

# PROGRAMMA **NAAR EEN RIJKE WADDENZEE**



Rijkswaterstaat  
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



**WAD VEERKRACHTIG!**

**Antwoorden op kennisvragen  
ten behoeve van het Eems-  
Dollard 2050 programma**



# COLOFON



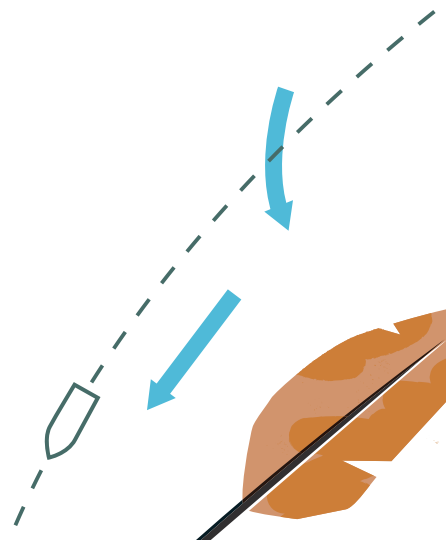
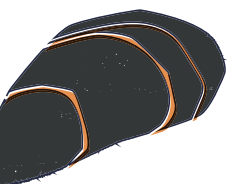
Mei 2019

**Een rapport van:**

Programma naar een Rijke Waddenzee  
[rijkwaddenzee.nl](http://rijkwaddenzee.nl)

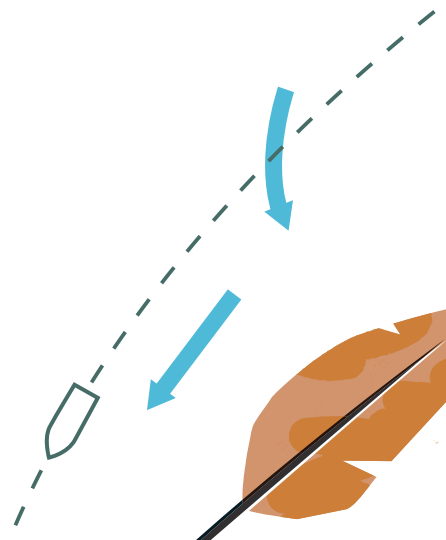
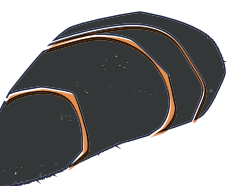
**Auteur:**

Hein Sas



# INHOUDSOPGAVE

<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1. Inleiding</b>	<b>6</b>
Ecologische effecten van troebelheid/slib	6
Effecten van klimaatverandering	6
<b>2. Toegepaste methodiek</b>	<b>7</b>
2.1 Hoe is de gebruikte kennis geselecteerd?	7
2.2 Hoe is de verkregen kennis geanalyseerd en gecombineerd en waarop zijn conclusies gebaseerd?	7
<b>3. Metingen van, en verbanden tussen, belangrijke ecosysteemvariabelen</b>	<b>9</b>
3.1 Inleiding	9
3.2 Gesuspendeerd materiaal slib in de waterfase: tijdsverloop	10
3.3 De invloed van anorganisch slib in de waterfase op primaire productie door algen	10
3.4 Is er een effect van slib op zeegras op de Hond-Paap?	12
3.5 De invloed van anorganisch slib in de waterfase op primaire consumenten	13
3.6 De invloed van anorganisch slib in de waterfase op andere trofische niveaus	15
<b>4. Effecten van zeespiegelstijging en maatregelen op slib en habitats</b>	<b>17</b>
4.1 Effecten van klimaatverandering	17
4.2 Effecten van maatregelen op de slibhuishouding	18
<b>5. Antwoorden op de onderzoeksvragen, aanbevelingen en commentaar door experts</b>	<b>20</b>
5.1 Antwoorden op de onderzoeksvragen	20
5.2 Aanbevelingen	22
5.3 Commentaar door geraadpleegde experts	22
<b>Referenties</b>	<b>23</b>
<b>Bijlage</b>	<b>25</b>



# Samenvatting



**Rijkswaterstaat heeft Programma naar een Rijke Waddenzee (PRW) gevraagd om een aantal oorzaak-effect relaties op natuurgebied in kaart te brengen t.b.v. het Eems-Dollard 2050 programma. Deze dienen duidelijkheid te verschaffen over de invloed van menselijke ingrepen en de effecten van mogelijke natuurverbeteringsmaatregelen in het Eems-Dollard gebied.**

De belangrijkste vragen richten zich op de effecten van vertroebeling van de waterfase door anorganisch slib, met name op de primaire productie, macrozoöbenthos en zeegras. Ook is gevraagd de effecten van klimaatverandering, vooral zeespiegelstijging, op onder andere arealen en kwaliteit en ecologische betekenis van habitats in het estuarium in kaart te brengen.

Als eerste kennisbron voor deze notitie fungeerde een achttal experts. Het merendeel daarvan is geïnterviewd en aan allen is de onderhavige notitie voorgelegd. De door hen genoemde en algemeen bekende literatuur vormde de tweede kennisbron.

De belangrijkste bevindingen en aanbevelingen zijn als volgt.

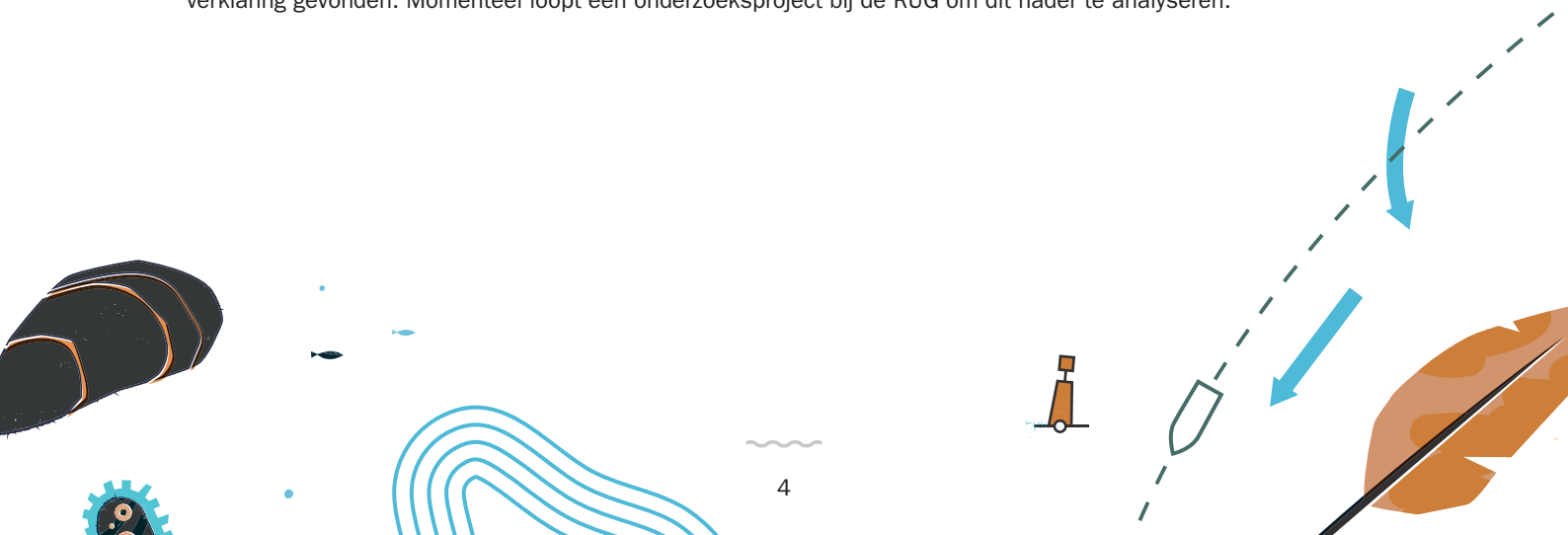
Er zijn voor zowel de Dollard als het Middengebied sterke aanwijzingen dat de trendmatig toegenomen slibconcentratie in de waterfase een grote, negatieve invloed op het ecosysteem heeft gehad, met als belangrijkste geconstateerde verschijnselen: afname van zowel pelagische primaire productie, schelpdierbiomassa als totale biomassa. In het Middengebied is de afname relatief het sterkst.

Er is discussie tussen de geraadpleegde experts over de rol van het slib in het Buitengebied. Voor de totale primaire productie in de Eems-Dollard is dit gebied van groot belang, als gevolg van de relatief lage slibgehalten en het grote oppervlak ervan.

De vermindering van primaire productie en schelpdierbiomassa in het Middengebied volgen uit metingen. De vermindering van de totale biomassa volgt uit Ecologische Netwerk Analyse (ENA). ENA laat ook het grote belang van de basis van het voedselweb (detritus, algen en bacteriën) zien: veruit de meeste organisch materiaal in het ecosysteem bevindt zich daar.

Exercities met het Ecowasp model benadrukken de rol van het slib en laten zien dat vermindering van de slibconcentratie in de waterfase een positief effect zal hebben op zowel de algehele primaire productie als de benthische gemeenschap in de Eems-Dollard. En daarmee waarschijnlijk ook op de rest van het ecosysteem.

De meest waarschijnlijke verklaring voor de toe- en afname van het zeegras op de Hond- Paap in de periode 1990-2010 is een verandering in de hoogteligging van dit plaatsysteem, opgetreden rond 2002. Voor die hoogteverandering is geen verklaring gevonden. Momenteel loopt een onderzoeksproject bij de RUG om dit nader te analyseren.



De modelexercities om de effecten van zeespiegelstijging te voorspellen suggereren dat de Eems-Dollard als geheel weinig meegroeit met de zeespiegel. Dat komt vooral doordat versnelde zeespiegelstijging niet lijkt te leiden tot een significante extra import van zand. Het gevolg is dat met name getijgeulen en relatief diep liggende platen niet meegroeien met de zeespiegelstijging. Op de huidige slibrijke plaatgebieden zoals de Dollard en Leybocht, maar ook ondiepe geulen welke nu nog sterk zandig zijn (bijvoorbeeld ten westen van de droogvallende plaat Hond-Paap), sedimenteert meer slib. Zandige ondiepe gebieden worden daardoor slibrijker. Maar hoewel boven alle ondiepe gebieden netto aanslibbing wordt voorspeld, betekent dit niet dat de platen de zeespiegelstijging overal bij kunnen houden.

Ook laten de modelexercities zien dat slibonttrekking een effectieve maatregel is om de slibconcentratie in de waterfase van de Eems-Dollard te verminderen.

Aanbevolen wordt om, in lijn met een eerder advies van De Waddenacademie, zowel de monitoring als de modellering van het ecosysteem (incl. morfologie) van de Eems-Dollard te intensiveren. De bevindingen laten zien dat beide nodig zijn om de ontwikkeling van het ecosysteem als geheel te kunnen volgen en beter te begrijpen.

Deze notitie is voorgelegd aan de geraadpleegde experts. Zij onderschrijven de algemene bevindingen en aanbevelingen zoals hierboven verwoord.

Er blijkt onder de experts nog wel veel discussie over:

- › Wat en hoe gemeten moet worden om de belangrijkste ontwikkelingen in het ecosysteem (incl. de onderliggende morfologie) goed te volgen.
- › Hoe het ecosysteem het beste gemodelleerd kan worden om de belangrijkste ecosysteem-interacties te begrijpen en de gevolgen van maatregelen te voorspellen.

# 1. Inleiding



**Rijkswaterstaat, directies Noord-Nederland (Wouter Iedema) en Water, Verkeer en Leefomgeving (Charlotte Schmidt) hebben Programma naar een Rijke Waddenzee (PRW) gevraagd om een aantal oorzaak-effect relaties op natuurgebied in kaart te brengen t.b.v. het Eems-Dollard 2050 programma. Deze dienen duidelijkheid te verschaffen over de invloed van menselijke ingrepen en de effecten van mogelijke natuurverbeteringsmaatregelen in het Eems-Dollard gebied.**

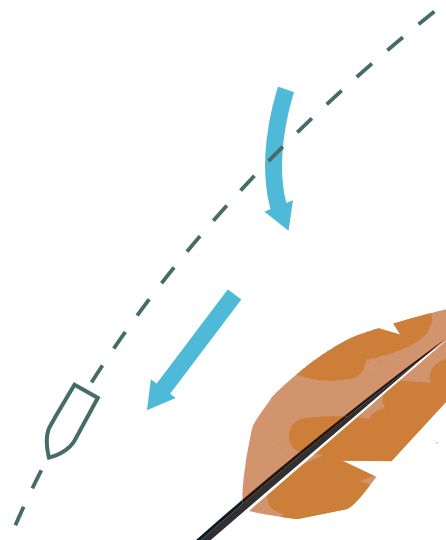
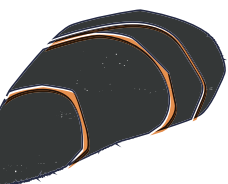
De belangrijkste vragen zijn:

## Ecologische effecten van troebelheid/slib

1. Wat zijn de meest recente inzichten in de betekenis van troebelheid van het water, met name veroorzaakt door anorganisch slib, voor de primaire productie in het aquatisch systeem en het hiermee samenhangende voedselweb?
2. Wat is bekend over de relatie tussen (veranderingen van) het anorganisch slibgehalte en/of stroomsnelheden in het water en het voorkomen (soorten en dichtheden) van macrozoöbenthos?
3. Spelen troebelheid en/of stroomsnelheden een rol bij het voorkomen van zeegras en mosselbanken op de Hond-Paap?
4. Hoe kunnen de effecten van verschillende scenario's in troebelheid, c.q. afname van de anorganische sliblast, het beste worden doorgerekend? Hierbij dient onderscheid per deelsysteem te worden gemaakt.

## Effecten van klimaatverandering

5. Wat is het effect van versnelde zeespiegelstijging, met name op diverse soorten arealen (geulen, droogvallende platen en sublitorale zandbanken) en op hun habitatkwaliteit/ecologische betekenis? Zo mogelijk dienen ook de effecten van stijging van de watertemperatuur te worden verkend.





## 2. Toegepaste methodiek

### 2.1 Hoe is de gebruikte kennis geselecteerd?

Als kennisbasis hebben de bij het MIRT-rapport voor de Eems-Dollard (Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Provincie Groningen, 2015) en de daaronder liggende rapporten gefungeerd. Tevens is aan een aantal experts gevraagd welke historische of actuele bronnen zij het meest relevant achten. Voor deze notitie is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van samenvattende publicaties; voor het bestuderen van de achterliggende, primaire bronnen was de ter beschikking staande tijd te kort. De lijst van geraadpleegde bronnen is achteraan deze notitie opgenomen.

De geraadpleegde experts, met de relevante kennisterreinen, zijn:

- › Dr. Ir. Bert Brinkman (AdviesBureauBAB, hoofdauteur van het Ecowasp model en van de toepassing daarvan op de Eems-Dollard)
- › Dr. Ir. Petra Dankers (RHDHV, projectleider van onderzoek aan de Eems-Dollard)
- › Dr. Laura Govers (RUG, zeegrasexpert)
- › Prof. Dr. Victor de Jonge (Institute of Estuarine and Coastal Studies-IECS, University of Hull), marien ecooloog en oceanograaf en algemeen Eems-Dollard expert; samen met Dr. U. Schüchel (National Park Authority, Schleswig-Holstein, Tönning, Germany) samensteller van een Ecologische Netwerk Analyse voor de Eems-Dollard, ENA)
- › Dr. Bas van Maren (Deltares, expert morfologie en slibgedrag in de Eems-Dollard)
- › Prof. Dr. Jaap van der Meer (NIOZ, algemeen expert op het gebied van mariene en estuariene ecosystemen, tevens algemeen modelexpert)
- › Prof. Dr. Ir. Katja Philippart (NIOZ; algemeen expert op het gebied van mariene en estuariene ecosystemen)
- › Prof. Dr. Ir. Zheng Bing Wang (Deltares, algemeen expert op morfologisch gebied)

Aan de hand van de geselecteerde publicaties, interviews en emailwisselingen met deze experts is een conceptnotitie opgesteld. Het concept is vervolgens voorgelegd aan de experts, bij een aantal van hen in meerdere gangen. Hun belangrijkste commentaar is verwerkt in deze notitie.

### 2.2 Hoe is de verkregen kennis geanalyseerd en gecombineerd en waarop zijn conclusies gebaseerd?

Er zijn, in grote lijnen, twee methoden om de ontwikkeling van een ecosysteem en de onderliggende drijvende factoren daarvan in te schatten:

- A. Metingen, aan (ruimtelijke verschillen in en/of het tijdsverloop van) belangrijke toestand- en/of procesvariabelen, gekoppeld aan kwalitatieve redeneringen over mogelijke oorzaak-effectrelaties tussen deze variabelen.
- B. Mathematische (computer)modellen, waarin metingen en systeemkennis worden gebruikt om meerdere proces- en toestandsvariabelen aan elkaar te koppelen, en hiermee oorzaak-effectrelaties kwantitatief te analyseren en te verkennen.



In deze notitie zijn beide methoden gebruikt om tot een inschatting te komen van de ontwikkeling van het ecosysteem en de oorzaken daarvan. Uiteraard kunnen modellen niet zonder metingen, maar daar waar onafhankelijke metingen op dezelfde oorzaken van bepaalde ontwikkelingen wijzen als de modellen zijn de hypothesen over deze oorzaken het sterkst.

**Vier op de Eems-Dollard gerichte modellen zijn in deze notitie beschouwd ten behoeve van methode B:**

- › Het model dat Deltares heeft ontwikkeld om de morfologische ontwikkelingen en slibtransporten te beschrijven. Hiermee zijn de autonome ontwikkeling van het Eems- estuarium in de komende decennia, en het effect van maatregelen daarop, bestudeerd. Het effect van zeespiegelstijging en baggerstrategieën op de morfologische ontwikkeling en de slibdynamiek is gerapporteerd in van Maren et al. (2019). Effecten van maatregelen op de slibhuishouding zijn gebaseerd op studies van Cronin et al. (2015) en van Maren et al. (2017).
- › Het model dat Deltares gebruikt heeft om de interactie tussen vertroebeling van de waterfase, nutriënten en primaire productie te beschrijven (zie Taal et al., 2015)
- › Het Ecowasp-model, dat de interactie tussen vertroebeling van de waterfase, nutriënten, primaire productie en primaire consumenten beschrijft (Brinkman & Tamis, 2017)
- › Ecologische Netwerk Analyse, die trofische relaties tussen diverse ecosysteemcomponenten legt (ENA; De Jonge et al., 2018).

Het valt buiten het bereik van deze notitie om deze modellen diepgaand te behandelen. Ze zijn vooral gebruikt om scenario's van mogelijke oorzaak-effect relaties te laten zien.

