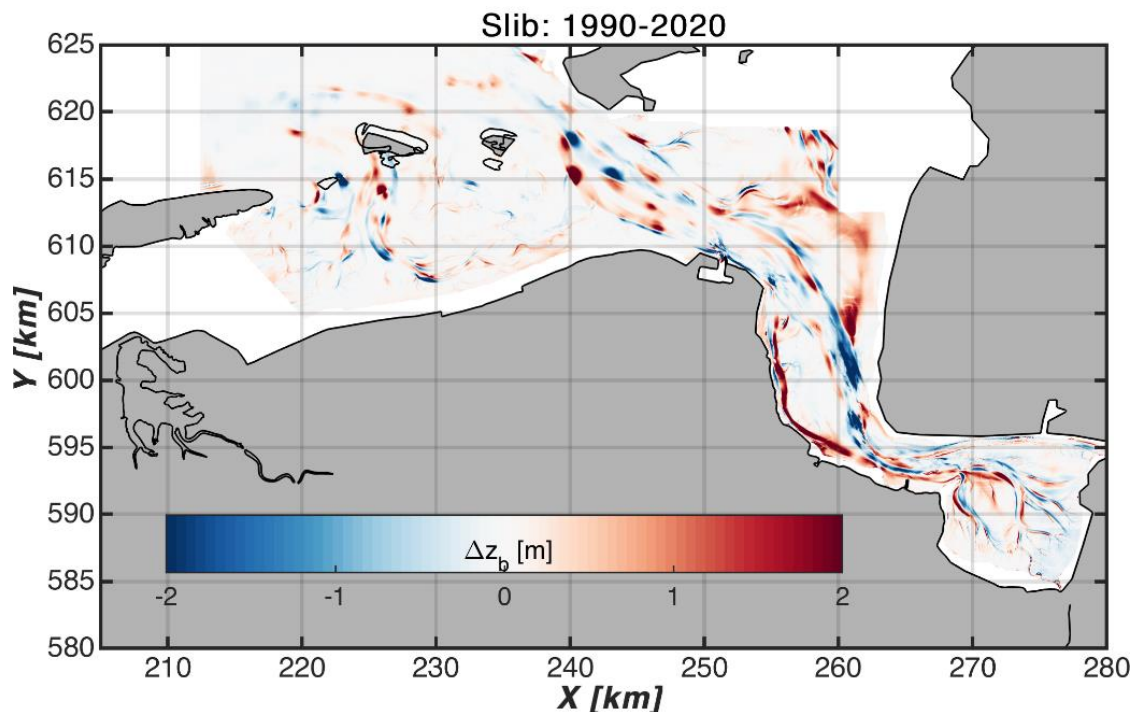
Uiteindelijk zal een nieuw evenwicht ontstaan waarbij import en export van slib weer in balans zijn, maar bij een hogere slibconcentratie.

3.4.2 Slibbalans

Om inzicht te krijgen in de bezinking in het verleden hebben Van Maren et al. (2016) een inschatting gemaakt van de hoeveelheden slib die in de afgelopen eeuwen zijn bezonken in het estuarium. Aanvullende studies geven verder inzicht in de historische en recente sedimentvolumes en in de recente onttrekkingen. De resultaten worden hieronder kort toegelicht en samengevoegd in een geactualiseerde slibbalans (Tabel 3-2).

Elias et al. (2021) hebben de slibsedimentatie op platen en in geulen over de periode 1989 tot heden zo goed mogelijk in kaart gebracht op basis van de verandering van de bodemhoogtes sinds 1989 (Figuur 3-8). Tabel 3-1 geeft de bodemvolumes die sinds 1990 zijn vastgelegd of weggehaald in verschillende gebiedsdelen, waarbij het onderscheid tussen de hoeveelheden slib en zand is geschat op basis van de Sedimentatlas (Zwarts, 2004). De totale volumeverandering sinds 1990 is ruim 100 miljoen m³, waarvan 2/3 zand.

De gemiddelde slibsedimentatie in het estuarium tussen de keel van het zeegat en Pogum bedraagt in deze periode ruim 1 miljoen m³/j (Tabel 3-1). De slibsedimentatie in de Bocht van Watum is bijna even groot als de erosie van de geschatte hoeveelheid slib uit het Oostfriesche Gaatje. Naast de erosie van slib is er een forse hoeveelheid zand uit het Oostfriesche Gaatje gebaggerd en geërodeerd. Het Emshornwad vormt een belangrijk sedimentatiegebied (Figuur 3-8 en Tabel 3-1). Dit Emshornwad is waarschijnlijk ook voor 1990 al een belangrijk sedimentatiegebied geweest, gezien de morfologische ontwikkeling van het wantij daar, zoals beschreven door Gerritsen (1952). Uit berekeningen van mogelijke maatregelen om de vertroebeling te verlagen, bleek dat het creëren van een ondiepwatergebied op dit wantij naar de Oostereems zal leiden tot een verhoging van de troebelheid (Van Maren et al. 2017c). Mogelijk dat de natuurlijke sedimentatie op het Emshornwad ook via beïnvloeding van de hydrodynamiek in het estuarium leidt tot hogere vertroebeling.



Figuur 3-8 Slibsedimentatie (rood) en -erosie (blauw) over de periode 1989-2000. Uit Elias et al. (2021).

Tabel 3-1 Volumeveranderingen van zand en slib (in situ) in het Eems-estuarium over de periode 1990-2020. Getallen samengevoegd uit Elias et al. (2021) volgens onderstaande opmerkingen.

Gebied	Oppervlakte [km ²]	Volumeverandering			
		Totaal [miljoen m ³]	Zand [miljoen m ³]	Slib [miljoen m ³]	Slib [miljoen m ³ /j]
Bocht van Watum ⁱ	10,16	22,4	9,3	13,1	0,4
Oostfriesche Gaatje ⁱⁱ	39,93	-33,5	-18,8	-14,7	-0,5
Emshornwad ⁱⁱⁱ	69,85	81,8	52,8	29,0	1,0
Dollard platen ^{iv}	69,69	0,3	0,7	-0,4	0,0
Overige gebieden	273,07	34,1	27,8	6,6	0,2
Totaal	462,7	105,0	71,9	33,5	1,1
Subtotaal geulen ^v	230,92	22,3	19,8	2,8	0,1
Subtotaal platen ^{vi}	231,78	82,8	52,1	30,6	1,0

ⁱ totaal polygonen 15, 16 en 19 uit Tabel 4-4 in Elias et al. (2021).

ⁱⁱ totaal polygonen 21, 22, 23, 11, 20 en 24 uit Tabel 4-4 in Elias et al. (2021).

ⁱⁱⁱ totaal polygonen 4, 18 en 25 uit Tabel 4-3 in Elias et al. (2021).

^{iv} overgenomen uit Tabel 4-5 uit Elias et al. (2021).

^v totaal 'geulen' uit Tabel 4-3, 4-4 en 4-5 uit Elias et al. (2021).

^{vi} totaal 'platen' uit Tabel 4-3, 4-4 en 4-5 uit Elias et al. (2021).