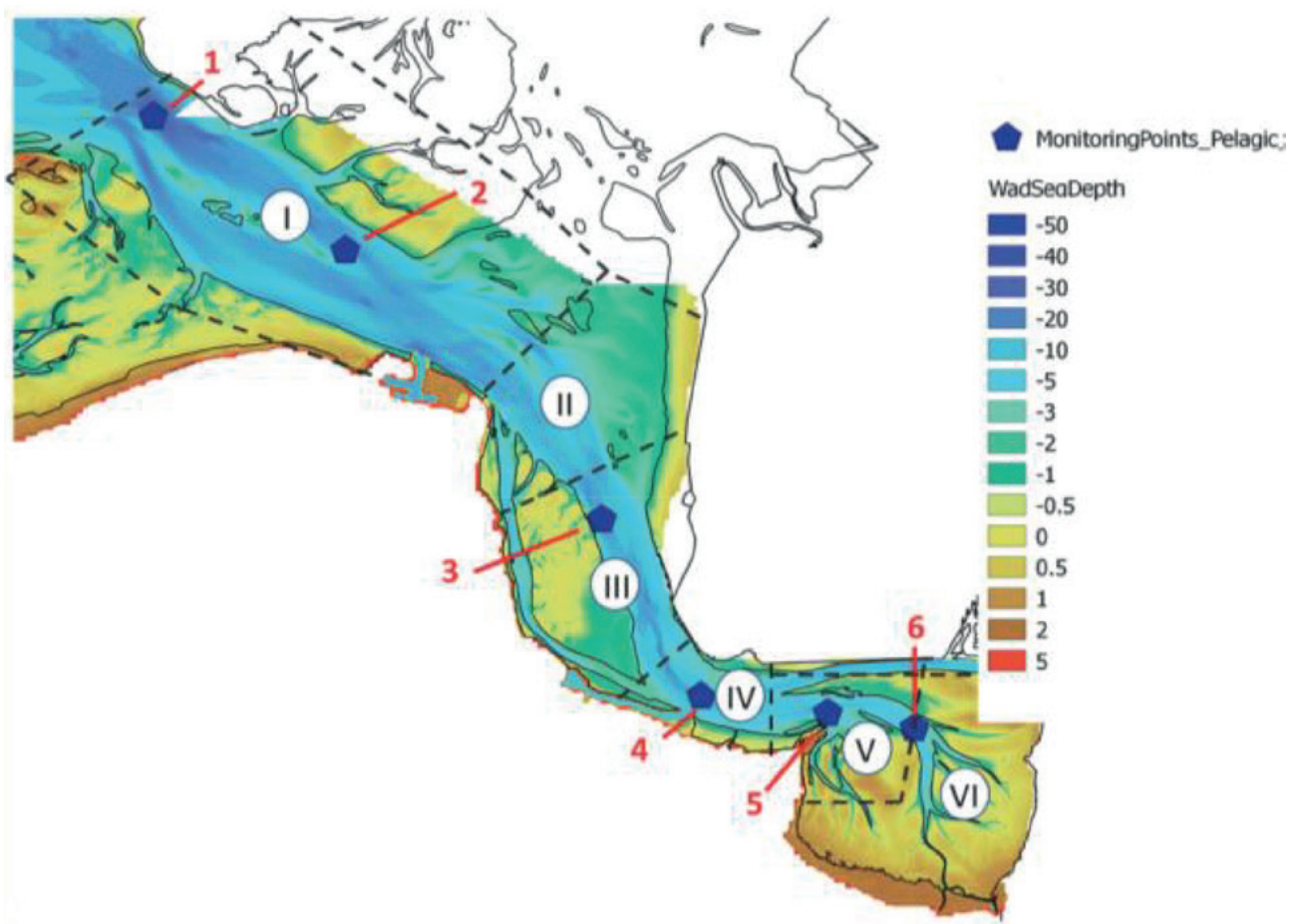
De getoonde Ecowasp-resultaten zijn het product van eerste exercities, vooral bedoeld om de bruikbaarheid van het model te demonstreren. Hoofdauteur Bert Brinkman onderstreept dat het nog verbetering behoeft met name om meer betrouwbare scenario's van de effecten van maatregelen te kunnen opstellen. Voor de in deze notitie verrichte analyse zijn de gepresenteerde resultaten echter wel als voldoende betrouwbaar te beschouwen (Brinkman, 2019b). Ten behoeve van deze notitie heeft Bert Brinkman een essay opgesteld over een aantal voor deze notitie gestelde onderzoeksvragen, in relatie tot de ecosysteemmodellering van het estuarium. Dit is opgenomen als Bijlage.



## 3. Metingen van, en verbanden tussen, belangrijke ecosysteemvariabelen

### 3.1 Inleiding

Figuur 1 geeft de in deze notitie aangehouden indeling van het estuarium weer. Deze indeling is geïntroduceerd in Brinkman et al. (2014). Het voordeel van deze figuur is dat ook meetpunten waaraan wordt gerefereerd in de hiernavolgende paragrafen zijn weergegeven. De indelingen van het estuarium kunnen per bron verschillen, met name voor de grens tussen Buiten- en Middengebied, maar in grote lijnen komen ze met deze figuur overeen.



Figuur 1: Indeling van de Eems-Dollard (conform Brinkman et al., 2014). Deel 1 is onderdeel van het Buitengebied, delen II, III en IV vormen globaal het Middengebied en delen V en VI de Dollard.

### 3.2 Gesuspendeerd materiaal slib in de waterfase: tijdsverloop

Het belangrijkste doel van deze notitie is om de invloed van anorganisch slib in de waterkolom van het Eems-Dollardgebied in kaart te brengen. Daarom volgt hier allereerst een samenvatting van het tijdsverloop van de slibconcentratie in de waterfase van het gebied:

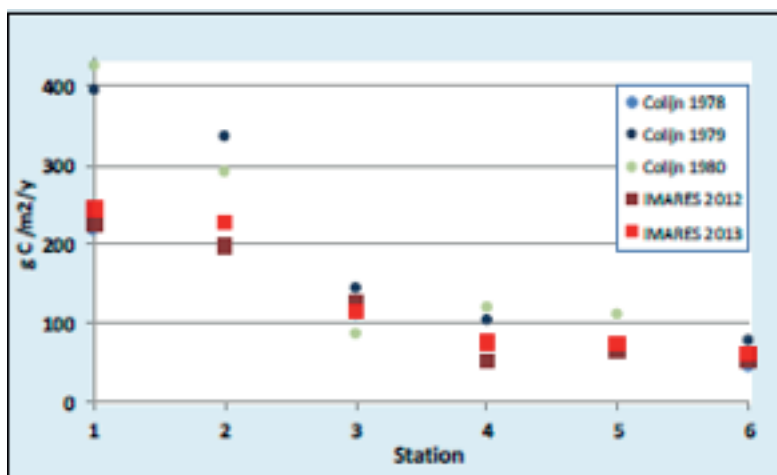
- › In Vroom et al (2012) is aangetoond dat de anorganische slibconcentratie in de periode 1990-2010 in het water van alle deelgebieden van de Eems-Dollard is gestegen, zij het in verschillende mate: het sterkst in de Dollard en het Middengebied, in mindere mate in het Buitengebied. Een en ander is in Taal et al. (2015) samengevat.
- › In de periode daarvoor is meer onzekerheid. Met name op basis van het werk van De Jonge (1983) en De Jonge et al. (2014) is het waarschijnlijk dat de slibconcentratie in de waterfase van het systeem momenteel hoger is dan in 1954, maar bijvoorbeeld in Vroom et al (2012) wordt geschat dat de slibgehalten in het Buitengebied rond 1980 juist hoger waren dan ze nu zijn.

### 3.3 De invloed van anorganisch slib in de waterfase op primaire productie door algen

Anorganisch slib in de waterkolom veroorzaakt vertroebeling, waardoor er minder licht beschikbaar is en minder (bruto) primaire productie van pelagische algen plaatsvindt. Benthische algen en zeegras op de droogvallende platen worden in veel mindere mate door troebelheid beïnvloed.

In deze paragraaf wordt de relatie tussen vertroebeling en primaire productie door pelagische algen behandeld. De mogelijke invloed op zeegras volgt in par. 3.4.

Figuur 2 (uit Taal et al., 2015) vat de belangrijkste primaire productiegegevens door pelagische algen samen voor twee tijdsperiodes (1978-80 en 2012-13).



Figuur 2: Bruto primaire productie per eenheid wateroppervlak per jaar in de Eems-Dollard in de periode 1978 - 1980, vergeleken met 2012 en 2013 (uit Taal et al., 2015, naar Brinkman et al., 2014). Zie Figuur 1 voor de ligging van de meetstations.

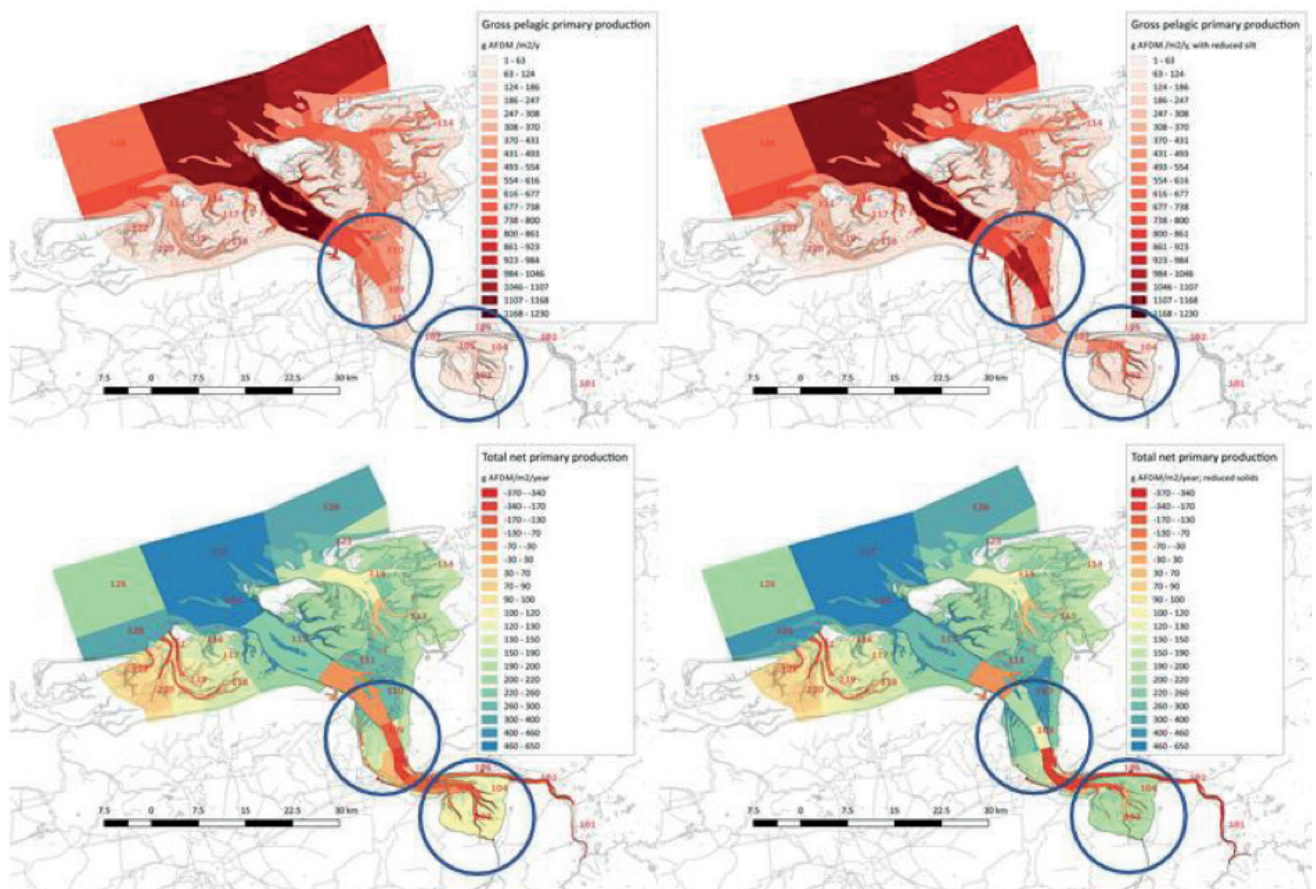
De figuur laat zien dat de primaire productie door pelagische algen met name in het Buitengebied en het noordelijke Middengebied in de periode 1978-80 tot 2012-13 is afgenomen. In het zuidelijke Middengebied en in de Dollard is de afname minder, maar is de pelagische primaire productie al heel laag. De data bevatten volgens (Brinkman, 2019c) een grote mate van onzekerheid, waardoor de verschillen vooral kwalitatief te interpreteren zijn.

Een potentiële verklaring voor afnemende primaire productie is afnemende nutriëntentoevoer. De algehele nutriëntengehaltes in het water van de Eems-Dollard zijn in de afgelopen decennia trendmatig afgenomen, door de sterke vermindering van de toevoer van organisch materiaal uit de Westerwoldse Aa en door het algehele oligotrofiëringsbeleid.

Uit De Jonge & Postma (1974) blijkt dat fosfor, de belangrijkste nutriënt, rond 1970 niet limiterend was voor de algengroei in het Middengebied en de Dollard. De analyse beschreven in Taal et al. (2015) wijst eveneens op afwezigheid van nutriëntenlimitatie in die deelgebieden in de periode 1970-80. Volgens Brinkman et al. (2014) en Brinkman & Tamis

(2017), gebaseerd op metingen van Riegman, was dat in de periode 2012-14 nog steeds niet het geval. In dat geval is afgenomen nutriëntentoevoer in de periode van ca. 1970 tot ca. 2014 geen goede verklaring voor een lage (Dollard en zuidelijk Middengebied) of afnemende (Noordelijk Middengebied) primaire productie. In het Buitengebied speelt nutriëntlimitatie waarschijnlijk wel een rol (Brinkman, 2014).

Een veel betere verklaring voor de lage primaire productie door pelagische algen in met name het Middengebied en de Dollard in deze periode is daarom het toegenomen anorganisch slibgehalte in de waterfase. Dit is dan ook de belangrijkste conclusie van zowel Taal et al. (2015) als Brinkman & Tamis (2017). Een illustratie hiervan vormt figuur 3, uit de laatstgenoemde publicatie: deze laat zien wat er volgens het Ecowaspmodel met de primaire productie gebeurt wanneer het slibgehalte in de waterfase van de Eems-Dollard als geheel afneemt: in het Middengebied en in de Dollard neemt de primaire productie toe.

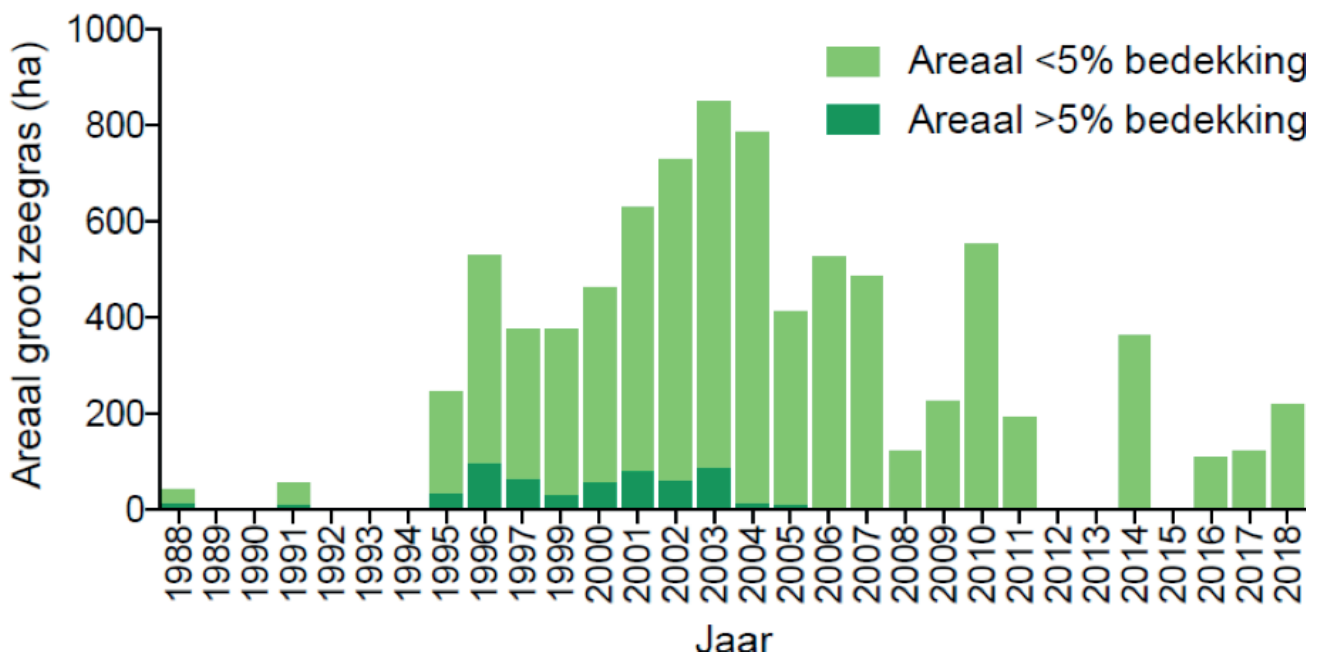


**Figuur 3:** Berekende veranderingen in bruto (boven) en netto (onder) primaire productie per m<sup>2</sup> per jaar in de Eems-Dollard conform het Ecowasp model. Standaard (links) en na in het model opgegeven gedeeltelijke reductie van slibgehalten in compartimenten nabij instroom Eems (rechts). De kleurstelling is mogelijk verwarrend. Voor de bruto primaire productie geldt: hoe donkerder rood hoe hoger. Voor de netto primaire productie is rood juist laag, en blauw hoog. Omcirkeling geeft de belangrijkste door het model berekende veranderingen aan (Brinkman & Tamis, 2017).

In beginsel is het mogelijk dat een vermindering van het slibgehalte in Dollard en Middengebied geen netto effect heeft op de totale primaire productie van het systeem, doordat de algen in Dollard en Middengebied de nutriënten zouden kunnen consumeren, waardoor er minder beschikbaar zou blijven voor de algen in het zo belangrijke Buitengebied. Met name de invloed van het toenemende slibgehalte op de primaire productie per eenheid oppervlak van het Buitengebied is daarbij van belang, door het grote oppervlak daarvan. Modeloefeningen met Ecowasp (Brinkman & Tamis, 2017) hebben echter ook gedemonstreerd dat dit mechanisme waarschijnlijk niet optreedt. Figuur 3 laat zien dat als in het Middengebied en in de Dollard de primaire productie toeneemt, die in het Buitengebied niet afneemt.

### 3.4 Is er een effect van slib op zeegras op de Hond-Paap?

Op de Hond-Paap, de droogvallende platen in het Middengebied heeft de afgelopen decennia zeegras ontwikkeld. De onderstaande grafiek (figuur 4) toont het verloop van de zeegrasbedekking. De grafiek is gebaseerd op data van Rijkswaterstaat en afkomstig uit (Govers, 2019a).



Figuur 4: Trend in zeegrasbedekking op Hond en Paap, conform (Govers, 2019a).

Duidelijk is dat er na circa 2004 sprake is van een trendmatige afname, maar ook van een eerdere toename vanaf circa 1995.

Waarschijnlijk is er geen relatie met de slibconcentratie in het gebied, aangezien er geen duidelijk verband met de slibconcentratie te zien is: deze fluctueert weliswaar sterk, maar neemt in de volledige periode trendmatig toe, terwijl de zeegrasbedekking eerst sterk toeneemt en vervolgens weer sterk afneemt.

De toe- en afname van litoraal zeegras op de Hond-Paap is eerder geconstateerd en uitvoerig geanalyseerd door Jager & Kolbe (2013). Zij observeren dat het zeegras in de regel op de hoogste delen van het plaatsysteem voorkomt en dat het plaatsysteem tot 2002 ophoogde om daarna af te nemen. De hoogteontwikkeling van de hoogste delen vertoont een sterke correlatie met het voorkomen van het zeegras. Jager & Kolbe (2013) laten ook zien dat in de jaren van ophoging het zeegras op de Hond-Paap op die hogere delen 40-60% van de tijd droog komt te vallen, wat binnen het optimale groeibereik van 40-65% van litoraal zeegras ligt. In de andere jaren, waarin het plaatsysteem lager ligt, is de droogvalduur overal op het plaatsysteem te kort.



De aangroei en daarna verlaging van het plaatsysteem Hond-Paap rond het jaar 2002 lijkt daarom een goede hypothese voor het mechanisme achter de toe- en afname van het zeegras. Jager & Kolbe (2013) hebben geprobeerd een oorzaak voor de aangroei en - verlaging van deze plaat te vinden, maar dit is onduidelijk gebleven.

Conform Govers (2019b) wordt bij de RUG een nadere analyse van de factoren achter de opvallende zeegrastrend op Hond-Paap verricht. Het resultaat hiervan wordt in april-mei verwacht.

### 3.5 De invloed van anorganisch slib in de waterfase op primaire consumenten

Onder 'primaire consumenten' wordt verstaan: organismen die de primaire productie als voedsel opnemen. Een sub-categorie daarvan is het macrozoöbenthos, met name de filtrerende schelpdieren, slakjes en wormen. Deze komen in de Eems-Dollard voor het overgrote deel op de droogvallende platen voor en spelen een belangrijke rol in estuariene eco-systemen, onder andere omdat ze voedsel vormen voor vogels die op de platen foerageren.

Anorganisch slib in de waterfase heeft twee mogelijke effecten op filtrerende organismen:

- › De voedingswaarde van het slib voor filtrerende organismen neemt af, waardoor groei, reproductie en overleving afnemen.
- › Er is minder algenproductie, door de vertroebelende werking van het slib, waardoor minder voedsel beschikbaar is.

Als slib uit de waterfase neerslaat op de bodem kan het ook de vestigingskansen van primaire consumenten verminderen. Daar waar dat in de Eems-Dollard plaatsvindt kan dit daarom ook een negatief effect op hen hebben, maar dit effect is nog niet in kaart gebracht.

Tot voor kort was niet gemeten hoe benthos op de droogvallende platen reageert op de toenemende slibconcentraties in het Eems-Dollard systeem. Daarin is verandering gekomen door een lange-termijn trendanalyse verricht door (Compton et al., 2017). Hierin zijn de BOEDE macrozoöbenthos data van 1974-75 vergeleken met de SIBES data van 2009-10. De vergelijking is gemaakt voor die monsterpunten van de twee programma's die binnen 500 meter van elkaar af lagen. In Compton et al. (2017) wordt daarom vertrouwen in de vergelijkbaarheid met de BOEDE data uitgesproken. Niettemin moet altijd rekening worden gehouden met onzekerheden, veroorzaakt door de sterke fluctuaties in de biomassa van organismen die kan optreden in estuariene ecosystemen.

Ondanks de onzekerheden concluderen Compton et al. (2017) dat met name in het Middengebied in de periode van 1974-75 tot 2009-10 een sterke afname van de benthische biomassa van schelpdieren (vooral *Mya Arenaria*) opgetreden is. Voor een deel zijn daar diverse wormensoorten voor in de plaats gekomen, maar de afname in schelpdierbiomassa is zo sterk dat ook de totale benthische biomassa in het Middengebied is afgenomen.

Volgens Compton et al. (2017) kan de afname in schelpdierbiomassa gerelateerd zijn aan de afname van de nutriëntentoevoer aan de Eems-Dollard. Dit wordt verder niet uitgelegd, maar het veronderstelde mechanisme daarachter moet een afname van de primaire productie zijn. Echter, zoals in par. 3.3 uiteengezet, is het trendmatig toegenomen slibgehalte in de waterfase een betere verklaring voor de afnemende primaire productie in het systeem, niet de afgenomen nutriëntentoevoer.

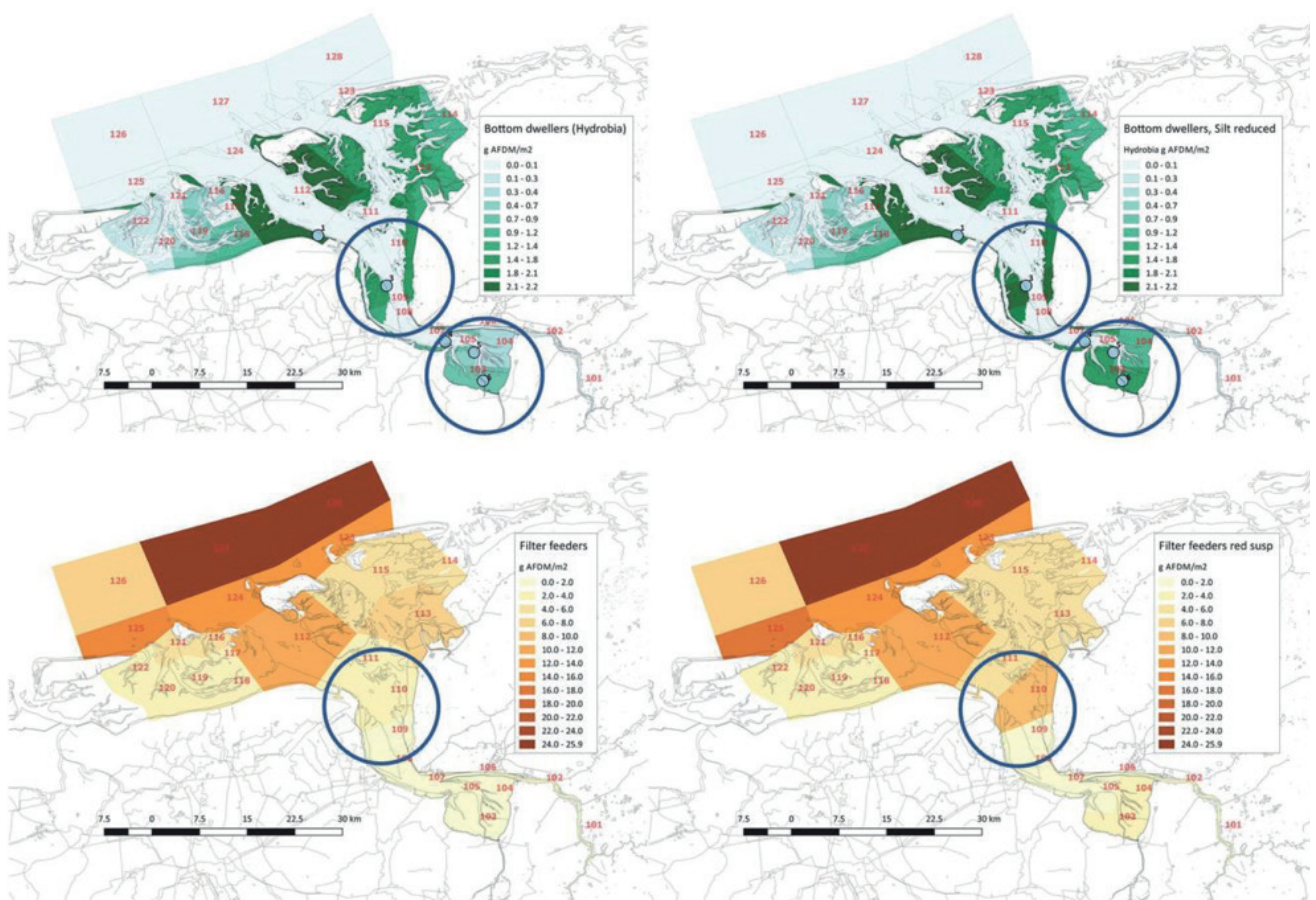
De toevoer van organisch materiaal uit de Westerwoldse Aa heeft indertijd gezorgd voor anoxische omstandigheden in de Dollard en die zijn sterk belemmerend voor benthische organismen als schelpdieren. De afname van die toevoer leidt echter juist tot verbeterde zuurstofcondities en vormt dus ook geen verklaring voor de afname in schelpdierbiomassa in de Dollard of verderop in het estuarium.

Hindering van de voedselfiltratie door anorganisch slib, mogelijk in combinatie met (door de toegenomen slibconcentratie) afgenomen primaire productie en verminderde vestigingskansen, is al met al een veel betere verklaring voor de afname van schelpdieren als *Mya arenaria*. Hindering van de voedselfiltratie effect treedt op bij slibconcentraties groter dan circa 100 mg/l (Brinkman, 2019b). Inderdaad wordt in Taal et al. (2015) getoond dat rond 2010 de gemiddelde slibconcentratie in

het Middengebied deze waarde overstijgt. In de Dollard overigens ook, wat waarschijnlijk de reden is dat filtrerende schelpdieren daar nauwelijks voorkomen.

De afname van de biomassa van schelpdieren in het Middengebied is zodoende zeer waarschijnlijk het gevolg van de trendmatig toegenomen anorganische slibconcentratie in de waterfase, met als waarschijnlijke mechanismen de belemmering van de voedselopname in combinatie met afgenomen primaire productie. Mogelijk zijn ook de vestigingskansen van schelpdieren afgenomen door toegenomen slibgehalten in het sediment.

Ondersteunende evidentie van het effect van slib in de waterfase volgt uit de Ecowasp-exercities (zie figuur 5). Deze laten zien dat bij gemodelleerde afname van het slibgehalte in de waterfase de soortgroepen die van algen leven (sediment browsers (slakjes) en filtreerders) in het Middengebied en de Dollard inderdaad toeneemt.



**Figuur 5:** Berekende concentratie per m<sup>2</sup> aan sediment browsers (slakjes) (boven) en filtrerende schelpdieren (onder), conform het Ecowasp model. Standaard (links) en na in het model opgegeven gedeeltelijke reductie van slibgehalten in compartimenten nabij instroom Eems (rechts). Omcirkeling geeft de belangrijkste door het model berekende veranderingen aan (Brinkman & Tamis, 2017).

De in Ecowasp gebruikte modelparameters zijn hierbij hetzelfde als voor de westelijke Waddenzee wat een ondersteuning is voor de hypothese dat:

- › de omstandigheden voor filtrerende organismen in de Eems-Dollard inderdaad (veel) minder goed zijn dan in de westelijke Waddenzee;
- › een verminderd slibgehalte inderdaad een positief effect kan hebben op die schelpdier/slakjes biomassa's.



Uit de geraadpleegde bronnen is geen duidelijke informatie voortgekomen over de invloed van stroomsnelheid op het macrozoöbenthos.

### 3.6 De invloed van anorganisch slib in de waterfase op andere trofische niveaus

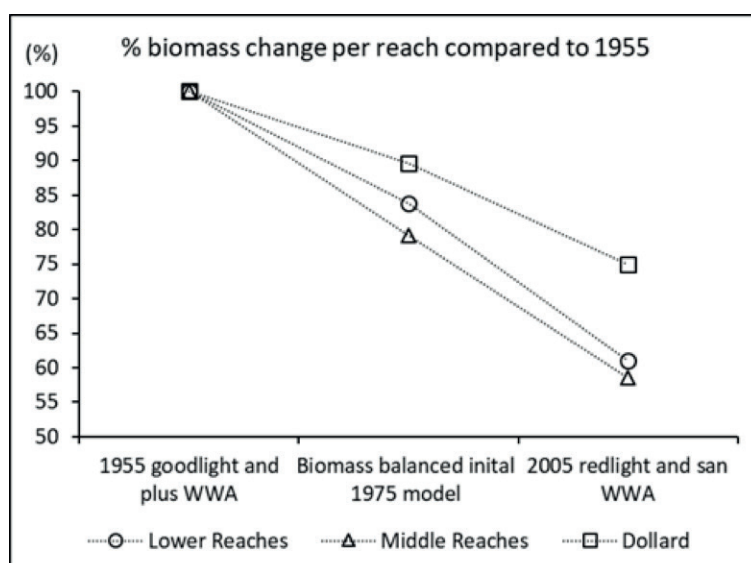
Trendinformatie op basis van metingen van andere onderdelen van het ecosysteem is er onder andere van de hoogste trofische niveaus, zoals vogels en zeehonden. Deze zijn niet goed te koppelen aan de veranderingen in het slibgehaltes. Er wordt momenteel bij het NIOZ wel gewerkt aan een completer dynamisch model van de Waddenzee en zijn deelgebieden, maar het zal nog zeker een jaar duren voordat dit gereed is (Van der Molen, 2018).

Op dit punt biedt de Ecologische Netwerk Analyse (ENA) voor de Eems-Dollard mogelijk soelaas (De Jonge et al., 2019a; De Jonge & Schückel, 2019).

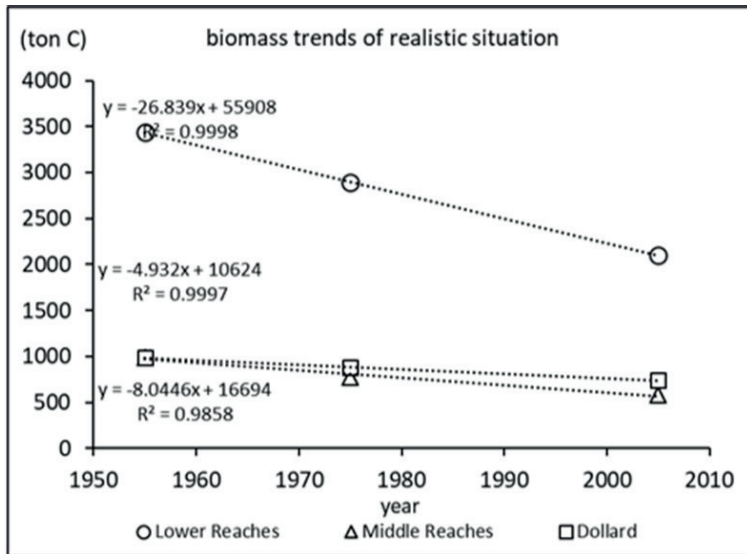
Tussen de verschillende soorten worden voor een bepaald jaar (in het onderhavige geval 1975) voedselrelaties bepaald en vastgelegd in een tabel. Er wordt van uit gegaan dat deze relaties in andere jaren blijven bestaan. Op basis hiervan worden voor andere jaren met een ander voedselaanbod (verlaagde primaire productie door verhoogde troebelheid en/of een andere hoeveelheid aangevoerd dood organisch materiaal) projecties gemaakt hoe de soortenbiomassa's veranderen als bepaalde drijvende krachten van het ecoysteem veranderen.

Op die manier hebben de Jonge en Schückel (2019) projecties gemaakt van de veranderde biomassa's per soort, per functionele groep en dus ook de totale biomassa, in de jaren 1955 en 2005. Hierbij zijn de slibgehaltes in de waterkolom gevarieerd. De resultaten voor 1955 en 2005 zijn derhalve niet gemeten, maar geëxtrapoleerd op basis van metingen in 1975 en de voedselrelaties die voor dat jaar zijn bepaald. In figuur 6 en 7 zijn als voorbeeld de totale biomassatrends in de deelgebieden die hieruit volgen weergegeven (De Jonge & Schückel, 2019).

Deze ENA-exercitie toont een geprojecteerde afname van de totale biomassa in alle deelgebieden. Deze afname is volgens de analyse procentueel het sterkst in het Middengebied. Volgens De Jonge (2019b) is de procentuele afname in lijn met de bentische biomassa-afname die gerapporteerd is in Compton et al. (2017).

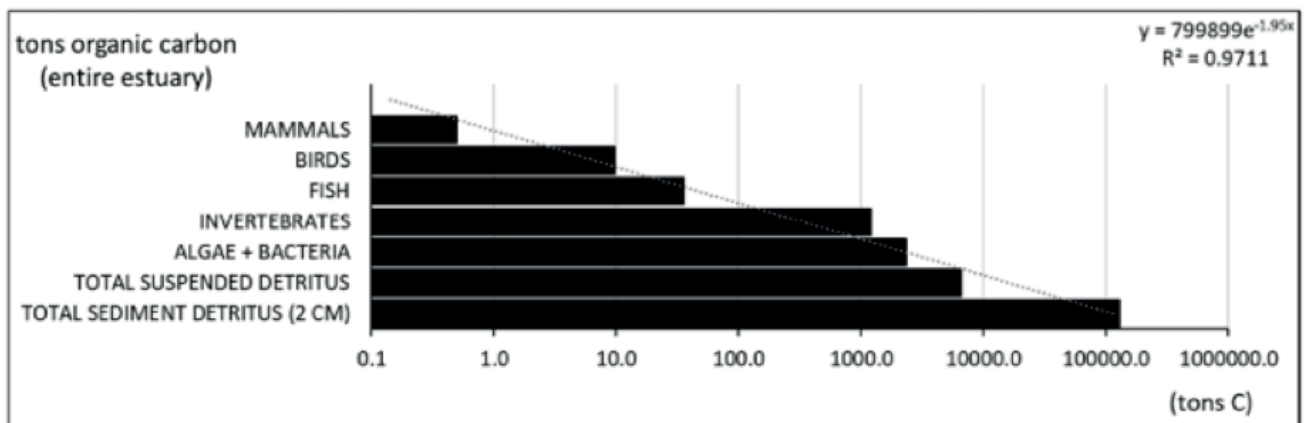


**Figuur 6:** Resultaten van ENA voor de totale biomassa ontwikkeling in de 3 delen van het Eems-Dollard estuarium, als percentage ten opzichte van 1955 conform De Jonge & Schückel (2019). De analyse is gebaseerd op metingen in jaar 1975 (vandaar 'Biomass balanced initial model' als onderschrift bij de horizontale as voor dat jaar). De totale biomassa's in 1955 en 2005 zijn daar door middel van ENA uit afgeleid.