Van Pierik et al. (2019) brachten de historische volumeveranderingen in de geulen van het Eems-estuarium (zie beschouwde gebied in Figuur 2-7) in kaart over een veel langere tijdsperiode, op basis van oude kaarten en boringen. De sedimentatie in de geulen bedroeg in de periode 1833 tot 2014 ca. 2,9 tot 4,8 miljoen m³/j. Het betreft zowel zand als slib. Het slibpercentage van de sedimentvolumes wordt op 15% geschat, maar hierbij zijn belangrijke slibsedimentatiegebieden, zoals het Emshornwad en de Dollard niet meegenomen. Pierik et al. (2019) vinden voor de periode 1985-2014 gemiddeld een totale sedimentatie (zand+slib) van 4,8 miljoen m³/j. Dit is hoger dan de waarde van Elias et al. (2021) van 3,5 miljoen m³/j voor de periode 1990-2020.

Van Maren et al. (2016) brachten de historische 'verliesposten' van slib in kaart. Vanaf het ontstaan van de Dollard rond 1550 tot de laatste grote inpoldering in de Dollard in 1924 is de slibsedimentatie in het hele estuarium afgenomen van 2,4 tot 1,2 miljoen ton (droge stof) per jaar. Tussen 1960 en 1990 werd door Duitsland zo'n 1,8 miljoen ton/j slib onttrokken uit de haven van Emden en het Vaarwater naar Emden. De slibsedimentatie op het Emshornwad is waarschijnlijk al gestart in de tijd dat de verbinding met de Oostereems in verval raakte (rond 1800) en is voor de periode 1989 – 2020 gekwantificeerd op 1 miljoen m³ per jaar, overeenkomend³ met 1 miljoen ton/j. In Van Maren et al. (2016) was deze verliespost nog niet opgenomen. Door landaanwinningen langs het Groninger Wad in 1944, de aanleg van de Rysumer Nacken in 1954 en de Eemshaven in de jaren 1970 verdwenen intergetijdengebieden

³ Bij het opstellen van de slibbalans moet er voor sommige 'posten' een omrekening worden gemaakt van volume (kuub=m³) naar gewicht (ton=1000 kg). Zo geven veranderingen op basis van bodemkaarten volumes, terwijl baggergegevens van slibrijk materiaal vaak in gewicht worden uitgedrukt. Bij de omrekening van volume naar massa is de dichtheid van het materiaal van belang. Hoe meer gecompacteerd het slib is, hoe groter de dichtheid en hoe groter het gewicht per eenheid van volume. Voor slib dat al langere tijd is afgezet op de bodem, wordt typisch gerekend met een dichtheid van 1000 kg/m³. Hele oude afzettingen kunnen een hogere dichtheid hebben (orde 1400 kg/m³). Vers afgezet slib of slib in de beun van een baggerschip heeft een lagere dichtheid, orde 500 kg/m³.

die waarschijnlijk ook fungeerden als bezinkplaatsen. De grootte en het effect hiervan op de slibbalans is nog niet vastgesteld.

Onttrekkingen vanuit de Eemsrivier door Duitsland zijn vanaf de jaren 1990 geschat op minimaal 0,8 miljoen $\text{ton}_{\text{ds}}/\text{j}$, maar sinds 2016 waarschijnlijk groter, namelijk 2,5 miljoen m^3/j (Vroom et al. 2022) – equivalent met 1,25 miljoen $\text{ton}_{\text{ds}}/\text{j}$ bij een droge dichtheid van $500 \text{ kg}/\text{m}^3$. Over de periode vanaf 1994 wordt een gemiddelde aangenomen van 1 miljoen $\text{ton}_{\text{ds}}/\text{j}$.

De schattingen van de sedimentatiehoeveelheden en de onttrekkingen in de studies van Van Maren et al. (2016), Pierik et al. (2019), Elias et al. (2021) en Vroom et al. (2022) zijn gecombineerd in Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Slibbalans (in miljoen ton_{ds} slib per jaar).

	1550-1833	1833-1888	1888-1928	1928-1953	1953-1985	1985-1994	1994-2020
Landaanwinningen	2,4 ⁽¹⁾	1,2 ⁽¹⁾	1,2 ⁽¹⁾	0 ^A	0 ^B	0	0
Sedimentatie geulen		0,45 ⁽²⁾	0,45 ⁽²⁾	0,45 ⁽²⁾	0 ^C	0,1 ⁽³⁾	0,1 ⁽³⁾
Sedimentatie platen	Dollard	0,5 ⁽¹⁾	0,5 ⁽¹⁾	0,5 ⁽¹⁾	0	0 ⁽³⁾	0 ⁽³⁾
	Emshorwad		1	1	1	1,0 ⁽³⁾	1,0 ⁽³⁾
	overig					0 ⁽³⁾	0 ⁽³⁾
Bodemdaling						0,4 ⁽⁴⁾	0,4 ⁽⁴⁾
Sedimentatie kwelders						0,05 ⁽⁴⁾	0,05 ⁽⁴⁾
Onttrekkingen	0	0,1 ⁽¹⁾	0,1 ⁽¹⁾	1 ⁽¹⁾	1,8 ⁽¹⁾	1,8 ⁽¹⁾	1,0 ⁽⁴⁾
TOTAAL (=import van zee)	2,9	3,25	3,25	2,95	2,8	3,35	2,55
Baggeren	0	≥0,1	≥0,1	≥1	3,5 ⁽⁵⁾	4,1 ⁽⁵⁾	3,3 ⁽⁵⁾
Verspreiden	0	?	?	?	1,7	2,3	2,3

Bronnen:

⁽¹⁾ Van Maren et al. (2016)

⁽²⁾ Van Pierik et al. (2019), onder aanname van 15% slib in de geulen en een dichtheid van 1000 kg/m³.

⁽³⁾ Elias et al. (2021). De slibvolumes uit Elias et al. (2021) zijn omgerekend naar massa uitgaande van een dichtheid van 1000 kg/m³.

⁽⁴⁾ Vroom et al. (2022).

⁽⁵⁾ Volumes uit Vroom et al. (2022) en zoals in Figuur 3-4, onder aanname van de volgende slibpercentages: Eemshaven: 50%; Haven Delfzijl: 90%; Knock-Noordzee: 10%; Emders Vaarwater: 60%; Haven Emden: 100% en een dichtheid van 500 kg/m³. Daarnaast is aangenomen dat er in de Eemsvier tussen 1953 en 1994 0,8 miljoen ton/j is gebaggerd en tussen 1994 en 2020 1 miljoen ton/j.

Opmerkingen:

^A Nog landaanwinningen langs het Groninger Wad

^B Aanleg Eemshaven en Polder Breebaart

^C In Pierik et al. (2019) wordt gesproken over een onttrekking/erosie van 4 miljoen m³/j (zand+slib). Omdat dit voornamelijk geulen betreft, zal er nauwelijks slib uit de geulen zijn onttrokken. Tijdens deze periode zijn in Nederland en Duitsland dijken opgehoogd met zand uit het estuarium. In dezelfde periode is er wel veel slib onttrokken uit de haven van Emden en het Vaarwater naar Emden. Het betreft ca. 1,8 miljoen ton/j (of 3,6 miljoen m³/j). De uitruiming uit Pierik et al. (2019) van 4 miljoen m³/j is daarmee groter dan de (zandige) onttrekkingen volgens Mulder (2013), die komen op ongeveer 1,8 miljoen m³/j.