**Figuur 7:** Dezelfde ENA-resultaten als in figuur 6, opnieuw conform De Jonge & Schückel (2019), maar nu uitgedrukt als absolute hoeveelheden koolstofbiomassa in de deelgebieden. Het Buitengebied bevat door zijn grote oppervlak het meeste biomassa.

Door middel van ENA kan ook een beeld geschetst worden van de verdeling van biomassa over de verschillende trofische niveaus (De Jonge, 2019c). Het resultaat is weergegeven in figuur 8.



**Figuur 8:** Beeld van de biomassa's, in tonnen koolstof, op de diverse trofische niveaus in de Eems- Dollard (De Jonge, 2019c).

Hieruit blijkt hoeveel biomassa in de onderste trofische niveaus (ongewervelden, algen, bacteriën, detritus) schuilt. Vanwege de zichtbaarheid en de structuur van de natuurbeschermingswetgeving gaat de aandacht in de regel uit naar de hogere trofische niveaus (vogels, zeezoogdieren). Gezien het belang van de onderste niveaus dat uit ENA blijkt is deze selectieve aandacht niet terecht.

## 4. Effecten van zeespiegelstijging en maatregelen op slib en habitats

### 4.1 Effecten van klimaatverandering

Bij Deltares zijn, in opdracht van Rijkswaterstaat, modelexercities gedaan om de morfologische effecten van zeespiegelstijging te onderzoeken (Van Maren et al., 2017 en 2019) voor het zichtjaar 2050. Hierbij is uitgegaan van de volgende gegevens:

- › In het Eems-Dollard estuarium heeft bodemdaling plaatsgevonden door gaswinning (met de sterkste daling nabij Delfzijl). De verwachting is dat deze bodemdaling doorgaat tot aan 2080 (met een maximum van ongeveer 15 cm).
- › Daarnaast is de verwachting dat de zeespiegel stijgt. Er zijn veel verschillende scenario's voor de te verwachten zeespiegelstijging; er is uitgegaan van het KNMI 2014W scenario. Dit was een extreem scenario ten tijde van publicatie (2015) maar inmiddels bestaan er ook voorspellingen met een aanzienlijk sterkere stijging. Het KNMI 2014W scenario gaat uit van een stijging van 28 cm tussen nu en 2050, en 88 cm in het jaar 2100.

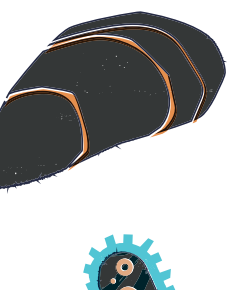
Door Deltares is een zand-slibmodel ontwikkeld waarmee de effecten van zeespiegelstijging op zowel het gedrag van zand als voor slib geschat kunnen worden. Oude kaarten suggereren dat het Eems-estuarium al eeuwenlang sediment-importerend is. De historische import van zand en slib wordt redelijk goed door het model ingeschat, wat vertrouwen geeft in de nauwkeurigheid van dit model. Wanneer het effect van zeespiegelstijging hiermee wordt doorgerekend, blijkt dat import van zand en slib heel verschillend worden beïnvloed door zeespiegelstijging.

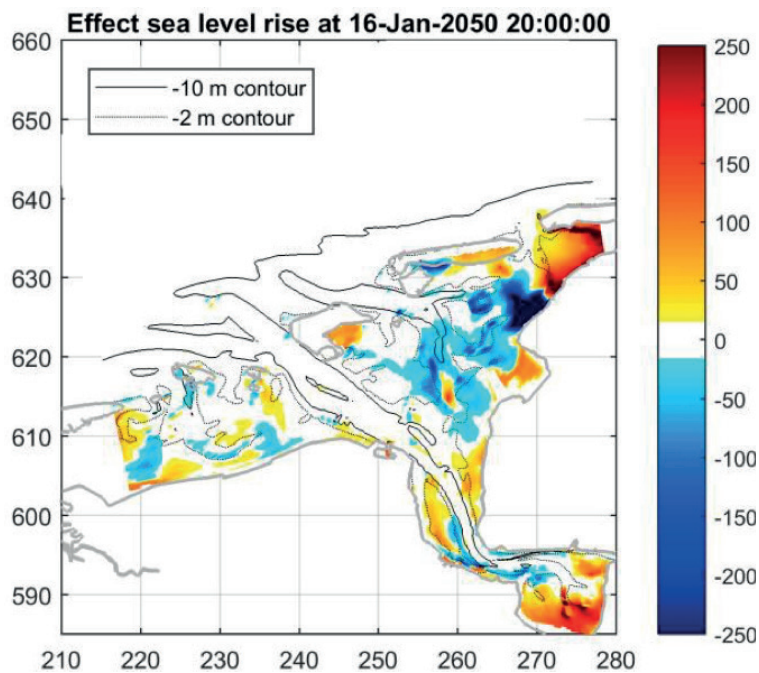
Versnelde zeespiegelstijging lijkt niet tot een significante extra import van zand te leiden. Het gevolg is dat getijgeulen en relatief diep liggende platen niet meegroeien met de zeespiegelstijging. Deze komen daardoor dieper te liggen. Slibrijke platen groeien meer mee. Dat komt doordat er boven deze platen meer ruimte beschikbaar komt waar slib kan bezinken wanneer de waterdiepte toeneemt door zeespiegelstijging. Dit gebeurt in de huidige slibrijke plaatgebieden zoals de Dollard en Leybocht, maar ook boven ondiepe geulen en platen welke nu nog sterk zandig zijn (bijvoorbeeld ten westen van de droogvallende plaat Hond-Paap). Zandige ondiepe gebieden worden daardoor slibrijker, zie Figuur 9. Maar hoewel boven alle ondiepe gebieden netto aanslibbing wordt voorspeld, betekent dit niet dat de platen de zeespiegelstijging overal voldoende bij kunnen houden.

De nauwkeurigheid van modellen is onvoldoende om vast te stellen of aanslibbing nu een paar centimeter meer of minder dan de opgelegde zeespiegelstijging is. De meerwaarde ligt vooral in de grootschalige patronen: de platen, en dan vooral in de Dollard, groeien aan en worden aan het oppervlak slibrijker; bodemverandering in de geulen is vooral het gevolg van laterale migraties.

In een eerdere modelexercitie stadium heeft WMR (Baptist, 2017) de verandering in kwaliteit en ecologische betekenis van habitats door zeespiegelstijging geanalyseerd. Dit was echter gebaseerd op eerste modelresultaten van Deltares, die niet geheel correct bleken. Het verdient aanbeveling de habitatanalyse op basis van bovengenoemde modelresultaten te vervolmaken. Het verdient aanbeveling om aan het gebruikte model een module toe te voegen waarmee het effect van het slibrijker worden van zandige ondiepe gebieden op benthische organismen kan worden geanalyseerd.

Met de bestaande kennis en ecosysteemmodellen kunnen de effecten van temperatuurverandering in water en lucht op flora en fauna nog niet worden voorspeld.





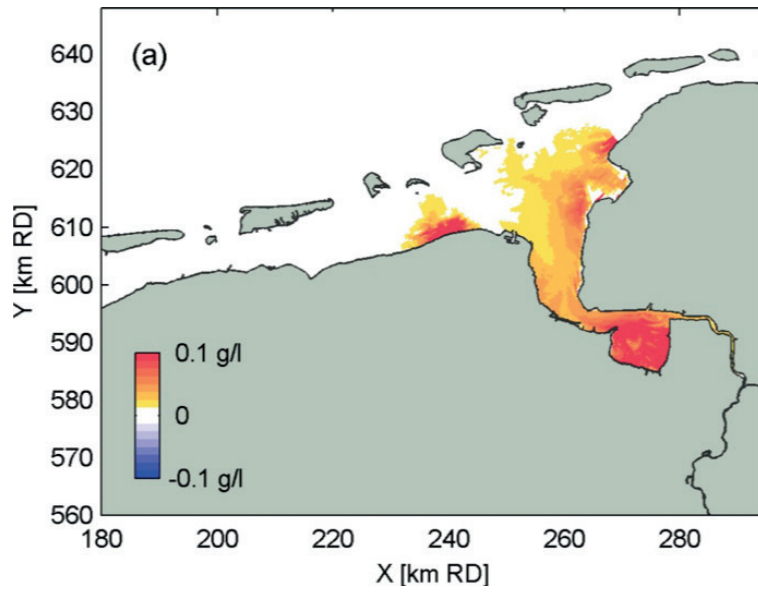
**Figuur9:** Toename in slibgehalte (in 2050) door zeespiegelstijging (in kg/m<sup>2</sup>; 250 kg/m<sup>2</sup> is equivalent aan 0.5 m stijging of daling). Rode gebieden worden slibrijker, blauwe gebieden slibbarmer (Van Maren et al., 2019).

## 4.2 Effecten van maatregelen op de slibhuishouding

De morfologische ontwikkeling als gevolg van maatregelen is nog niet onderzocht met het modelinstrumentarium beschreven in paragraaf 4.1. Wel heeft Deltares met een slibmodel (zonder bodemveranderingen) ook diverse maatregelen onderzocht om de vertroebeling te verminderen (zie Cronin et al., 2015 en van Maren, 2017). De doorgerekende maatregelen zijn sterk gekoppeld aan de onttrekking of vastlegging van sediment. De motivatie hiervoor zijn resultaten van de MIRT studie (Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Provincie Groningen, 2015) en Van Maren et al. (2016) waaruit blijkt dat een van de belangrijkste redenen voor een toegenomen vertroebeling het verlies aan bezinkplekken voor slib is. De toegenomen vertroebeling kan daarom gemitigeerd worden door meer intergetijdengebieden te creëren, of door sediment aan het estuarium te onttrekken.

De meest effectieve maatregel om de vertroebeling te verminderen is, volgens de modelresultaten, het onttrekken van slib wat bezinkt in havens en vaarwegen. Dit leidt tot een significante afname van de vertroebeling in het hele estuarium (Figuur 10). Storten van gebaggerd slib in luwe gebieden in de Eems-Dollard leidt ook tot een afname, maar minder dan wanneer slib wordt onttrokken of op de Noordzee wordt verspreid (Cronin et al., 2015).

Slibinvang kan zowel binnendijks, zoals in kwelders, als buitendijks bevorderd worden. Een grote binnendijkse slibvang (zoals doorgerekend in van Maren et al., 2017) is zeer efficiënt in het reduceren van de slibconcentratie, en vergelijkbaar met onttrekking. De effectiviteit van buitendijkse slibvang is afhankelijk van de locatie en methode: de doorgerekende aanpak in van Maren et al. (2017), dat wil zeggen een verlengde punt van Reide, leidt tot een minder sterke afname van de vertroebeling dan de binnendijkse slibvang. In het algemeen geldt wel dat het in het estuarium geaccumuleerde slib verwijderd moet worden om de effectiviteit van de maatregelen over langere tijdschalen te waarborgen. Tenzij er sprake is van meestijgen van bijvoorbeeld kwelders met de zeespiegel door slibinvang. Nuttig gebruik van ingevangen slib, in de vorm van klei (via een kleirijperij) wordt onderzocht als onderdeel van het programma Eems-Dollard 2050.



**Figuur 10:** Jaargemiddelde afname in slibconcentratie (in rood) wanneer al het slib wat bezinkt in havens en vaarwegen uit het Eems-Dollard estuarium wordt onttrokken (Van Maren et al., 2016).

## 5. Antwoorden op de onderzoeksvragen, aanbevelingen en commentaar door experts



### 5.1 Antwoorden op de onderzoeksvragen

In deze paragraaf worden de antwoorden op de gestelde onderzoeksvragen samengevat, op basis van de bevindingen in hoofdstuk 4.

**Vraag 1 en 2:** Wat zijn de meest recente inzichten in de betekenis van troebelheid van het water, met name veroorzaakt door anorganisch slib, voor de primaire productie in het aquatisch systeem en het hiermee samenhangende voedselweb? Wat is bekend over de relatie tussen (veranderingen van) het anorganisch slibgehalte en/of stroomsnelheden in het water en het voorkomen (soorten en dichtheden) van macrozoöbenthos?

**Antwoord:** Er zijn voor zowel de Dollard als het Middengebied inderdaad sterke aanwijzingen dat de trendmatig toegenomen slibconcentratie in de waterfase, in de periode van circa 1970 tot ongeveer heden, een sterk negatieve invloed op het ecosysteem heeft gehad, met als belangrijkste geconstateerde verschijnselen: afname van zowel pelagische primaire productie, schelpdierbiomassa als totale benthische biomassa. In het Middengebied is de afname van de schelpdierbiomassa relatief het sterkst.

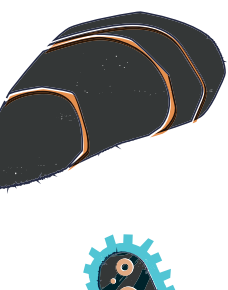
Er is discussie tussen de geraadpleegde experts over de rol van het slib in het Buitengebied.

De vermindering van de schelpdierbiomassa in het Middengebied volgt uit metingen, waarin de periode BOEDE data van 1974-75 vergeleken zijn met de SIBES data van 2009-10. Zoals uiteengezet in par. 3.3. is toename van de anorganische slibconcentratie hiervoor een plausibele verklaring. Kwalitatief worden deze verschijnselen ook met het Ecowasp model, dat onafhankelijk van de bovengenoemde metingen aan de benthische biomassa is opgesteld, gesimuleerd. De consistentie tussen metingen en modelexercities maakt de hypothese dat de anorganische slibtoename de oorzaak hierachter is heel sterk.

Volgens de Ecologische Netwerk Analyse (ENA) van De Jonge en Schückel leidt de afname van primaire productie ook tot een vermindering van de totale biomassa in het ecosysteem van de Eems-Dollard. ENA demonstreert tevens het grote belang van de basis van het voedselweb (detritus, algen en bacteriën) vanuit het meeste biomassa van het ecosysteem bevindt zich daar.

**Vraag 3:** Spelen troebelheid en/of stroomsnelheden een rol bij het voorkomen van zeegras en mosselbanken op de Hond-Paap?

**Antwoord:** De meest waarschijnlijke verklaring voor de toe- en afname van het zeegras op de Hond-Paap in de periode 1990-2010 is een verandering in de hoogteligging van dit plaatsysteem, opgetreden rond 2002. Voor die hoogteverandering is geen verklaring gevonden. Momenteel loopt een onderzoeksproject bij de RUG om dit nader te analyseren.





**Vraag 4:** Hoe kunnen de effecten van verschillende scenario's in troebelheid, c.q. afname van de anorganische sliblast, het beste worden doorgerekend? Hierbij dient onderscheid per deelsysteem te worden gemaakt.

**Antwoord:** De kennis over het ecosysteem van de Eems-Dollard, en de drijvende krachten achter veranderingen daarin, is de afgelopen jaren toegenomen. Dat komt in de eerste plaats door metingen, met name de SIBES-bemonsteringen en de vergelijking met de BOEDE- data. Ondanks de onzekerheden die inherent zijn aan elke datavergelijking hebben deze systematische metingen essentiële trendinformatie van benthische organismen opgeleverd. Eveneens essentieel zijn de recente metingen aan primaire productie (door Riegman), die vergeleken konden worden met oudere gegevens (van Colijn).

Modelexercities, zoals met Ecowasp en ENA, kunnen diverse scenario's met bijvoorbeeld afname in de anorganische sliblast doorrekenen. De geraadpleegde experts geven daarbij in het algemeen de voorkeur boven een dynamisch model, zoals Ecowasp. Ook al is dat nog verre van perfect. Dat laatste komt mede doordat veel velddata nog ontbreken. Het meeste onderzoek wordt maar gedurende enkele jaren uitgevoerd. Langdurige tijdreeksen zijn zeldzaam, zeker als het proceskennis (zoals onder andere primaire en secundaire productie, systeemrespiratie) betreft. Ook betreft onderzoek vaak een beperkt deel van het ecosysteem, terwijl voor modelonderzoek het gehele systeem zo goed mogelijk in kaart zou moeten worden gebracht. De uitgevoerde Ecologische Netwerk Analyse maakt dat duidelijk, maar dat geldt evenzeer voor dynamische modellering, zoals met EcoWasp.

In lijn wordt momenteel een systematisch monitoringnetwerk opgezet, zoals aanbevolen door Programma Eems-Dollard 2050 & Waddenacademie (2017). De aandacht voor met name de lagere trofische niveaus is echter nog beperkt.

**Vraag 5:** Wat zijn de effecten van klimaatverandering? Het gaat hierbij met name om veranderingen in arealen en kwaliteit en ecologische betekenis van habitats die het gevolg zijn van versnelde zeespiegelstijging en, zo mogelijk, stijging van de watertemperatuur.

**Antwoord:** De modelexercities om de effecten van zeespiegelstijging te voorspellen suggereren dat de Eems-Dollard als geheel weinig meegroeit met de zeespiegel. Dat komt vooral doordat zeespiegelstijging niet lijkt te leiden tot een significante extra import van zand. Het gevolg is dat met name getijgeulen en relatief diep liggende platen niet meegroeien met de zeespiegelstijging. Op de huidige slibrijke plaatgebieden zoals de Dollard en Leybocht, maar ook in ondiepe geulen, welke nu nog sterk zandig zijn (bijvoorbeeld ten westen van de droogvallende plaat Hond-Paap), sedimenteert meer slib. Zandige ondiepe gebieden worden daardoor slibrijker, en daardoor mogelijk ook minder geschikt als vestigingsplaats voor benthische organismen. Hoewel boven alle ondiepe gebieden netto aanslibbing wordt voorspeld, betekent dit niet dat de platen de zeespiegelstijging bij kunnen houden. Slechts lokaal voorspelt het model een aanslibbingssnelheid hoger dan de zeespiegelstijging (28 cm tot aan 2050).

Een adequate analyse van de verandering in kwaliteit en ecologische betekenis van habitats door zeespiegelstijging is momenteel nog niet beschikbaar, maar kan op basis van een eerdere modelexercitie van WMR wel worden gemaakt. Een nuttige uitbreiding van het gebruikte model zou een module zijn om het effect van het slibrijker worden van zandige ondiepe gebieden op benthische organismen te bepalen.

Effecten van temperatuurverandering zijn met de bestaande kennis en modellen niet goed te voorspellen.

Uit eerdere modelstudies is al gebleken dat slibonttrekking een effectieve maatregel is om de vertroebeling te verminderen. Dat kan bijvoorbeeld door het onttrekken van sediment wat bezinkt in havens en vaarwegen. Storten van gebaggerd sediment in luwe gebieden leidt ook tot een afname, maar minder dan wanneer sediment wordt onttrokken of op de Noord-zee wordt verspreid. Een grote binnendijkse slibvang is zeer efficiënt in het reduceren van de slibconcentratie, en vergelijkbaar met onttrekking.

## 5.2 Aanbevelingen

Aanbevolen wordt om te overwegen het monitoringprogramma dat momenteel ontwikkeld wordt uit te breiden in de richting van de lagere trofische niveaus, gezien het belang hiervan in het ecosysteem.

Aanbevolen wordt ook om op basis van betere metingen de bestaande ecosysteemmodellen (zoals van Deltares voor de morfologie en dat van WMR en Ecowasp voor overige ecosysteeminteracties) te voeden. Deze zijn van groot belang om de effecten van mogelijke verbetermaatregelen te kunnen bepalen. Tegelijkertijd kunnen nadere exercities met deze modellen worden uitgevoerd, om meer inzicht in, en meer zekerheid over, belangrijke interacties in het ecosysteem te verkrijgen. Daarmee kan ook het monitoringprogramma meer doel en richting worden gegeven.

Op kortere termijn wordt aanbevolen om de analyse van de verandering in ecotopen en bijbehorende flora en fauna door zeespiegelstijging, zoals in aanzet gemaakt door Baptist (2017), aan te passen. In de eerste plaats omdat de mate van meegroeien van geulen en platen anders is dan oorspronkelijk voorspeld, in de tweede plaats vanwege het slibbiger worden van zandige ondiepe gebieden en de invloed die dit kan hebben op bentische organismen.

## 5.3 Commentaar door geraadpleegde experts

Deze notitie is voorgelegd aan de geraadpleegde experts. Zij ondersteunen de algemene conclusies en aanbevelingen zoals hierboven verwoord.

Er blijkt nog veel discussie over verschillende onderwerpen, met name over wat en hoe gemeten moet worden om de belangrijkste ontwikkelingen in het ecosysteem (incl. de onderliggende morfologie) goed te volgen en over hoe het ecosysteem het beste gemodelleerd kan worden om de belangrijkste ecosysteeminteracties te begrijpen en de gevolgen van maatregelen te voorspellen.

# Referenties



Baptist, M. (2017) Ecologisch perspectief hydromorfologische verbetering Eems-Dollard 2050. Beoordeling van het streefbeeld voor de Eems-Dollard voor zes hydromorfologische maatregelrichtingen, Wageningen University & Research Rapport C087/17

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

Brinkman, A.G. & J.E. Tamis (2017). Ems-Dollard ecosystem model to study changing turbidity and higher trophic level response. Wageningen Marine Research rapport C058/17, 72 pp. + 214 pp appendices.

Brinkman, A.G., 2019a, pers. comm. d.d. 04-02-2019 Brinkman, A.G., 2019b, pers. comm. d.d. 20-02-2019 Brinkman, A.G., 2019c, pers. comm. d.d. 12-03-2019

Compton, T.J., S. Holthuijsen, M. Mulder, M. van Arkel, L. Kleine Schaars, A. Koolhaas, A. Dekinga, J. ten Horn, P.C. Luttikhuisen, J. van der Meer, T. Piersma, H.W. van der Veer (2017) Shifting baselines in the Ems Dollard estuary: A comparison across three decades reveals changing benthic communities *Journal of Sea Research* (2017), <http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2017.06.014>

Cronin, K., Villars, N., W. Stolte, A. de Kluiver, B. van Maren (2015). Mud dynamics in the Ems-Dollard, phase 3: Scenarios for improvement. Deltares report 1205711-003, 97 p.

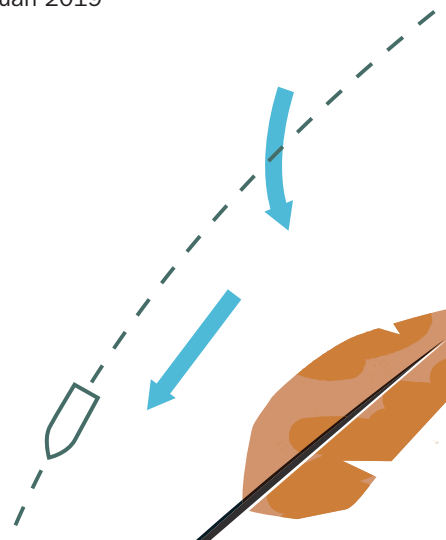
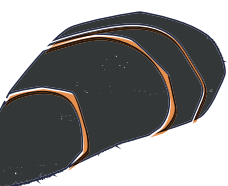
De Jonge, V.N en H. Postma (1974), Phosphorus compounds in the Dutch Wadden Sea, *Netherlands Journal of Sea Research*, 8 (2-3): 139-153 (1974)

De Jonge, V.N. (1983) Relations between annual dredging activities, suspended matter concentrations, and the development of the tidal regime in the Ems estuary. *Can J Fish Aquat Sci* 40 (Suppl 1): 289-300

De Jonge, V.N., H.M. Schuttelaars, J.E.E. van Beusekom, S.A. Talke SA, H.E. de Swart (2014) The influence of channel deepening on estuarine turbidity levels and dynamics, as exemplified by the Ems estuary. *Est Coast Shelf Sci* 139: 46-59

De Jonge, V.N, U. Schückel, D. Baird (2018) Effects of spatial scale, species aggregation and balancing on carbon flows and ecological network analysis indicators of food webs. Submission id:21479; Manuscript number 201612078, 3rd RESUBMISSION number MEPS 201801044\_1\_s\_3

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



De Jonge, V.N., U. Schückel (2019) Exploring effects of dredging and organic waste on the functioning and the quantitative biomass structure of the Ems estuary food web by applying Input Method balancing in Ecological Network Analysis. Ocean & Coastal Management (in druk).

Essink K. (2003) Response of an estuarine ecosystem to reduced organic waste discharge. Aquatic Ecology 37: 65-76

De Jonge, V.N. (2019b), pers. comm. d.d. 01-02-2019 De Jonge, V.N. (2019c), pers. comm. d.d. 20-02-2019

De Vries, B. A. van Mastrigt, P. Dankers (2018) Factsheets monitoringsplan, Versie: 1.0/Eindconcept, DHV/Royal Haskoning, Projectnummer: BF7326-101-100

Govers, L. (2019a) Groot zeegras Hond-Paap en mogelijk bottlenecks, memo opgesteld t.b.v. onderhavige notitie.

Govers, L. (2019b), pers. comm. d.d. 15-02-2019

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

Ministerie van Infrastructuur en Milieu en de Provincie Groningen (2015) Economie en Ecologie Eems-Dollard in balans, Eindrapport MIRT-onderzoek, red. Sas Consultancy, November 2015

Postma H. (1960) Einige Bemerkungen über den Sinkstofftransport im Ems-Dollart Gebiet. Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb.k. Gen/ Geol. Serie DI XIX. Symp Ems-Estuarium (Nordsee) pp 103-110

Vroom J., H. Van den Boogaard & B. Van Maren (2012) Mud dynamics in the Ems-Dollard, research phase 2. Analysing existing data. Deltares report 1205711-001

Programma Eems-Dollard 2050 en Waddenacademie (2017), Contouren Monitoring Programma Eems-Dollard 2050

Taal, M.D., C.A. Schmidt, A.G. Brinkman, W. Stolte, D.S. Van Maren (2015) Slib en primaire productie in het Eems-estuarium, Een samenvatting van vier jaar meten, modelleren, kennis bundelen en verwerven, gezamenlijk rapport van Deltares, Imares en Rijkswaterstaat, december 2015

Van der Molen, J. (2018) Email d.d. 13-12-2018

Van Maren, B., R. Schrijvershof, B. Smits, K. Cronin, M. van der Wegen (2017) Hydromorfologische verbetering ED2050, Eerste beoordeling maatregelrichtingen, Deltares 11200116-000

Van Maren, D.S., A.P. Oost, Z.B. Wang, P.C. Vos (2016) The effect of land reclamations and sediment extraction on the suspended sediment concentration in the Ems Estuary. Marine Geology 376, 147-157.

Van Maren, D.S., Schrijvershof, R, en Vroom, J. (2019), Hydromorfologische ontwikkeling Eems-Dollard: optimalisatie morfologisch model en voorspelling autonome ontwikkeling Eems-estuarium i.h.k.v. ED2050. Deltares concept rapport 11202245-000, 93 p.



# PROGRAMMA NAAR EEN RIJKE WADDENZEE



**WAD VEERKRACHTIG!**

## **Bijlage**



Antwoord op een deel van de onderzoeksvragen door Bert Brinkman  
Brinkman Adviesbureau BAB, Vloedlijn 37, Den Burg



## Vraag 1 Wat is de doorvertaling van het effect van vertroebeling naar hogere trofische niveaus, pelagisch en op de platen?

**Gesteld wordt allereerst: “We gaan ervan uit dat het verband tussen vertroebeling en algengroei goed bekend is, conform eerdere studies van Deltares (...). De belangrijkste vraag is hoe algengroei door te vertalen is naar hogere trofische niveaus”.**

### **Antwoord.**

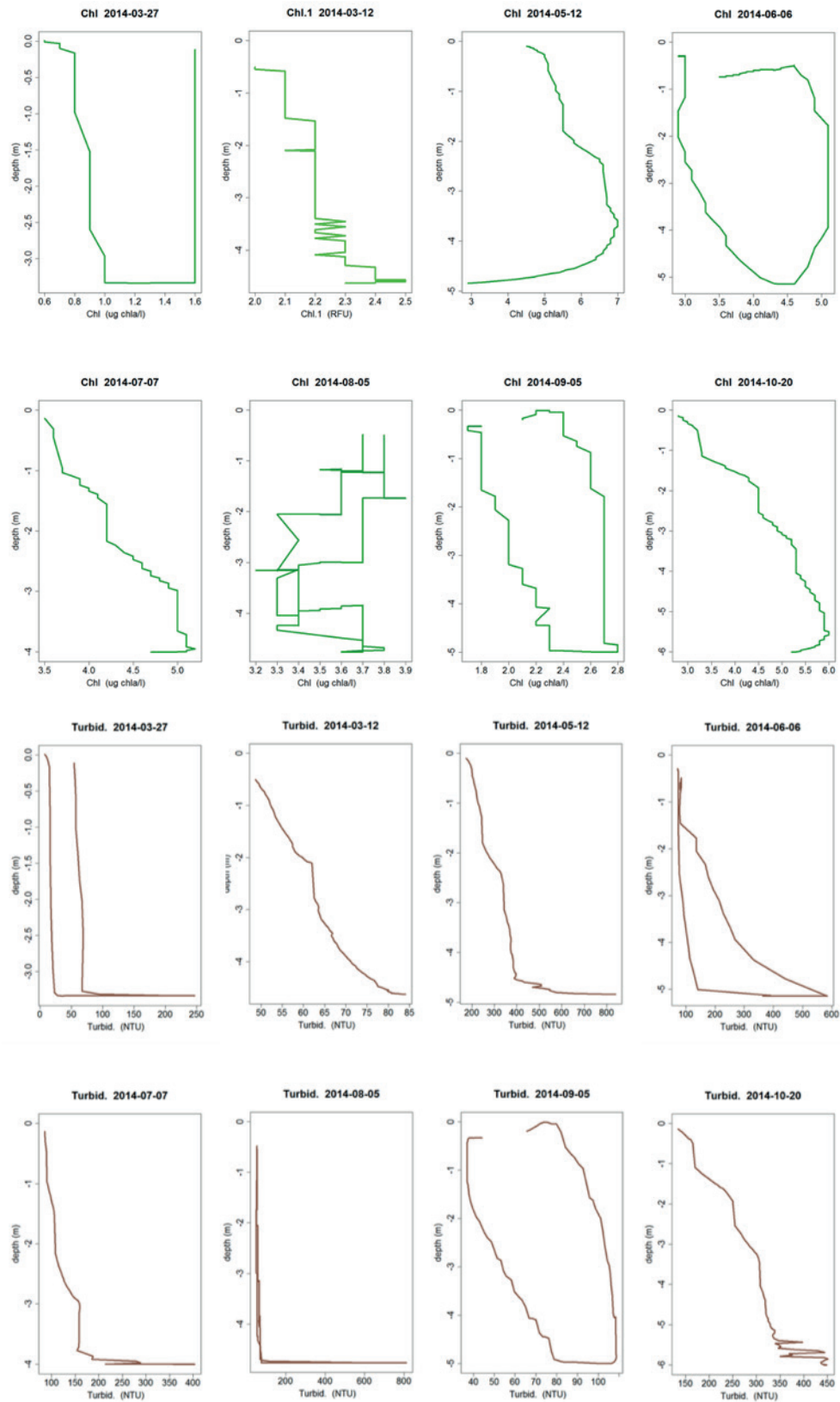
#### **FYTOPLANKTON**

Voor de vraag zelf te beantwoorden kunnen er nog wel vragen gesteld worden bij de stelling dat het verband troebeling-  
algengroei goed bekend is. Er is zeker véél van bekend, maar dat heeft bijna uitsluitend te maken met (1) het verband  
tussen troebelheid en lichtklimaat in de waterkolom en (2) minder met de afhankelijkheid van algengroeisnelheden van licht  
en voedingsstoffen.

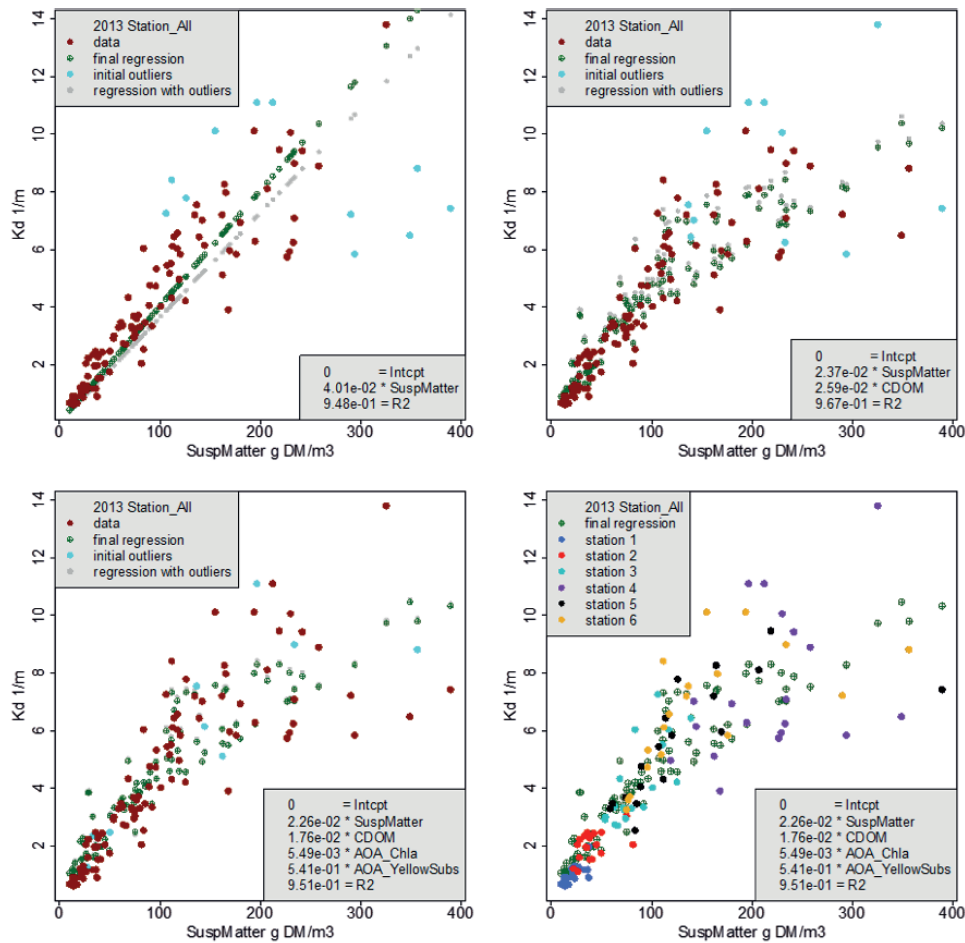
In 2012 en 2013 is een groot aantal metingen gedaan naar het verband tussen lichtintensiteit en algengroeisnelheden; dit  
was werk van Riegman (IMARES). De resultaten hiervan zijn tot op zekere hoogte door Deltares gebruikt, maar zeker niet  
1:1 overgenomen. Dit is overigens evenmin gebeurd bij de latere modelstudie door Brinkman & Tamis (2016).

In de Figuur 1 is aangegeven welke profielen er aangetroffen kunnen worden van chlorofyl en van zwevende stof, uitgedrukt  
in troebelheid (in dit geval in de Dollard).



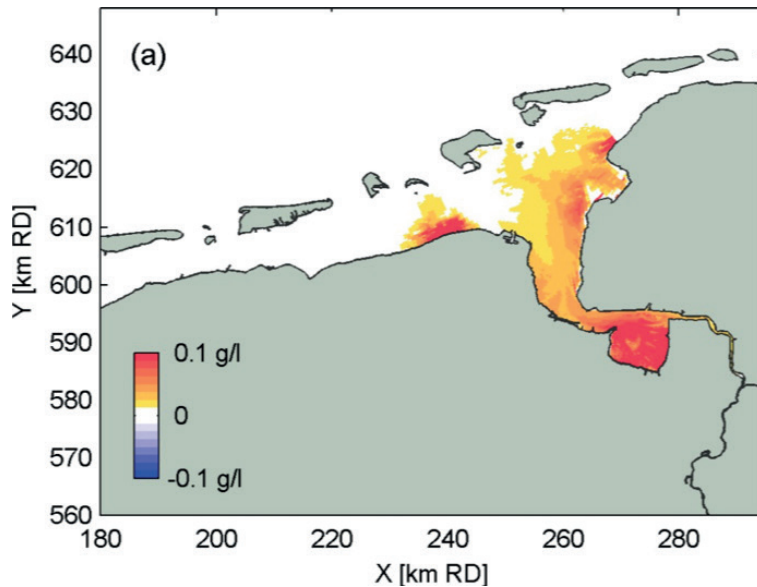


**Figuur 1:** Vertical water column profiles of chlorophyll-a (upper, in 2014, in  $\mu\text{g chl a l}^{-1}$ ) and turbidity (lower, in 2014, in NTU, at same dates as chl-a) at station Groote Gat Noord. Note that vertical differences occur and are larger than those for temperature and conductivity. Note that at 2014-03-12 the fluorescence result is shown since chlorophyll-a data are missing for that day. Onderzoek Riegman et al; gekopieerd uit Brinkman et al, 2014.



**Figuur 2:** Relationship between  $K_d$ , suspended matter, CDOM, Chl-a and yellow substances in 2012. Upper left: only Suspended matter as independent variable; upper right: CDOM (coloured organic matter) is included; lower left: all variables included. Lower right: as lower left, but with all station separately coloured. Uit: Brinkman et al, 2014.