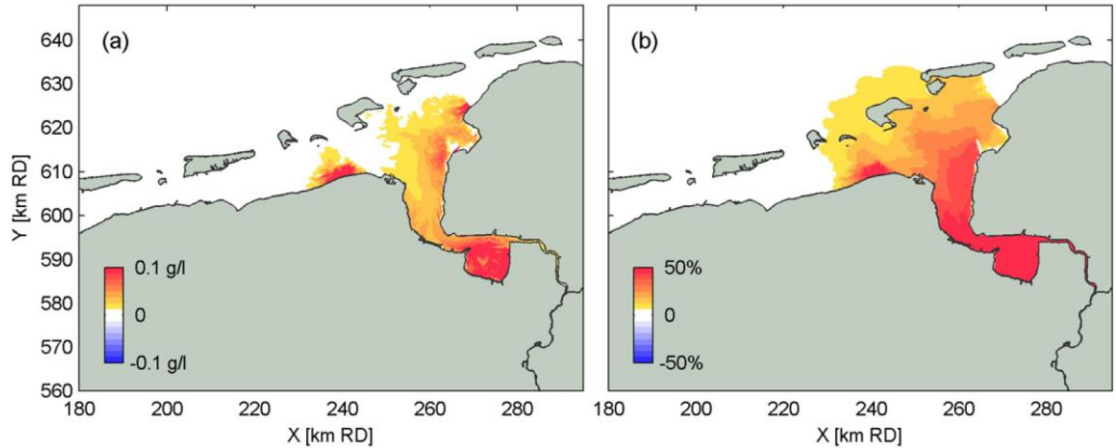
Al deze verliesposten beschouwend, kan gesteld worden dat tot ca. 1960 jaarlijks zo'n 2 tot 3 miljoen ton_{ds}/j aan slib eerst bezonk op naderhand aangewonnen land en in geulen (in de Dollard en de Bocht van Watum), en vanaf 1960 werd onttrokken (uit noodzaak voor het in stand houden van de bevaarbaarheid van de vaarweg naar Emden en Papenburg). Sinds 1994 zijn de onttrekkingen mogelijk kleiner dan daarvoor, maar sinds de gaswinning vormt compensatie van de bodemdaling door gaswinning ook een (kleine) verliespost.

De hoeveelheden slib die worden gebaggerd en verspreid zijn van dezelfde orde grootte als de netto import vanaf zee en groter dan de netto sedimentatie in het estuarium. Dit betekent dat het baggeren en verspreiden een groot effect heeft op het netto slibtransport in het estuarium.

3.4.3 Effect onttrekken slib op vertroebeling

Figuur 3-9 toont wat het effect is van het stoppen met onttrekken van 1,8 miljoen ton_{ds}/j (conform schatting voor de periode 1954-1994) op de vertroebeling: de sedimentconcentratie

in de waterkolom neemt flink toe, in de Dollard met meer dan 100 mg/l, maar ook in het middengebied is het effect fors.



Figuur 3-9 Effect van het stoppen met onttrekken van 1,8 miljoen ton_{ds} slib per jaar op de SSC, in g/l (links) en procentueel (rechts). Uit: Van Maren et al. (2016).

Smits & Van Maren (2021) rapporteren een afname van de troebelheid op de Eemsrivier sinds 2012. Omdat er tegenwoordig meer slib lijkt te worden onttrokken (1,25 miljoen ton/j; Vroom et al. 2022) dan in van Maren (2016; 0,8 miljoen ton/j) werd aangenomen, zou onderzocht moeten worden of de huidige lichte afname van de troebelheid in de Eemsrivier verband houdt met grotere onttrekkingen in Duitsland. Ook de afname van de getijamplificatie sinds 2010 (Figuur 3-2) kan hebben geleid tot een verlaging van de troebelheid.

3.4.4 Aanvoer van slib vanaf de Waddenzee en Noordzee

Het aanbod van slib vanuit de Waddenzee en Noordzee is geschat op 11-14 miljoen ton_{ds}/j (Oost et al. 2021). Het merendeel van het slib dat bij Den Helder wordt aangeboden, vindt ergens in de trilaterale Waddenzee een afzetgebied (Oost et al. 2021). Dit nieuwe inzicht heeft tot vragen over de wenselijkheid van onttrekkingen van sediment geleid. Onttrekkingen in Nederland zouden namelijk een effect kunnen hebben op het Duitse en Deense systeem. Daarnaast weten we dat in de toekomst extra sediment nodig is om mee te kunnen groeien met versnelde zeespiegelstijging.

In het ED2050 programma is tot doel gesteld minimaal 1 miljoen ton_{ds}/j te onttrekken. Deze extra onttrekking moet in het volgende perspectief worden geplaatst:

- De hoeveelheid sediment, die op dit moment wordt onttrokken of op natuurlijke wijze wordt afgezet, is historisch laag (zie ook Tabel 3-2). In de periode 1960 – 1994 werd gemiddeld 1,8 miljoen ton_{ds} aan slib jaarlijks onttrokken vanuit de haven van Emden en aan land gebracht. In de periode tussen 1550 en 1930 bezonk een vergelijkbare hoeveelheid slib alleen al in de Dollard – veel meer slib bezonk elders in het Eems-estuarium (Ley Bocht, Emshornwad, Groningse kust) en westwaarts in de Waddenzee (Fries-Groningse kust en de bekkens van de Zuiderzee, Middellzee, en Lauwerszee).
- De hoeveelheid sediment die nu wordt onttrokken of afgezet zal in de toekomst veranderen. Er wordt nu circa 1,25 miljoen ton per jaar onttrokken uit de Eemsrivier, en als de toekomstige maatregelen via getijsturing succesvol zijn zal deze onttrekking afnemen. Daarnaast bezinkt nu nog 0,5 miljoen ton per jaar in de Bocht van Watum, maar deze geul zal binnen afzienbare tijd dusdanig opgevuld zijn dat deze nauwelijks meer als verliespost zal fungeren.

De tijd- en ruimteschalen van een sedimentbalans zijn gekoppeld. Een groot systeem zoals de Waddenzee opereert op lange tijdschalen (jaren tot tientallen jaren) vanwege de relevante tijdschalen voor sedimenttransport, maar vooral vanwege de buffercapaciteit van het systeem. Bovenstaande punten geven aan dat een onttrekking van 1 miljoen ton_{ds} per jaar minder is dan onttrekkingen en aanslibbingen in het Eems-estuarium zoals deze al decennia tot eeuwen hebben plaatsgevonden en ongeveer vergelijkbaar is met de fluctuatie in bezinkposten uit de slibbalans (minimum is 2,55 miljoen ton/j tussen 1994 en 2020 en het maximum is 3,35 miljoen ton/j tussen 1985 en 1994).

3.5 Synthese: wat hebben we de afgelopen jaren geleerd?

Een onderdeel van het huidige beheer in het Eems-estuarium, namelijk het vastleggen of onttrekken van slib om de toenemende vertroebeling tegen te gaan, is voor een belangrijk deel gebaseerd op het systeemdenken volgend uit de KRW-studies (zie Taal et al. (2015) voor een overzicht). Volgens dit conceptuele model werd de verhoogde vertroebeling veroorzaakt door (1) een vergroting van de sedimentbeschikbaarheid van zwevend slib vanwege een progressief verlies aan bezinkplaatsen en (2) een efficiënter landwaarts transport van sediment door verdieping van vaargeulen. Het was onduidelijk wat de rol van de Eemsrivier op de sedimentconcentratie in het Eems-estuarium is. In dit hoofdstuk zijn de volgende nieuwe inzichten besproken, die relevant zijn voor dit conceptuele model:

- De jaargemiddelde slibconcentratie neemt sinds 2010 nergens in het Eems-estuarium meer statistisch significant toe. De toename zoals in Vroom et al. (2012) vastgesteld was gebaseerd op data tot 2011; echter in de jaren na 2011 nam de sedimentconcentratie, in ieder geval in de monding bij Huibertgat en op het meetpunt in de Bocht van Watum, af. Er blijkt een langjarige cycliciteit in vertroebeling te bestaan (Herman et al. 2018), met een fasering die voor het Waddengebied en het Waddengedeelte van het Eems-estuarium gelijk is. Het lijkt er op dat de vertroebeling door langjarige grootschalige processen wordt gestuurd. Het is onbekend of dit het gevolg is van meteorologische (wind, temperatuur) of biologische processen (flocculatie door algen, mossels). De troebelheid in de Dollard neemt gemiddeld over de wintermaanden nog wel toe, maar in de zomer niet meer.
- De bezinkposten van slib zijn nauwkeuriger in kaart gebracht. In de KRW-studies werd uitgegaan van een jaarlijks verlies van 0,5 miljoen ton_{ds} in de Bocht van Watum en 0,8 miljoen ton_{ds} in de Eemsrivier (totaal 1,3). In de huidige slibbalans blijkt het Emshornwad een aanzienlijke aanvullende bezinkplaats te zijn (+1 miljoen ton_{ds}/j) en blijkt er circa 0,2 miljoen ton_{ds}/j meer uit de Eemsrivier te worden onttrokken. Tegelijk blijkt de vaargeul Oostfriesche Gaatje een bron van 0,5 miljoen ton/j te zijn (als gevolg van baggeren en erosie), en leidt bodemdaling door gaswinning tot een aanvullende verliespost van 0,4 miljoen ton_{ds}/j. In totaal blijkt er momenteel jaarlijks 2,55 miljoen ton_{ds}/j uit het systeem onttrokken te worden in plaats van de in 2015 geschatte 1,3 miljoen ton_{ds}/j, wat betekent dat 15 tot 25% van het aangevoerde sediment (11-14 miljoen ton/j volgens Oost et al. 2021) bezinkt.
- Er is inmiddels meer inzicht in uitwisselingsprocessen tussen de Eemsrivier en haar estuarium. Er is geen sprake van netto zeewaarts transport in de winter en landwaarts transport in de zomer (zoals eerder beredeneerd) door het vaarwater naar Emden. Metingen suggereren dat het sedimenttransport door het Vaarwater naar Emden meestal zeewaarts is gericht, met uitzondering van bepaalde afvoercondities in de winter waarbij sediment door zoutgedreven stromingen landwaarts wordt getransporteerd. Maar bovenal suggereren de metingen dat er een circulatiecel bestaat die sediment vanuit de Dollard over de Geiseleitdamm naar het Vaarwater naar Emden transporteert. Deze nieuwe hypothese is ook belangrijk voor het begrijpen van de afwezigheid van verdere sedimentatie in de Dollard.

- Het merendeel van het slib dat bij Den Helder wordt aangeboden vindt ergens in de trilaterale Waddenzee een afzetgebied (Oost et al. 2021). Onttrekkingen van slib langs de Nederlandse kust (Zeeuwse delta, Waddenzee, Eems) hebben daarmee mogelijk effect op de slibhoeveelheid ten oosten van de betreffende onttrekking. De voorgestelde onttrekking van 1 miljoen ton/j in het ED2050 programma, valt ongeveer binnen de historische bandbreedte van verliesposten van slib (Tabel 3-2), zeker wanneer de kleinere toekomstige verliesposten in de Bocht van Watum en onttrekkingen uit de Eemsrivier worden meegenomen in de beschouwing. Daarmee zal ook het effect op de trilaterale Waddenzee passen binnen de historische fluctuaties in de slibhuishouding.

4 Hoe we de vertroebeling kunnen verminderen

In het voorgaande hoofdstuk is beschreven welke veranderingen hebben bijgedragen aan het toenemen van de vertroebeling. In het programma ED2050 zijn er een zevental oplossingsrichtingen gedefinieerd, die zo goed mogelijk rekening houden met de natuurlijke aandrijvende processen (hydro-morfodynamiek) in het systeem. Deze oplossingsrichtingen zijn verder onderzocht. Het betreffen (MIRT 2015; Cronin et al. 2015; Van Maren et al. 2017c):