In Figuur 2 is aangegeven wat de gevonden relatie is tussen zwevende stof en lichtuitdoovingsparameter (de extinctie-coëfficiënt  $K_d$  in  $m^{-1}$ ) waarbij die relatie niet lineair is; ze hangt niet alleen van de anorganische zwevende stof af, maar ook van het gesuspendeerde organische materiaal. Dit is vooral detritus; algen zelf spelen hierbij slechts een ondergeschikte rol. Ook opgelost organisch materiaal ("Gelbstoff" of "Yellow Matter", wat vooral opgelost of kolloïdaal humusachtig materiaal is) draagt bij, vooral in de Dollard en bij de uitstroom van de Eems in het estuarium.



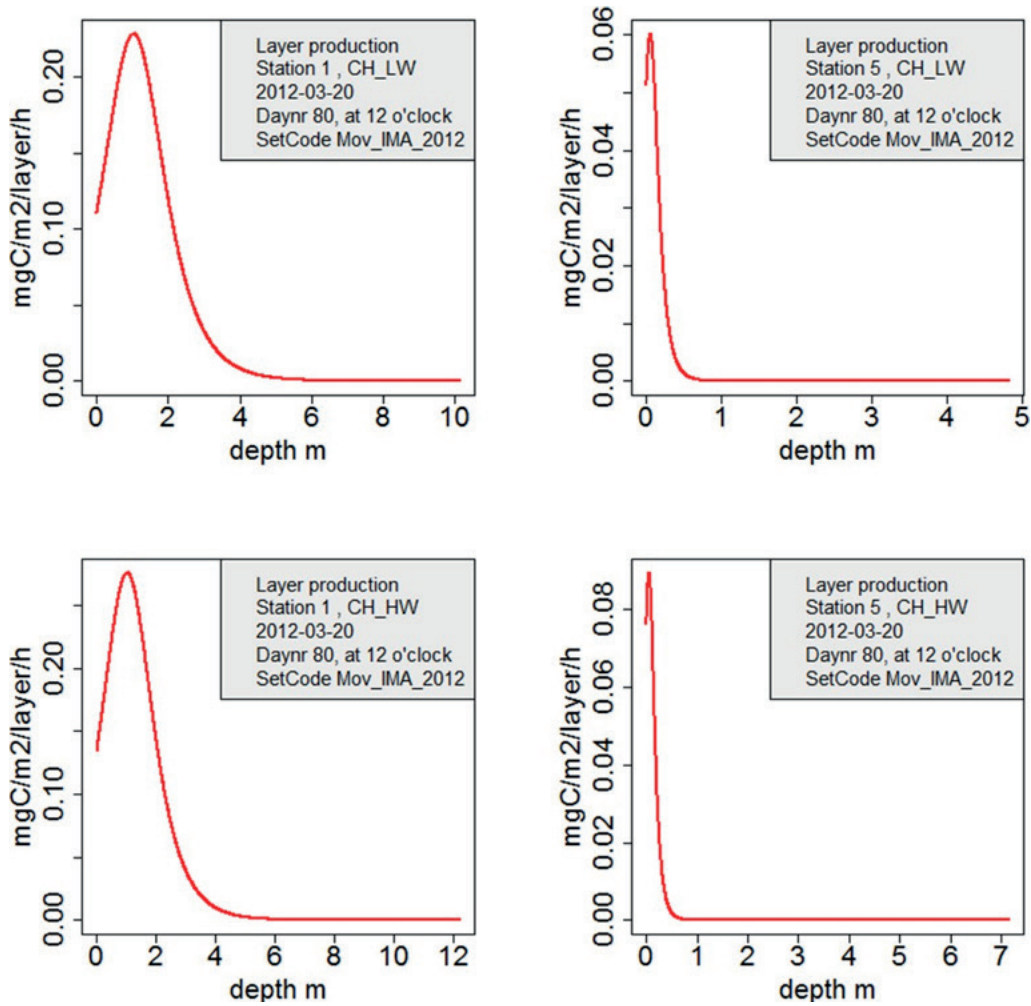
**Figuur 3:** Productiviteit per hoeveelheid chlorofyl als functie van de lichtcondities, station in Dollard, April 2012. Uit: Brinkman et al, 2014.

In Figuur 3 staat een voorbeeld voor de gevonden relatie tussen primaire productiviteit en lichtintensiteit, zoals gemeten door Riegman. In Figuur 4 is weergegeven wat de productie in de waterkolom is op een van de meetmomenten en op twee locaties in de Eems-Dollard. Al de vier voorbeelden stammen uit Brinkman et al (2014,2015). Onzekerheden bij deze metingen betreffen vooral de variabiliteit over de tijd. Er treden verschillen op tussen meetdagen. Die zijn niet extreem, maar ze zijn er wel. Dit kan toegeschreven worden aan de soortensamenstelling van de algen, de beschikbare voedingsstoffen en ook -mogelijk- aan de voorafgaande weersomstandigheden.

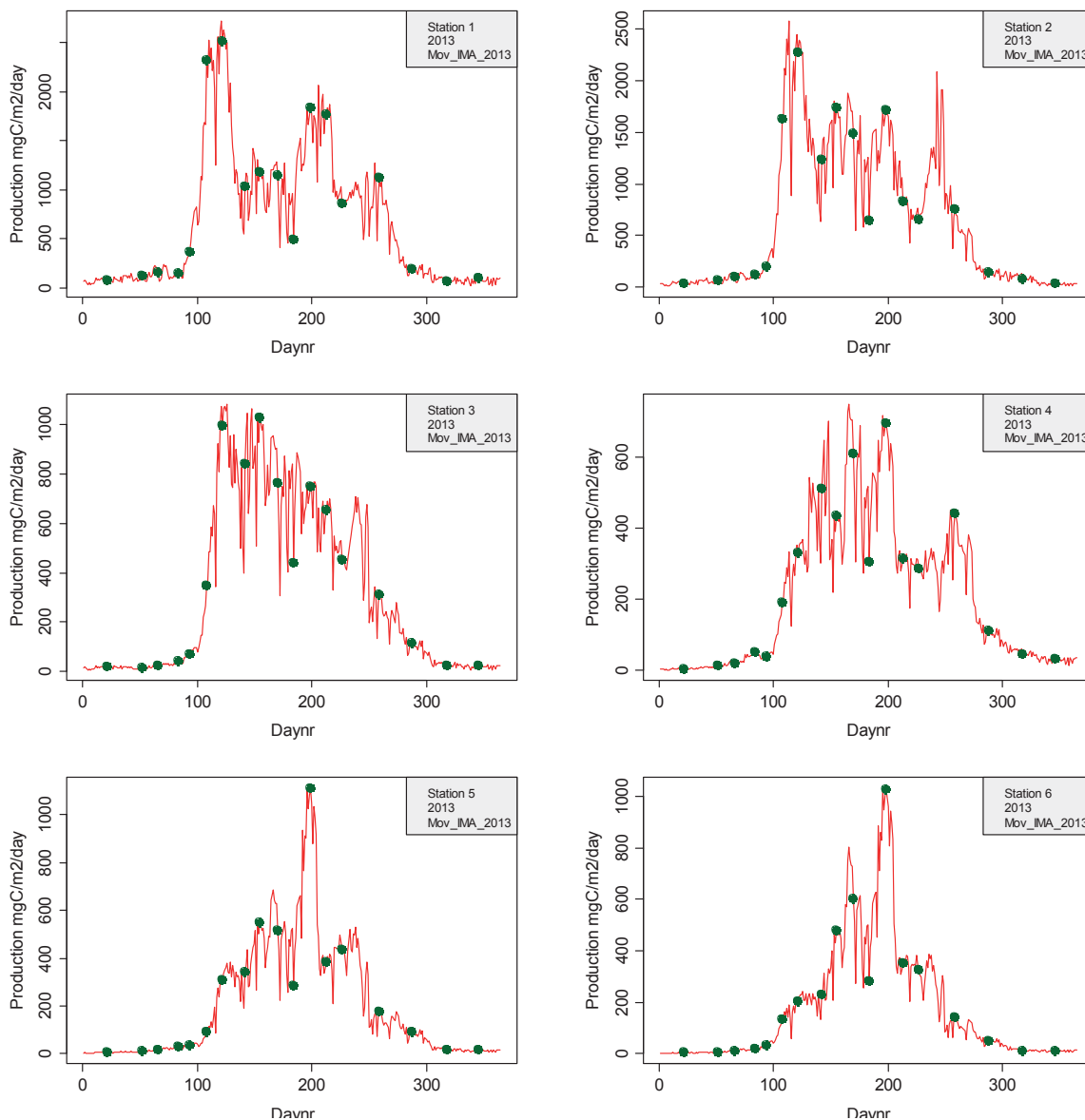
De resultaten van deze Riegman-studie (Brinkman et al, 2014 & 2015) gelden dus voor de toen aanwezige fytoplanktonpopulatie. Die zal niet elk jaar hetzelfde zijn, en dus kan (en: zal) de respons op het aanwezige lichtklimaat in andere jaren anders zijn; dit hangt immers óók af van de nutriëntbeschikbaarheid.

Als het beeld ruimer wordt gezien, namelijk inclusief hogere trofische niveaus, dan is het zeker waar dat in de keten nutriënt - hogere trofische niveaus, met troebelheid als belangrijke sturende factor, de eerste stappen: nutriënt+licht - fytoplankton-groei het best bekend zijn.

Samengevat voor het elk station over een heel jaar geeft dit het beeld uit Figuur 5, waarbij met veranderde weersomstandigheden rekening is gehouden (deze getallen betreffen dus de locatie van het station zelf).



**Figuur 4:** Profielen van bruto primaire productie in de Eems-Dollard, 20 maart 2012, Links: station 1 (Huibert Gat oost), rechts: station 5 (Monding Dollard). Boven in geul, bij laagwater, onder: idem, bij hoogwater. Waarden in mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> laagdikte<sup>-1</sup>. Dit laatste maakt de interpretatie lastig, omdat die laagdikte verandert met de diepte, zij is gelijk aan 1/2000 van de diepte ter plekke. Uit: Brinkman et al, 2014.



**Figuur 5:** Computed gross primary production (mg C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) for all stations in 2013, during high water in channels. Expressed as mgC m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>. Chlorophyll-a, Kd- and Eilers-Peeters values all interpolated following a moving average method. Kd-values used are those from the IMARES-measurements. Dots mark the sampling days.

## FYTOBENTHOS

Een nieuw licht op de relatie primaire producenten – primaire consumenten lijkt te worden geworpen door de publicatie van Christianen et al. (2017) waarin op basis van <sup>13</sup>C-isotopenanalyse geconcludeerd wordt dat het vooral benthische primaire productie is die als voedingsbron dient voor een groot deel van de primaire consumenten in de Waddenzee. Dát benthische primaire productie in een deels droogvallend systeem zeer relevant is lijdt geen twijfel, maar toch vind ik een vijftal opmerkingen op zijn plaats. De eerste geldt de onzekerheid: de cijfers door Christianen et al. (2017) gegeven kennen een grote foutenmarge; dit wordt door hen ook zo aangegeven. Een tweede opmerking betreft de opgegeven biomassa's: mossels en oesters zijn in hun inventarisaties van ondergeschikt belang (met 0.8 resp. 0.9 g biomassa m<sup>-2</sup> van de vastgestelde 21.0 g m<sup>-2</sup>, dus 3.8 resp. 4.3 % van het totaal). De gebruikte bemonsteringstechniek (bemonstering van de platen volgens een vooraf opgesteld grid) bemoeilijkt een goede schatting van de zeer begrensde voorkomens van mosselen en oesters; dat zijn juist de organismen die uit de waterfase eten en waarvoor dus een  $\delta^{13}\text{C}$ -waarde verwacht zou kunnen worden die meer lijkt op die van marien pelagisch geproduceerd materiaal; anders dan bij organismen die van



het sediment eten: nonnetjes en allerlei wormen zijn veel meer gebonden aan het sediment. Een derde opmerking is dat de sublitorale schelpdierbestanden buiten beschouwing zijn gebleven; hierin hebben mosselen -vooral in de westelijke Waddenzee- ook een belangrijk aandeel. De vierde opmerking betreft het verschil tussen benthische primaire productie en benthische primaire producenten; deze laatste zijn ook in de waterfase te vinden; dit is door De Jonge & Van Beusekom (1992) al beschreven, en ook in het al genoemde Eems-Dollard-onderzoek aangetoond (zie tabel 1). De gebruikte techniek zou moeten aantonen dat de genoemde productie wel degelijk in het sediment heeft moeten plaatsvinden (als gevolg van diffusieprocessen door de stagnante 'boundary layer', door koolstofisotoopfractionering bij de primaire productie en door een andere  $\delta^{13}\text{C}$  waarde van benthische  $\text{CO}_2$ ). Maar er is, naar ik meen, niet onderzocht hoe die  $\delta^{13}\text{C}$ -waarden van poriewater- en oppervlaktewater- $\text{CO}_2$  zijn. Dit verhoogt de onzekerheid.

**Tabel 1:** % benthische algen op totaal aan algen in de waterkolom in 2013 (gekopieerd uit Wanink et al, 2014).

Average bio-volume of benthic and planktonic algae in the phytoplankton samples of 2013, and the percentage contribution of benthic algae tot total algal bio-volume.

Station	Bio volume (mm <sup>3</sup> /l)			% Benthic		
	Benthic	Plankton	Year	Summer	Winter	Year
Huibertgat	0,79	2,38	0,02	15	39	24
Randzelgat Zuid	1,11	7,08	0,05	18	31	23
Doekegat Zuid	1,53	4,04	0,03	33	31	32
Paapsand Sud	2,44	1,89	0,09	50	44	48
Mond van de Dollard	2,50	1,33	0,06	58	36	52
Groote Gat Noord	2,62	1,43	0,05	56	46	55

In tabel 1 is weergegeven welk deel van de algen die in de waterkolom voorkomen benthische algen zijn in het Eems-Dollardgebied. In het genoemde Eems-Dollardonderzoek in 2012/2013 is de pelagische primaire productie gemeten/berekend, en is de benthische primaire productie geschat. Geschat, omdat niet alle nodige variabelen afdoende bekend waren, en daarom is een min-max range van benthische primaire productie berekend. De maximum waarden voor de benthische primaire productie zijn, voor het gehele onderzoeksgebied gerekend, ongeveer 70% van de pelagische (80 g C m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> om 120 g C m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> voor de pelagische PP). Omdat de fractie getijdenplaat in het onderzoek gebied niet veel afwijkt van dat in de gehele Waddenzee (iets minder dan de helft) zou hieruit volgen dat voor de hele Waddenzee 25-40% van de primaire productie daadwerkelijk in het sediment plaatsvindt (40 à 80 g C m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> van de totale 160 à 200 g C m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup>). Als het om de bijdrage van benthische algen gaat is dit percentage dus hoger omdat een deel van de pelagische productie door benthische algen wordt verzorgd. Als ruwweg 1/3 (zie weer tabel 1) van die pelagische primaire productie door benthische algen wordt verzorgd, is het aandeel van benthische algen in totaal ongeveer 50-60%. Alleen is dat dus lang niet allemaal echt benthische productie.

De genoemde getallen zijn in lijn met die van Colijn en De Jonge (1984); zij geven waarden voor de benthische primaire productie per locaties die uiteenlopen van 50 tot 100 g C m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>, met als uitschieter 250 g C m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> op een hooggelegen wadplaat die -naar hun toelichting- nabij een lozing van veenkoloniaal afvalwater lag; omgerekend naar het gehele gebied zal dat op ruwweg 50-80 g C m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> neerkomen.

Een vijfde opmerking betreft de Dollard zelf: in het artikel van Christianen is weinig zichtbaar van een overwegende benthische component in juist het Dollard-gebied, daar waar je het het allermeest kunt verwachten; dit wordt ook in het paper benoemd. Het lijkt erop dat de methode vermoedelijk niet discriminerend genoeg is om onderscheid te maken tussen benthische en buitengaatsse primaire productie als er een relevante terrestrische + riviercomponent aanwezig is.

Concluderend vind ik de onzekerheid die de benadering kenmerkt het belangrijkste, ondanks dat ik het een imposante analyse vind van Christianen et al. Dat benthische primaire productie belangrijk is geen punt van discussie. Een laatste opmerking is dat de productiemetingen de bruto primaire productie betreffen; de isotoopanalyse zal vooral netto productiewaarden betreffen. In hoeverre dat verschil van invloed is weet ik niet. En ik meen dat dat ook niet goed bekend is. Hier is nog wel wat werk te verrichten.

### RELATIE PRIMAIRE PRODUCENTEN EN HOGERE TROFISCHE NIVEAUS

In systemen als de Waddenzee worden onder hogere trofische niveaus in eerste instantie meestal de schelpdieren en wormen verstaan. Dit zijn de primaire consumenten in het systeem die direct leven van de primaire producenten (algen) of het afgestorven materiaal (detritus). De hoogste niveaus betreffen evenwel de secundaire consumenten: zoals garnalen, zeesterren, vissen en vogels (en de mens); carnivoren dus. Nu zijn sommige wormen en schelpdieren ook als (soms gedeeltelijke) secundaire consumenten te bestempelen omdat ze prederen op andere wormen en/of larven, soms uitsluitend (wat bij sommige wormen voorkomt), soms gedeeltelijk, zoals bij schelpdieren, die ook (deels eigen) larven kunnen wegfilteren. In de meeste modellen komen de genoemde secundaire consumenten niet voor. Dit heeft niet zozeer met het trofische niveau te maken als wel met het gedrag: garnalen, vissen, vogels: ze verplaatsen zich en maken (duidelijker) individuele keuzen. Dit maakt zowel het leggen van empirische relaties tussen de diverse trofische niveaus als de modellering daarvan lastig.

### PRIMAIRE CONSUMENTEN EN MODELLEN

De basis voor alle modelbeschrijvingen is dat organismen zoals schelpdieren fytoplankton filteren en gebruiken voor hun groei. Hierbij zijn allerlei details mogelijk zoals voorkeuren voor bepaalde algengroepen, verteerbaarheid (omzettings- of assimilatie-efficiëntie), en zelfs (al komt dan minder vaak voor in modellen) grootte-afhankelijkheid. Deze basis is evenwel voor alle primaire consumenten gelijk, en wordt in eigenlijk alle modellen terug gevonden (al is de uitvoering in elk model weer anders).

Een verfijning hierbij is wáár gefilterd/gefoerageerd wordt. Dit is meestal de waterkolom, en als die gemengd is de gehele waterkolom, of anders de onderste waterlaag. Maar het kan ook de bovenste sedimentlaag zijn, waarbij dus ‘geschraapt’ wordt. Het eerste is gemeengoed, het tweede komt minder voor.

Verschillen tussen modellen komen vooral aan de orde waar het om gaat hóe het geassimileerde voedsel (dus ná vertering en opname in het lichaam) gebruikt wordt. In de ‘ouderwetse’ standaardmodellen (zoals het oude BOEDE; Baretta & Ruardij, 1988, en EMOWAD; EON-I & II, 1988) wordt de gehele biomassa van een primaire consument op één hoop gegooid, en worden geen individuen onderscheiden. In dat geval zijn de verliesposten (snelheid van respiratie en sterfte) beide afhankelijk van de biomassa, en in de modelvergelijkingen niet wezenlijk van elkaar te onderscheiden.