1. Terugbrengen van een meer natuurlijke vorm van het estuarium. Het estuarium is de afgelopen decennia ontwikkeld naar een vorm met relatief diepe geulen en in verhouding weinig intergetijdengebied. Een meer natuurlijke vorm om tot een robuust en gezond ecosysteem te komen, kan mogelijk bereikt worden door aanpassingen aan de omvang van de geulen en/of de breedte van het estuarium (MIRT, 2015). Door de eeuwenlange ontwikkeling van het estuarium naar een enkelgeulensysteem, mede als gevolg van de verkleining van de Dollard en de sedimentatie op het wantij naar de Oostereems, wordt het in 2015 geopperde (MIRT, 2015) “versterken van het meergeulensysteem” niet meer als oplossing beschouwd.
2. Plaatareaal vergroten (ten koste van gebieden met grotere waterdiepte)
Het vergroten van het plaatareaal is modelmatig onderzocht door sediment te plaatsen op/nabij het wantij met de Oostereems en leidde niet tot de gewenste verlaging van de vertroebeling, omdat geulen dieper werden.
3. Verlengen rivierkarakter
Deze maatregel is modelmatig verkend door het aanbrengen van een meander in de Eemsvier in de Dollard. De effecten hiervan zijn erg onzeker. Het lijkt de getijopslingering in de Eemsvier te verminderen. Als dit zo is, zal dat de vertroebeling in de Eemsvier beïnvloeden (verlagen). Maar het effect op de Dollard en het middengebied van het estuarium is erg onzeker.
4. Sedimentatie-bevorderende structuren (buitendijkse slibvang)
In de Dollard is het effect van een strekdam modelmatig onderzocht, die een luwtegebied in de Dollard creëerde. In dit luwtegebied werd slib afgezet, waardoor de vertroebeling afnam.
5. Toevoegen binnendijs intergetijdengebied
Het toevoegen van binnendijs intergetijdengebied is modelmatig onderzocht middels een toegevoegd gebied ten zuidoosten van Delfzijl en lijkt effectief, zeker direct na opening van het gebied. Er is dan nog veel accommodatieruimte, waardoor veel slib kan worden afgezet en de vertroebeling afneemt. Over tijd vult het gebied op, en neemt het effect ervan af.
6. Fysieke onttrekking slib havens en rivier
Het effect van onttrekken van slib, door slib dat gebaggerd wordt om havens en vaargeulen op diepte te houden niet in het estuarium te verspreiden maar aan land te brengen, is reeds toegelicht in §3.4. De maatregel is erg effectief, maar wel symptoombestrijding.
7. Optimaliseren bagger-/verspreidingsstrategie
Bij het optimaliseren van de bagger-/verspreidingsstrategie is gekeken naar het verspreiden van slib op het wantij naar de Oostereems. Het idee hierachter is dat het slib wordt verspreid op een locatie met weinig resuspensie, zodat het materiaal in wezen aan het systeem wordt onttrokken. Deze maatregel leidde echter niet tot een verlaging van de vertroebeling in 2050, omdat er een respons was op de morfologie (de geul verdiepte).
Een andere optie voor het optimaliseren van de bagger-/verspreidingsstrategie is het verspreiden van het slib op de Noordzee (Cronin et al 2015). Door slib in de Noordzee

te verspreiden, wordt een effect op de vertroebeling bereikt dat vergelijkbaar is met het aan land brengen van slib. Afhankelijk van hoe ver offshore op de Noordzee wordt verspreid, kan de vertroebeling in de monding toenemen. Dieper in het estuarium neemt de vertroebeling volgens modelberekeningen met 50% af als al het slib uit havens en vaargeulen ver op de Noordzee wordt verspreid. De pelagische primaire productie neemt volgens modelberekeningen overal toe en de benthische primaire productie neemt in het estuarium toe en in de mondingszone af (maar niet zoveel als de toename dieper in het estuarium, dus het netto effect is positief).

Uit de verkennende berekeningen lijken het onttrekken van slib en de binnendijkse en buitendijkse slibvang het effectiefst. Deze worden in de volgende paragraaf verder toegelicht. Omdat deze bovenstaand nog niet aan bod zijn gekomen, wordt in dit hoofdstuk nog kort ingegaan op:

- Vaargeuldiepte verkleinen
- Uitwisseling tussen estuarium en Eemsrivier verkleinen

4.1 Toevoegen bezinkplaatsen voor slib of onttrekkingen

In een estuarium bezinkt fijn sediment op luwe plekken. Deze plekken zullen op termijn verlanden als de sedimentatie groter is dan de relatieve⁴ zeespiegelstijging (zoals aan de landwaartse zijde van de Nederlandse Waddenzeebekkens gebeurt), of verdrinken als de sedimentatie lager is dan relatieve zeespiegelstijging. Bij de huidige zeespiegelstijging van orde 25 cm/eeuw en de huidige bodemdalingsprognose, is in het Eems-estuarium circa 1,5 miljoen m³ sediment per jaar nodig om mee te groeien (Pierik et al. 2019). Zolang de zeespiegelstijging niet versneld, wordt daarvoor voldoende sediment geïmporteerd. De verwachting is dat zandige gebieden niet volledig mee kunnen groeien met versnelde zeespiegelstijging, omdat niet voldoende zand wordt aangevoerd. Zandige gebieden worden mogelijk slibrijker, afhankelijk van de lokale hydrodynamische condities (Van Maren et al. 2019).

Het grootste sedimentatiegebied in het Eems-estuarium is het Emshornwad. In de Dollard sedimenteert netto geen sediment (Elias et al. 2021). De reden hiervoor is onbekend. Ook de kwelders breiden daar niet uit (Schmidt et al. 2021). Om meegroeien met de zeespiegelstijging (netto sedimentatie) in de Dollard te laten plaatsvinden, moeten maatregelen genomen worden die erosie tegengaan. Zowel buitendijkse als binnendijkse bezinkplaatsen voor slib in de Dollard zijn in Van Maren et al. (2017c) doorgerekend. De resultaten zijn hierboven onder punt 4 en 5 al kort toegelicht en zijn positief. Door bezinkplaatsen voor slib te introduceren, zal de vertroebeling afnemen. Daarnaast kunnen deze bezinkplaatsen nog andere functies vervullen zoals:

- Geleidelijkere overgangen tussen water en land ('verzachten van de randen van het Wad') en bijkomende positieve effecten voor de biodiversiteit.
- Het vormen van begroeide voorlanden voor dijken, waardoor de golfaanval op dijken afneemt en voorlanden kunnen meegroeien met zeespiegelstijging en bodemdaling.
- Het invangen van slib voor nuttige toepassing elders, zoals op dijken (brede groene dijk) zodat er minder klei van elders hoeft worden aangevoerd (minder CO₂-uitstoot) of voor het ophogen van landbouwgronden die bijv. kampen met verzilting of broeikasgasuitstoot als gevolg van veenoxidatie.

⁴ Relatieve zeespiegelstijging is de absolute zeespiegelstijging plus bodemdaling.

Slibonttrekkingen door het creëren van bezinkplaatsen hebben een verlagend effect op de vertroebeling en kunnen via andere functies een positieve bijdrage leveren aan het ecosysteem. Ze kosten echter wel ruimte, en zijn daardoor mogelijk moeilijker realiseerbaar dan het onttrekken van slib door te stoppen met verspreiden van baggerslib. Daarom is in het programma ED2050 ingezet op het onttrekken en nuttig toepassen van slib elders (Brede groene dijk, kleirijperij, ophogen landbouwgronden) en op het verspreiden van slib op de Noordzee. Hoeveel de vertroebeling afneemt, is afhankelijk van de verblijftijd of verversingstijd van het slibrijke water. Als er slib vanuit de waterkolom in een slibvang wordt afgezet, en het nu helderder geworden water onmiddellijk weer wordt ververs met troebel water, zal het effect op de vertroebeling klein zijn. Als de slibvang echter gelegen is in een gebied waar de verblijftijd langer is, zal het verlagend effect op de vertroebeling veel langer aanhouden. Voor een estuarium zoals de Eems betekent dit dat een slibvang dieper in het estuarium over het algemeen effectiever zal zijn dan nabij de monding, omdat de verblijftijd dieper in het estuarium langer is. In Smits et al. (2022) is het effect van het onttrekken van slib uit de Waddenzee verkend. Daarbij is als belangrijkste vraag gesteld in hoeverre het onttrekken van slib vanuit de Waddenzee leidt tot extra import van slib naar de Waddenzee en in hoeverre het leidt tot interne herverdeling van slib binnen de Waddenzee. De effecten van een slibonttrekking spelen op verschillende ruimtelijke en temporele schalen en is afhankelijk van de locatie, omvang en tijdsduur van de onttrekking.