In nieuwere modellen (al bestaan die ook al wel al enkele tientallen jaren) zijn twee soorten opdelingen te zien, die elkaar overigens niet uitsluiten. Allereerst worden aantallen en individuen onderscheiden; samen maakt dat de biomassa van een soort. “Dynamic Energy budget”- (DEB)- modellen (Kooijman, 1993) onderscheiden een drietal functies in een individu waar het binnengekomen voedsel voor gebruikt wordt: onderhoud, groei en voortplanting. Het eerste is standaardbehoefte; als er meer voedsel is wordt het verdeeld over groei en ontwikkeling van reproductievoorraad. Is er te weinig dan gaat dit in eerste instantie ten koste van de reproductie, en als er niet meer voldoende is voor zelfs het onderhoud sterft het individu. Dit is onder meer de richting waarin de modellen van NIOZ en Deltares zich bewegen. Eigenschappen veranderen mee met de groei van een organisme.

Daarnaast kan EcoWasp (zie o.m. Brinkman & Tamis, 2017) genoemd worden: daarbij is de nadruk niet gelegd op een DEB-benadering, maar lijkt de aanpak meer op gestructureerde populatiemodellen. Eveneens worden aantallen en individuele biomassa's onderscheiden. Cohorten van individuen worden gevolgd; deze individuen groeien als gevolg van de netto voedselopname (assimilatie minus respiratieverliezen), produceren nieuwe individuen (larven) bij de reproductie, en sterven (de aantallen nemen af) als gevolg van voedseltekort, uitspoeling (waar het larven betreft) óf predatie. In de EcoWasp-

modelpraktijk is dit laatste in feite de enig relevante oorzaak. Gedurende het leven veranderen eigenschappen van de organismen omdat die een functie zijn van de grootte (zoals: waar zijn ze gevestigd, en waar/wat eten ze, hoe hard filtreren ze).

Sterven van individuen zorgt voor afname van het aantal. De totale biomassa is het product van aantallen en individuele biomassa.

Bij de DEB-modellen ligt oorspronkelijk de nadruk op individuele groei en onderscheid van interne functies, en moet de predatie als doodsoorzaak en eigenschappen (als waar ze leven en foerageren) toegevoegd worden. De reproductie-eigenschappen hangen sterk af van de voedselbeschikbaarheid omdat de betreffende reproductievoorraad sterker fluctueert dan de gehele biomassa van het individu.

Bij het EcoWasp-model is juist die detaillering van interne functies afwezig, de reproductie is afhankelijk gemaakt van de gehele biomassa van het individu, en is daarom minder gevoelig voor de voedselbeschikbaarheid. Van jaar-tot-jaar variaties (die er wel degelijk zijn) zullen kleiner zijn dan bij een DEB-gebaseerde modellering.

### **BELANGRIJKE VOORDELEN VAN MODELLEN DIE INDIVIDUELE GROOTTES EN AANTALLEN BEREKENEN.**

Zoals al aangegeven kan in de oude biomassamodellen geen goed onderscheid worden gemaakt tussen respiratieverliezen en sterfte. Worden grootte en aantallen onderscheiden dan kan i) de individuele groei geïkht worden aan de hand van bekende groeigegevens (en die zijn in veel gevallen wel aanwezig, al verschilt de kwaliteit van de data wel), en ii) de sterfte geïkht worden aan gegevens over het voorkomen van 0e, 1e-jaars en meerjarige dieren. Dit soort data zijn veel minder voorhanden, maar toch kunnen de beschikbare schelpdierdata (WMR- en NIOZ-surveys) hier wel degelijk goed voor gebruikt worden. Deze modellen met aantallen en individuele biomassa zijn veel stijver dan de biomassa-georiënteerde modellen: er is véél minder parameter-speelruimte en de procesbeschrijving plus parameterkeuze past veel beter bij de processen in het veld dan dat bij de traditionele biomassamodellen het geval was. De uitkomsten van deze (aantallen+individuen)- modellen mogen daarmee ook betrouwbaarder worden geacht dan die van de oude biomassamodellen. In principe wordt hiermee de bruikbaarheid voor scenariostudies ook groter.

### **DISCRIMINERENDE EIGENSCHAPPEN TUSSEN SOORTEN/GROEPEN**

Vaak wordt gevraagd naar wáár organismen voor gaan komen, of wélke soorten dominant/ondergeschikt gaan worden, afhankelijk van voedsel e.d. Er wordt wel geprobeerd hier antwoord op te geven, maar tot nu is het meestal erg onzeker wat de uitkomsten waard zijn. Een onderscheid tussen geulen/platen, of filtreerders/benthivoren is nog wel te maken, maar aangezien de meeste schelpdieren die de waterkolom filtreren min of meer gelijke voedselbronnen benutten is er op basis van het aanwezige voedsel niet makkelijk onderscheid tussen soorten te maken. Wel bleek uit een modelproef dat dieren met gelijke eigenschappen die alleen verschillen op het moment van reproduceren toch beide een stabiele populatie kunnen opbouwen in een model.

### **HABITATEIGENSCHAPPEN**

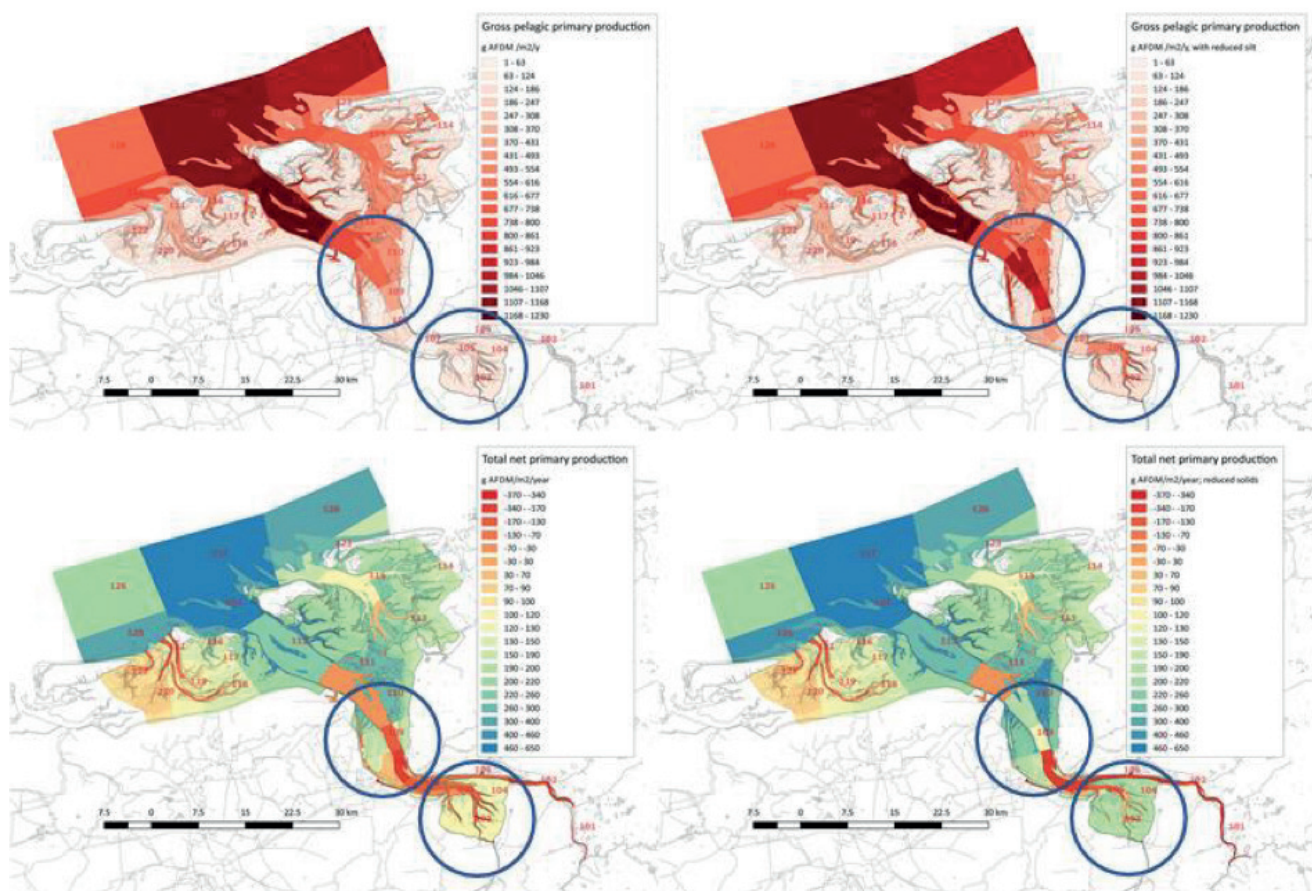
Een beter (gemakkelijker) onderscheid kan evenwel gemaakt worden op basis van habitatvoorkeuren. Het betreft dan bijna steeds à priori-voorkeuren: met parameters wordt aangegeven op welke ondergrond of bij welke omgevingsvariabelen een soort de beste overlevings- danwel groei kansen heeft. Hiertoe is voorafgaand een habitatgeschiktheidsanalyse nodig (zoals bijv. de mossel- en kokkelhabitatanalyses van WMR/IMARES; (Brinkman et al, 2002; Kater et al, 2004; Smaal et al, 2014). Zie hiervoor ook hieronder bij vraag 2.

### ONDERSCHIED OP BASIS VAN PREDATIE

Een andere goede mogelijkheid om verschillende soorten met ongeveer gelijke foerageeigenschappen in een modelsysteem te houden is op basis van predatiekarakteristieken óp elke soort. In dat geval zijn er predatoren in het model (secundaire consumenten) die een voorkeur hebben voor een primaire consument; of een zekere grootte van zo'n primaire consument. Hierbij komt het probleem dat hierboven is aangestipt onder "Relatie met hogere trofische niveaus" om de hoek kijken.

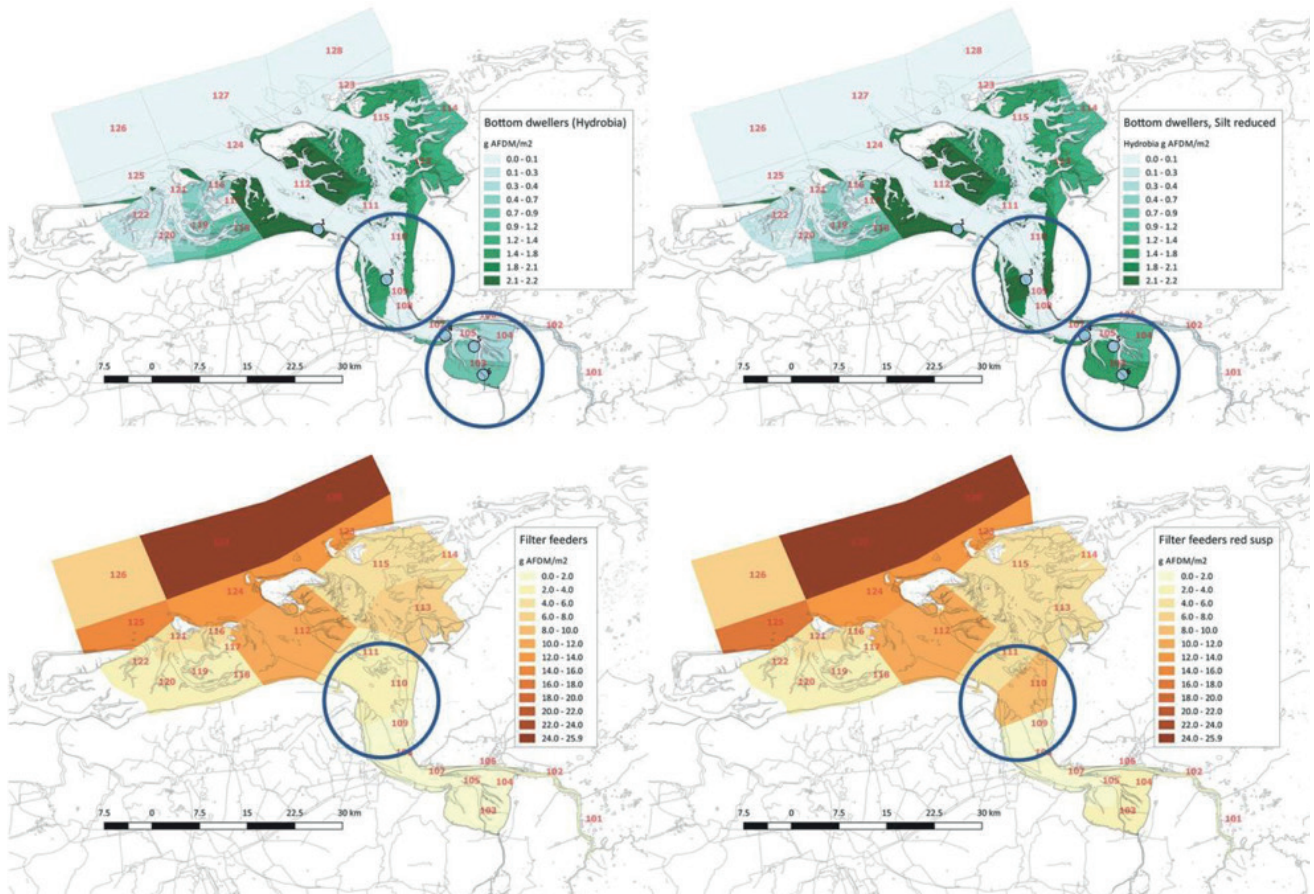
### HOE KUNNEN MODELLEN EEN ANTWOORD GEVEN?

In het voorgaande is vooral uitgeweid over hoe modellen opgebouwd kunnen worden om primaire producenten en primaire en secundaire consumenten te berekenen. De vraag is welke antwoorden modellen (nu al) kunnen geven. En wat er nog verbeterd moet worden. Hierbij is alleen een EcoWasp-uitkomst illustratief; andere modellen hebben tot nu toe geen Eems-Dollard-resultaten voor hogere trofische niveaus opgeleverd. In Figuur 6 & Figuur 7 zijn voorbeelden gegeven, waarbij ook direct duidelijk wordt dat met name de beschrijving van schelpdieren beter moet: bij de rekensessie werd het verschil tussen platen en geulen niet goed verwerkt waardoor de geulen veel beter scoorden vanwege de voedselomstandigheden in het model. De nadelige effecten van een sterkere predatie in het sublitoraal en veel hogere slibgehalten aan de bodem van geulen zijn niet goed in het model tot uiting gekomen. Dit is niet typisch voor dit model: in veel modellen zullen tekortkomingen opduiken die gerepareerd moeten worden dan wel gewoon beter gemodelleerd/geprogrammeerd. Het geschetste beeld voor het middendeel van het estuarium komt wel overeen met dat wat door Compton et al (2017) geschetst wordt.



**Figuur 6:** Veranderingen in bruto (boven) en netto (onder) primaire productie in de Eems-Dollard. Standaard(links) en na gedeeltelijke reductie van troebelheid in compartimenten nabij instroom Eems in het estuarium (rechts). De kleurstelling is ietwat ongelukkig: voor de bruto primaire productie geldt: hoe donkerder rood hoe hoger. Voor de netto primaire productie is rood juist laag, en blauw hoog. Omcirkeling geeft de typische veranderingen aan.





**Figuur 7:** Veranderingen in sediment browsers (slakjes) (boven) en filtreerders (onder) in de Eems-Dollard. Standaard(links) en na gedeeltelijke reductie van troebelheid in compartimenten nabij de instroom van de Eems in het estuarium (rechts). Omcirkeling geeft de typische veranderingen aan.

### KOPPELINGEN MET/NAAR 'TOP'-PREDATOREN

Blijft nog de vraag hoe de effecten voor toppredatoren (garnalen, vogels) geschat zouden kunnen worden. Bij EcoWasp is dit beantwoord door bij te houden hoeveel dieren (en biomassa) er sterven per gewichtsklasse. Omdat in het model individuen (in de cohorten) groeien, én doodgaan (door predatie) kan opgeteld worden hoeveel biomassa er door predatie verloren gaat voor elke gekozen grootteklasse. Er is immers bekend (bij benadering, dat wel) wat de leeftijdsverdeling is van de dieren (volgend uit de genoemde surveys), en die veranderingen van aantal zijn een gevolg (vooral) van predatie. Overigens is ziekte niet gemodelleerd, en sterfte door verhongering wordt -gemakshalve- als niet erg belangrijk verondersteld. Als die aantalsveranderingen in het model ook goed gemodelleerd worden is daarmee dus ook de predatie per grootteklasse berekend. Op basis hiervan is onder meer geconcludeerd dat er in de Waddenzee maar amper genoeg grote schelpdieren zijn om Scholeksters of Eidereenden te voeden, maar dat Toppereenden (die veel kleinere schelpdieren eten) geen last van voedselschaarste zouden moeten hebben. Ook kan een schatting gemaakt worden van hoeveel héél kleine schelpjes gegeten worden; dat zou met name garnalen als predator kunnen betreffen. Zo kan tenminste een (eerste) benadering worden gegeven van de betekenis van de primaire consumenten voor de secundaire.

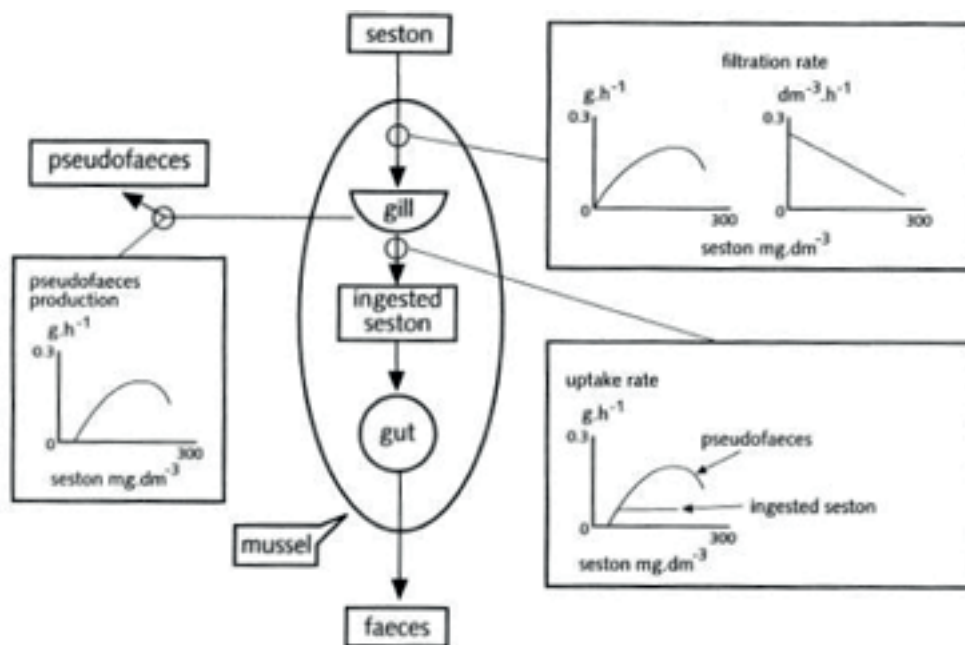


**Vraag 2** Wat is de invloed van het slibgehalte van droogvallende platen op macrozoöbenthos, rekening houdend met eventuele cofactoren, zoals zoutconcentratie?