Een belangrijke vraag is hoeveel slib er uit het Eems-estuarium onttrokken moet worden om een gezonde ecologische toestand te bereiken. Met modelberekeningen (Cronin et al. 2015) is onderzocht wat het effect van het aan land brengen van havenslib op de vertroebeling heeft, zowel voor de Eemshaven (baggerinspanning in het model 0,46 miljoen ton/j en een reductie van ~10% in SSC in grote delen van het estuarium), voor de haven van Delfzijl (baggerinspanning in het model 0,82 miljoen ton/j en een reductie van 50% in SSC in het middengebied en de Dollard) en voor het Vaarwater naar Emden (baggerinspanning met 0,59 miljoen ton/j sterk onderschat in het model, maar leidend tot een reductie van 20-30% in SSC over het gehele estuarium). In 2016 is zijn de berekeningen geconsolideerd in de publicatie van Van Maren et al. (2016). Daarin wordt gesteld dat het onttrekken van 1,8 miljoen ton/j tot een verlaging van de sedimentconcentratie van 10 mg/l in het Waddengebied leidt en ongeveer 100 mg/l in het binnengebied (vooral Dollard) én dat het effect van onttrekken op de sedimentconcentratie lineair is. Het effect van een onttrekking van 1 miljoen ton/j zou daarmee leiden tot een verlaging van ~5 mg/l in het buitengebied en circa 55 mg/l in het middengebied en de Dollard. In 2015 is met de toenmalige inzichten vastgesteld dat er jaarlijks minimaal 1 miljoen ton slib moet worden onttrokken (Lenselink et al. 2015).

Het nieuwe inzicht dat er onder de huidige condities meer sediment uit de Eems wordt onttrokken en bezinkt dan voorheen is ingeschat (zie §3.5), betekent dat het onttrekken van extra sediment minder efficiënt is dan eerder werd ingeschat: waar een onttrekking van 1 miljoen ton_{ds} per jaar overeen kwam met 43%⁵ van alle onttrekkingen, is dit nu 28%⁶. Het onttrekken van 1 miljoen ton_{ds} per jaar heeft daarom een minder groot effect dan eerder vastgesteld. Hoe groot het effect van onttrekkingen op de troebelheid precies is, is ontzettend lastig te kwantificeren. Daarnaast laat deze synthese ook zien, dat voortschrijdend inzicht leidt tot nieuwe vragen. Onderwerpen, die verder onderzocht zouden moeten worden om het effect van onttrekkingen beter in te kunnen schatten zijn:

- De langjarige fluctuaties in verliesposten van slib. Dus een verdere verdieping/verfijning van de slibbalans uit Tabel 3-2.

⁵ In Van Maren et al. (2016) was het totaal aan verliesposten 1,3 miljoen ton/j, plus 1 miljoen ton/j extra onttrekking geeft 1/2,3=43%.

⁶ Uit Tabel 3-2 blijkt een totaal van 2,55 miljoen ton/j, plus 1 miljoen ton/j extra onttrekking geeft 1/3,55=28%.

- De historische fluctuaties in de kustlangse slibstroom (tegenwoordig 11-14 miljoen ton/j): hoe deze in het verleden is veranderd door grootschalige afsluitingen?
- Natuurlijke variatie in troebelheid, mogelijk als gevolg van meteorologische forcering en hoe deze mogelijk via het opladen en leeglopen van tijdelijke slibbuffers verloopt.
- Verbeterde parametrisatie van 1) baggeren en verspreiden, ook als gevolg van verschillende baggertechnieken, en 2) slibeigenschappen om het effect van baggeren en verspreiden op de vertroebeling beter te kunnen inschatten (zie §3.2).

Langjarige monitoring en analyse is cruciaal om inzichten in het effect van langjarige onttrekkingen te kunnen ontwikkelen, zeker omdat het gehele sedimentdelende systeem van de trilaterale Waddenzee op lange tijdschalen reageert op wijzigingen in sedimentvraag en -aanbod. Het effect van een onttrekking is alleen meetbaar als deze groot is ten opzichte van de natuurlijke variaties en de meetonnauwkeurigheden in sedimentconcentraties. Met de grootte van het effect wordt hiermee zowel de periode waarover deze zich voordoet als de mate van verandering in de sedimentconcentraties bedoeld. Bijvoorbeeld: als een onttrekking een effect van 20% op de sedimentconcentraties heeft, maar dit zich maar één jaar manifesteert (omdat de sedimentconcentraties daarna weer toenemen), dan valt het effect weg binnen de natuurlijke variaties in sedimentconcentraties (zie Figuur 2-12). Als het effect van een verlaging van 20% zich over meerdere decennia uitstrekt, dan is deze trend wel waarneembaar. Een onttrekking van ca. 0,6 miljoen ton/j achter in het estuarium (vgl. berekend effect van onttrekking van de haven van Emden zoals bovenstaand) zou daarmee meetbaar moeten zijn, indien deze onttrekking (of in elk geval het effect ervan) zich over een lange periode voordoet.

4.2 Vaargeuldiepte verkleinen

Het verkleinen van de vaargeuldiepte in het estuarium lijkt geen realistisch scenario (in ieder geval niet voor de korte tot middellange termijn). Wereldwijd is de tendens dat schepen alleen maar steeds groter worden, en ook in het Eems-estuarium is net weer een verdieping uitgevoerd (Noordzee-Eemshaven) en zijn plannen voor verdere verdiepingen. Verdere verdieping kan echter wel voorkomen worden.

In de Eemsrivier is bij de vele verdiepingen de oorspronkelijke zandbodem verlaagd. Door de import en afzetting van veel slib is de rivier hydraulisch glad geworden. Als de Eemsrivier ondieper zal worden, omdat er minder wordt gebaggerd, zal deze vergladding blijven, omdat er geen zand wordt aangevoerd. Het getij-opslingerend effect zal hierdoor blijven bestaan, maar door de lagere waterdiepte wel verminderen. Hoe en hoe snel de fluid mud lagen zich dan verder zullen ontwikkelen tot een vaste bodem, is onduidelijk. Het proces tot een geconsolideerde bodem duurt lang en wordt bovendien gehinderd door scheepsbewegingen. Een sigarendoosberekening⁷ van de hoeveelheid sediment die geïmporteerd moet worden om terug te gaan naar de diepte uit de jaren '40 (zie Figuur 3-1) komt uit op ruwweg 25 miljoen m³. De dichtheid van het bodemslib hierbij zou in de orde van 1000 kg/m³ moeten liggen. Bij een import van sediment naar de Eemsrivier van ca. 1 miljoen ton/j, betekent dit dat dit proces minimaal 25 jaar zou duren.

4.3 Uitwisseling tussen het estuarium en Eemsrivier verkleinen

Uit de EDoM campagne blijkt dat er een recirculatiecel van slibtransport lijkt te bestaan, van het middengebied van het estuarium naar de Dollard, van de Dollard naar het Vaarwater naar Emden, en vanaf het Vaarwater naar Emden deels naar bovenstreams en deels weer terug naar het estuarium (Figuur 3-7). Indien het Emssperwerk wordt ingezet om minder slib naar de

⁷ Volumeberekening: traject Herbrum-Leerort is ca. 25 km lang, 100 m breed en de bodem moet daar ca. 2 m omhoog komen. Traject Leerort-Pogum is ca. 20 km lang, 300 m breed en de bodem moet daar ca. 3,5 m omhoog komen. $25.000 \times 100 \times 2 + 20.000 \times 300 \times 3,5 = 26.000.000 \text{ m}^3$.

Eemsrivier te laten transporteren, zal de recirculatiecel blijven bestaan en mogelijk zelfs worden versterkt.

Het ophogen/dichten van de Geisedam heeft waarschijnlijk effect op de recirculatiecel. Om te weten hoe effectief dit is, zal eerst verder moeten worden onderzocht hoe groot de transporten over de Geisedam zijn. Daarnaast zal het slib een stabiele berging moeten kunnen vinden in de Dollard, omdat anders door opwerveling de vertroebeling in de Dollard verder zal toenemen.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

In de MIRT-rapportage (IenM & provincie Groningen, 2015) is gesteld dat de primaire productie, als basis van het voedselweb, in het Eems-estuarium moet worden verhoogd door de vertroebeling te verlagen.

De oudste metingen van sedimentconcentraties in de waterkolom stammen uit 1954 (Postma, 1960). Ook in de jaren '70 zijn metingen van zwevend stof uitgevoerd. Toen startten ook de MWTL-metingen, maar deze werden nog in verschillende fases van het getij en met een andere monsternamemethode (emmer i.p.v. pomp) en labanalyses dan tegenwoordig uitgevoerd. Sinds 1990 zijn de MWTL-metingen consistent en lenen zich daarom voor trendanalyses. Tussen 1990 en 2011 is de vertroebeling toegenomen, en sindsdien in het Huibertgat en de Bocht van Watum afgenomen. De vertroebeling vertoont, in ieder geval sinds 1990, in alle Nederlandse getijdewateren grote langjarige fluctuaties, met perioden met hogere vertroebeling gevolgd door perioden met lagere vertroebeling (Herman et al. 2018). De oorzaken van deze fluctuaties zijn nog niet duidelijk, en dienen verder te worden onderzocht. De sterkste toename van de vertroebeling in het Eems-estuarium heeft waarschijnlijk al voor 1990 plaatsgevonden. De belangrijkste aanwijzingen hiervoor zijn: de forse verdiepingen en verruiming van de vaargeul tussen 1950 en 1990, het verlies van bezinkplaatsen door de grote inpolderingen (Figuur 2-4) vanaf het ontstaan van de Dollard in de 16^e eeuw en de forse toename van het baggerwerk sinds 1960.

De slibsedimentatie in het Eems-estuarium is in de laatste eeuw groter dan eerder werd aangenomen (i.e. Van Maren, 2016). De Bocht van Watum vormt een belangrijk sedimentatiegebied, maar zal met het verder opvullen in belang afnemen. Ook het Emshornwad is een omvangrijk slibsedimentatiegebied. Het Oostfriesche Gaatje is ook de afgelopen 30 jaar nog steeds verder verdiept.

De onttrekkingen uit de Eemsrivier lijken groter te zijn dan eerder aangenomen, maar zijn omgeven door onzekerheid.

5.2 Aanbevelingen

De troebelheidsmetingen van vóór 1990 zouden vergeleken kunnen worden door op een slimme manier rekening te houden met de verschillende getijfasen waarin de metingen zijn genomen. Dit zou meer inzicht kunnen verschaffen in de toename in de vertroebeling sinds de jaren 1950. Hierbij kan zowel gebruik gemaakt worden van sedimentconcentratie-metingen als van Secchischijfmetingen voor doorzicht.

Wij verwachten een grotere interesse voor het onttrekken van slib uit Nederlandse getijdewateren. In het Eems-estuarium wordt nu al slib onttrokken, op kleine schaal door Nederland en op grote schaal door Duitsland. Indien ook vanuit de andere Nederlandse getijdewateren op grote schaal slib onttrokken gaat worden, zal dit effect hebben op het Eems-estuarium. De hoeveelheid slib die vanuit België en verder wordt aangevoerd (Griffioen et al., 2016) is namelijk gelimiteerd (Oost et al. 2021). Ook in het verleden hebben fluctuaties hierin vermoedelijk een belangrijke rol gespeeld in de vertroebeling in de Eems. Dit zou beter onderzocht moeten worden.

Verklein de onzekerheid in de baggercijfers. Rijkswaterstaat is bezig het protocol rondom rapportage van de baggercijfers aan te scherpen. Hierover moeten ook afspraken met Duitsland worden gemaakt.

Ook het effect van verschillende baggertechnieken (hopper, WID, airset) op de vertroebeling moet beter worden onderzocht.

In de jaren 1970 zijn grote ingrepen in het estuarium uitgevoerd, zoals de aanleg van de Eemshaven en aanpassingen aan de havenmond van Delfzijl. Ook zijn de baggerwerkzaamheden fors geïntensiveerd. Het is onbekend welke invloed beide ingrepen op het slibstelsel hebben gehad en het zou interessant zijn dit verder te onderzoeken.

Het is niet duidelijk waardoor de Dollard niet verder opvult. Het transport vanuit de Dollard naar het Vaarwater naar Emden zou hier een rol in kunnen spelen. Dit zou verder onderzocht moeten worden, in combinatie met het verdere onderzoek naar de mogelijke recirculatiecel die in de EDoM veldcampagnes naar voren is gekomen.

6 Producten uitgebracht i.k.v. KPP Eems-Dollard

Onderstaande lijst staat in chronologische volgorde.

Spiteri, C., Riegman, R., Winterwerp, J.C., Brinkman, B., Stolte, W., Jak, R.G. & Van Maren, D.S. (2011a). Mud dynamics in the Eems-Dollard, research phase 1: literature review mud and primary production. Deltares report 1204891.

Dijkstra, J., Van Kessel, T., Van Maren, B., Spiteri, C. & Stolte, W. (2011). Setup of an effect-chain model for the Eems-Dollard. Results 2010. Deltares report 1202298.

Spiteri, C., Van Maren, D.S., Van Kessel, T. & Dijkstra, J. (2011b). Effect Chain Modelling to Support Ems-Dollard Management. Journal of Coastal Research, SI 61, pp. 226-233. MCRR3-2010 Conference Proceedings.

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

Vroom, J., Van Maren, D.S., Ibanez, M.E., De Lucas Pardo, M.A., Winterwerp, J.C. & Sittoni, L. (2014). Mud dynamics in the Eems-Dollard, phase 2: analysis soil samples. Deltares rapport 1205711.

Van Maren, D.S., Vroom, J., Vijverberg, T., Schoemans, M. & Van Rooijen, A.A. (2014a). Mud dynamics in the Eems-Dollard, phase 2: setup hydrodynamic models. Deltares rapport 1205711.

Van Maren, D.S., Vroom, J., Sittoni, L., van Kessel, T., Cronin, K. & Arentz, L. (2014b). Mud dynamics in the Eems-Dollard, phase 2: setup sediment transport models. Deltares rapport 1205711.

Stolte, W., De Kluijver, A. & Smits, J.G.C. (2015). Mud dynamics in the Ems estuary: set-up of primary production model. Deltares rapport 1205711.

Van Maren, D.S., Stolte, W., Sittoni, L., Vroom, J., Arentz, L. & De Kluijver, A. (2015a). Mud dynamics in the Eems-Dollard, phase 2: model analysis. Deltares rapport 1205711.

Van Maren, D.S., Stolte, W., Cronin, K. & Nolte, A.J. (2015b). Objectivering van modellering van scenario's met de Eems-Dollard modellen voor slib en primaire productie. Deltares rapport 1220070.

Cronin, K., Villars, M.T., Stolte, W., De Kluijver, A. & Van Maren, D.S. (2015). Mud dynamics in the Eems-Dollard, phase 3: scenarios for improvement. Deltares rapport 1205711.

Lenselink, G., Taal, M., Hommes, S., Oost, A., van Maren, B., Baptist, M., Tamis, J. & Brinkman, B. (2015). Ecologisch perspectief Eems-Dollard 2050 MIRT-onderzoek Eems-Dollard fase II. Deltares-Imares rapport 1220103-002.

Taal, M.D., Schmidt, C.A., Brinkman, A.G., Stolte, W. & van Maren, D.S. (2015). Slib en primaire productie in het Eems-estuarium : een samenvatting van vier jaar meten, modelleren, kennis bundelen en verwerven. Deltares/Imares brochure.

- Van Maren, D.S., Winterwerp, J.C. & Vroom, J. (2015c). 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. (2015d). 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, D.S., Schrijvershof, R.A. & van der Wegen, M. (2017a). Hydromorfologische verbetering ED2050: opzet morfologisch model. Deltares rapport 11200116.
- Van Maren, D.S., Smits, B. & Cronin, K. (2017b). Hydromorfologische verbetering ED2050: opzet D3S model. Deltares rapport 11200594.
- Van Maren, D.S., Schrijvershof, R.A., Smits, B., Cronin, K. & van der Wegen, M. (2017c). Hydromorfologische verbetering ED2050: eerste beoordeling maatregelrichtingen. Deltares rapport 11200116.
- Van Maren, D.S., Schrijvershof, R.A. & 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 Eems-estuarium. *Landschap: tijdschrift voor landschapsecologie en milieukunde*; Vol. 37; no. 3 (2020), p.112-121
- Van Maren, D.S., Vroom, J., Van Keulen, D. & Van Weerdenburg, R. (2021). Exchange processes between the Ems River and estuary: Results of EDoM measurement campaigns 2018 & 2019. Deltares report 1203742-000-ZKS-0002, 195 p.
- Elias, E., Colina Alonso, A. & van Maren, D.S. (2021). Morfologische veranderingen Eems-Dollard en Groninger Wad. Deltares rapport 11203742-000, 146 p.
- 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.
- Vroom, J., de Vries, B., Dankers, P. & van Maren, B. (2022). Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op habitatype H1130 in het Eems-estuarium. Deltares-Royal HaskoningDHV rapport 11206835-000-ZKS-0005.

7 Referenties

Baptist & Geelhoed (2016). Natura 2000 in het habitatrictlijngebied Eems-Dollard. Een overzicht van status en doelstellingen. IMARES rapport C054/16.

Baptist, M. & Tamis, J. (2015). Review van ecologische probleembeschrijvingen voor het Eems-estuarium. Imares Rapport C076/15.

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

BOEDE (1985). Biological research Ems-Dollard estuary. Rijkswaterstaat communications no. 40/1985.

Compton, T.J., S. Holthuijsen, S., Koolhaas et al. (2013). Distinctly variable mudscapes: distribution gradients of intertidal macrofauna across the Dutch Wadden Sea. *Journal of Sea Research* 82: 103–116.

Compton, T.J., S. Holthuijsen, 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

Van Es, K. (2021). Programmaplan Programma Eems-Dollard 2050 2021-2026.

de Jonge, V., Schuttelaars, H., van Beusekom, J., Talke, S., de Swart, H. (2014). The influence of channel deepening on estuarine turbidity levels and dynamics, as exemplified by the Ems estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 139 (2014) 46-59.

Gerritsen, (1952). Historisch-hydrografisch onderzoek Eems. Notitie D41, 17 p., Hoorn.

Griffioen, J., Klaver, G., & Westerhoff, W. (2016). The mineralogy of suspended matter, fresh and Cenozoic sediments in the fluvio-deltaic Rhine–Meuse–Scheldt–Ems area, the Netherlands: An overview and review. *Netherlands Journal of Geosciences*, 95(1), 23-107. doi:10.1017/njg.2015.32

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.

IenM & provincie Groningen (2015). Economie en Ecologie Eems-Dollard in balans. Ministerie van Infrastructuur en Milieu en de provincie Groningen. Eindrapport MIRT-onderzoek.

Manuels, M.W. & Rommets, J.W. (1972). Metingen van zoutgehalte, temperatuur en zwevend materiaal in de Waddenzee, april 1970 – oktober 1972. NIOZ.

Oost, A., Colina Alonso, A., Esselink, P., Wang, Z.B., van Kessel, T. & van Maren, B. (2020). Where mud matters. Towards a Mud Balance for the Trilateral Wadden Sea Area: Mud supply, transport and deposition. ISBN 978-94-90289-57-7.

Pierik, H.J., F.S. Busschers, & M.G. Kleinans (2019). De rol van resistente lagen in de historische morfologische ontwikkeling van het Eems-Dollard estuarium vanaf de 19e eeuw. Universiteit Utrecht, Departement Fysische Geografie.

Pierik, H. J., Leuven, J. R., Busschers, F. S., Hijma, M. P., & Kleinans, 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>

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.

Schmidt, C., Iedema, W., van Es, K, Onwezen, M. en Haarman, F. (2018). Meerjarig adaptief programma Eems-Dollard 2050 De toestand van de natuur, de projecten en het programma in 2018. Rapport Meerjarig adaptief programma Eems-Dollard 2050

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

Smits, B., Van Kessel, T., Van Rees, F., Van Keulen, D. en Herman, P. (2022). Verkenning invloed slibonttrekking Waddenzee op slibdynamiek en ecologie. Deltares rapport 11208040-010-ZKS-0001.

P. Vos & E. Knol (2009). De ontstaansgeschiedenis van het Dollardlandschap; natuurlijke en antropogene processen. Symposium 2009.

van Veen, J. (1950). Ebb and flood channel systems in the Netherlands tidal waters. English translation of the original Dutch text with annotations. Originally published in: *Journal of the Royal Dutch Geographical Society* 67: 303-325

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 (2004). *Sedimentatlas Waddenzee*.

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