**Als tweede deel van de vraag werd gesteld: De kernvraag in dezen is waarom alleen maar wormen, van een bepaalde soort, in het sediment van de Eems-Dollard voorkomen. Eveneens: wat zijn mechanismen achter het al dan niet voorkomen van mosselen op de Hond-Paap?**

**Het antwoord is:**

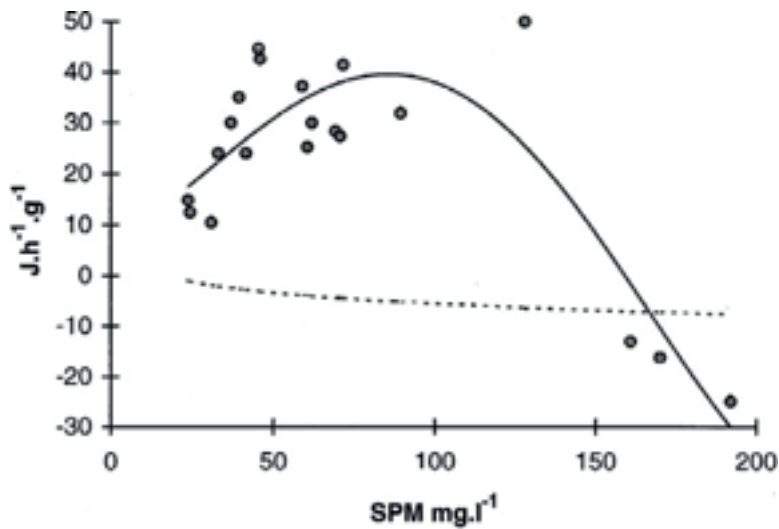
**SLIB**



**Figuur 8:** Schematic presentation of filtration and ingestion of suspended matter (seston) and of pseudofaeces production by *Mytilus edulis* as a function of suspended matter concentration ((Essink 1999), after (Widdows et al. 1979)).

Dit antwoord is eigenlijk vrij eenvoudig. Filterende schelpdieren als mosselen en kokkels kunnen een zeker gehalte aan slib in de waterkolom aan doordat ze dat bij het filteren kunnen scheiden van het echte voedsel, maar dit houdt op zodra de slibgehalten te hoog worden. De grens is niet absoluut, maar rond 100 mg slib/l begint het lastig te worden voor de dieren. En die grens is in de Dollard (met een gemiddelde van 300-400 mg/l, als globaal cijfer) ruim overschreden. Dit is geïllustreerd in Figuur 8 en Figuur 9 (deels ook in 6/7, maar daar speelt het algengehalte ook een rol). Het ligt voor de hand dat dit doorwerkt vooral op de Paap, juist daar zijn de slibgehalten het meest gestegen als gevolg van de verdiepingen en bagger- en stortwerkzaamheden.

De mosselbankhabitatanalyses van IMARES (Brinkman et al, 2002; Smaal et al, 2014) geven aan dat droogvalduur, golfwerking en zoutgehalte een belangrijke rol spelen of een gebied geschikt is of niet voor mosselbanken. Te veel golfwerking zorgt voor fysieke belemmering als de vestiging van mosselzaad niet stevig genoeg verankerd is. Daarnaast speelt stroming een bijkomende rol: teveel stroming komt zelden voor op de platen (dat speelt vooral in de geulen), maar als er te weinig stroming is is er ook te weinig aanvoer van voedsel en dat is belemmerend voor de mosselgroei.

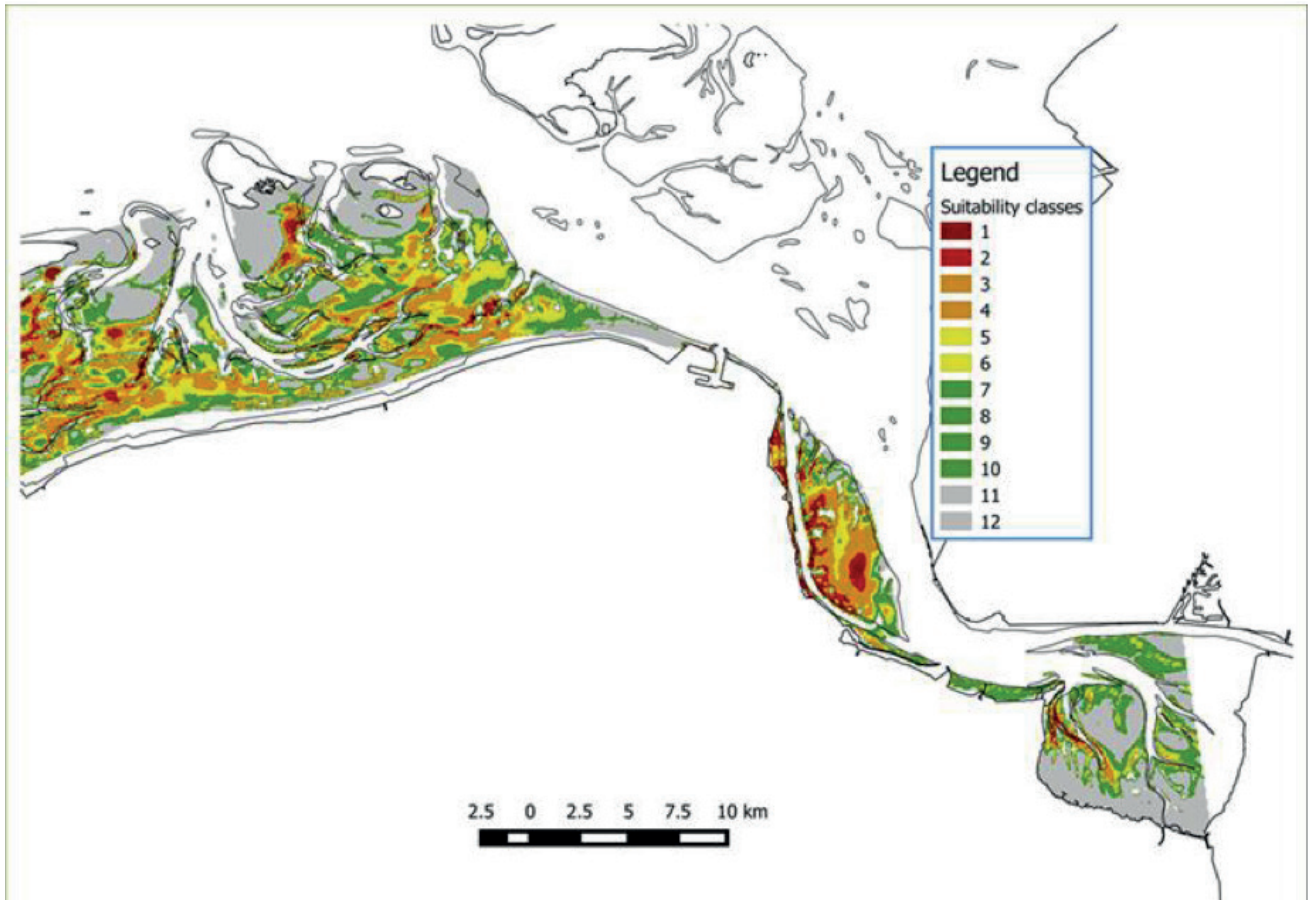


**Figuur 9:** Scope for Growth (SFG;  $J/h/g$ ) for Oysters as a function of suspended particulate matter (SPM;  $mg/l$ ). SFG is compared with the expected trend without selection ability (broken line). (Barillé et al. 1997).

De analyses wezen ook uit dat een droogvalduur van ongeveer 40% van de tijd optimaal is. Dat heeft enerzijds met het voedselaanbod te maken: hoger op de platen kunnen de schelpdieren niet lang genoeg voedsel opnemen. Anderzijds betreft het predatie: hoe langer de overvloeding (en des te beter de voedselomstandigheden voor de schelpdieren), hoe groter de kans op predatie door garnalen, krabben en zeesterren is (Saier, 2001a,b, 2002). Hoog op de platen zijn ook meeuwen en scholeksters belangrijke predatoren omdat ze lang kunnen foerageren op de schelpdieren. Bij 40% droogvalduur is de situatie blijkbaar het minst slecht.

Zoutgehalte speelt eveneens een rol. Dit is niet omdat de schelpdieren zelf zoet- of zoutminnend zijn, maar heeft ook met de predatoren van doen. Garnalen, krabben en zeesterren zijn zoetmijdend omdat het hun extra energie kost om hun interne zoutgehalte op orde te houden. Daardoor is de predatie op schelpdieren in lage-saliniteitsgebieden veel minder dan elders. Dit is ook de belangrijkste reden dat nabij de Afsluitdijk de belangrijkste mosselzaadgebieden van de Waddenzee aanwezig zijn.

Op basis van de genoemde mosselbankhabitatanalyse is de Dollard een redelijk geschikt gebied, maar in die analyse was de waterkolomtroebelheid niet als variabele meegenomen. En juist dat maakt de Dollard dus ongeschikt als mosselgebied. Omdat de gebruikte morfologische data al een kleine 20 jaar oud zijn kunnen ook hoogteveranderingen een rol hebben gespeeld, maar dat betreft (zie Compton et al, 2017) veelal een verlaging van de hoogteligging waar het de platen betreft. In figuur 10 is een van de mosselhabitatgeschiktheidskaarten weergegeven, in tabel 2 de uitleg van de habitatklassen. Deze kaart is voor volwassen mosselen in een voorjaarssituatie; andere kaarten zijn er voor mosselzaad en mosselhalfwas, en voor een najaars- en een voorjaarssituatie.



**Figuur 10:** Mosselhabitatgeschiktheidskaart Eems-Dollard (Smaal et al, 2014). De indeling is in geschiktheidsklassen, waarbij 1 staat horende bij de beste 1% van het Waddengebied en 12 bij de 30% minst geschikte gebieden. Verder zie tabel 2.

Klasse	%-range	Klasse	%-range
1	0-1	7	20-25
2	1-2	8	25-30
3	2-5	9	30-40
4	5-10	10	40-50
5	10-15	11	50-70
6	15-20	12	70-100

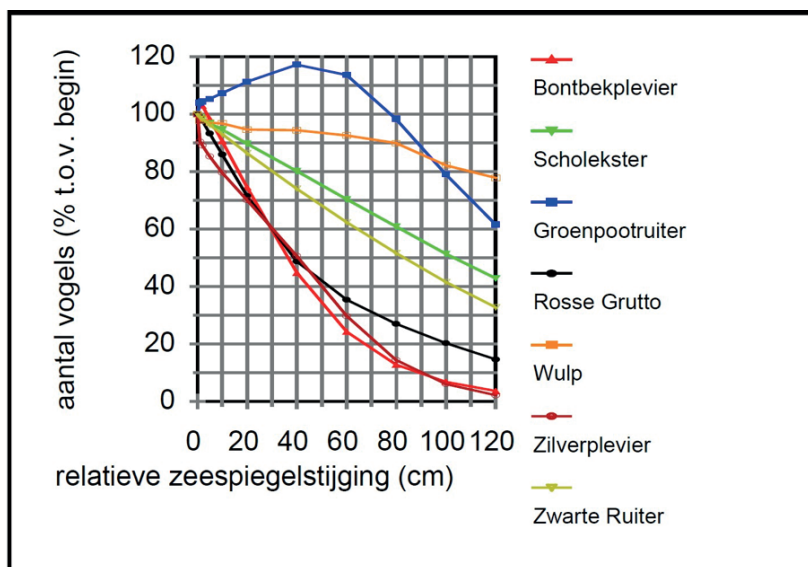
**Tabel 2:** Modelresultaten als mosselhabitat-geschiktheidsklassen. Het model levert een waarschijnlijkheid  $\hat{Y}$  voor de aanwezigheid van mosselbanken ( $0 \leq \hat{Y} \leq 1$ ). De 1% gridcellen met hoogste waarden vormen klasse 1, de volgende 1% klasse 2, etc.

### Vraag 3: Effecten van morfologische ingrepen: welke verschuivingen van habitat-arealen treden daardoor op en wat is de invloed hiervan op het ecosysteem/draagkracht?

Het eerste deel van de vraag is er een die door Deltares beantwoord moet worden. Het tweede is een stuk lastiger. Indertijd (NAM-bodemdalingstudie: Oost et al, 1999) is een analyse gedaan naar de effecten van habitatveranderingen op vogels. Daarbij werd verondersteld (naar Beukema, NIOZ) dat de verdeling van bodemdieren gekoppeld zou zijn aan de droogvalduur. En werd een verdeling gemaakt van het voorkomen (oppervlakte) van elke droogvalduur, en welke veranderingen zouden optreden bij een verandering van het waterniveau. Uitkomst was dat de meeste vogelsoorten nadeel zouden ondervinden omdat het oppervlak van hun voorkeurshabitat daalde, een enkele soort zou juist voordeel ondervinden.

In Figuur 11 is het resultaat van die niveauveranderingsanalyse gegeven. Het moet meer als idee dan als definitief resultaat worden gezien omdat de uitgangspunten voor discussie vatbaar zijn.

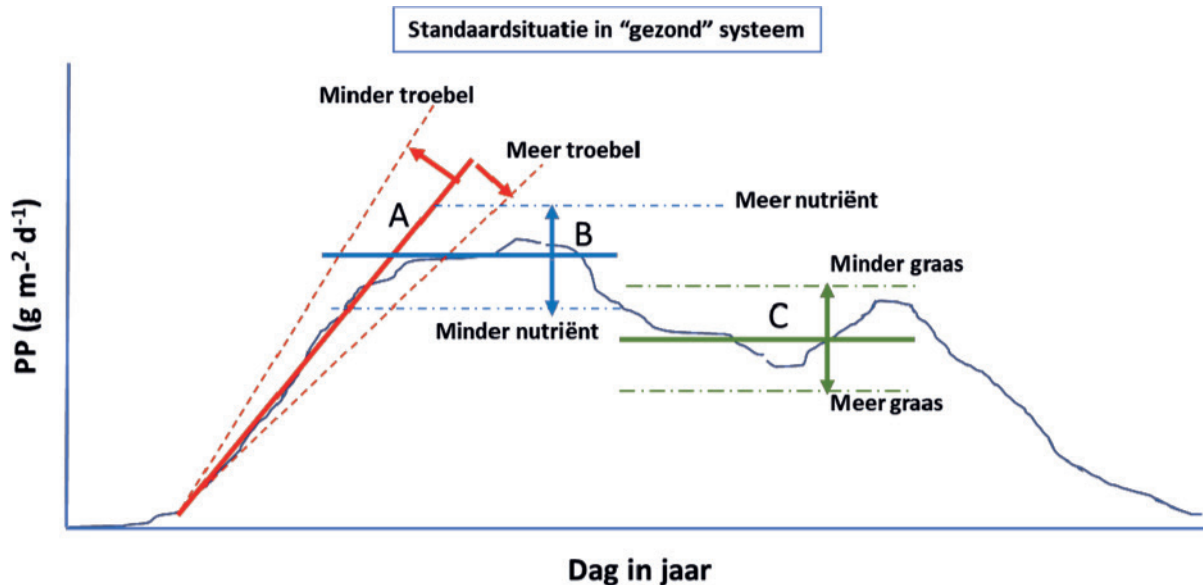
Wat werkelijk de gevolgen zullen zijn lijkt me onduidelijk. Het enige wat wel doorgerekend kan worden met modellen is wat de morfologieverschuiving betekent voor de primaire productie en dus fytoplankton en fytoebenthos. En gekoppeld daaraan kan de betekenis voor sedimentbrowsers (zoals slakjes) en filtreerders (mosselen, etc.) berekend worden.



**Figuur 11:** Voorspelling van veranderingen van een aantal waadvogels in de Waddenzee bij een zekere stijging van de waterspiegel (of bodemdaling). Gebaseerd op i) een analyse van de voedselverdeling afie van de hoogteligging ii) een analyse van de habitatvoorkeuren van de vogels en ii) een analyse van de hoogteverdeling van de wadplaten. Kopie uit de Integrale bodemdalingstudie Waddenzee (Oost et al, 1998)

## Slotopmerking m.b.t. beperkende factoren op primaire productie

Bij discussies wát nu precies de primaire productie beperkt is toch nog wel wat spraakverwarring te ontwaren. Het is misschien nuttig om nog eens duidelijk te maken dat meerdere beperkende factoren een rol zullen of kunnen spelen. In een “normaal” systeem wordt eigenlijk altijd een opvolging van limitaties waargenomen, van licht in het voorjaar, naar een of meerdere nutriënten als de groeisnelheid op zijn top is. Vervolgens neemt de begrazing door macrobenthos en/of zoöplankton sterk toe tot een niveau waarop de fytoplanktongroei dit amper meer kan bijbenen. In Figuur 12 is dit geschetst.



Figuur 12: Opeenvolging van beperkingen van primaire productie in een ‘normaal’ ecosysteem.

De voorjaarsgroei is des te sneller naarmate het helderder is, maar de hoeveelheid beschikbaar nutriënt is bepalend voor het maximum, waarna de intensiteit van de graas bepaalt wat het ‘zomer’ niveau is. Is het systeem erg troebel, dan kan het zijn dat de nutriëntbegrenzing nooit bereikt wordt (zoals in de Dollard het geval is, en waarschijnlijk altijd geweest is, ook).

Daarnaast worden de termen P-, N-, lichtbeperking verschillend gebruikt. In EcoWasp betreft het wélke beperkende functie (en dat is een Monod- of Smithformulering, voor nutriënt resp. licht) de laagste waarde heeft. De Deltares-modellen gebruiken algentypen die verschillende affiniteiten hebben voor nutriënten of licht; welke alg zich het beste handhaaft geeft aan welke limitatie er speelt.

Naar mijn idee zou het beste zijn het (model-)systeem door te rekenen met meer of minder licht cq nutriënt; welk van deze het meest effect heeft kan dan als beperkend worden aangemerkt. Tot nu toe is een dergelijke analyse voor de ED nog niet verricht; noch door Deltares, noch bij de exercitie met EcoWasp.



## Referenties

- Baretta J & Ruardij P. 1988. Tidal flat estuaries. Springer Verlag, Berlin. 353 pp
- Barillé L, Prou J, Héral M, Razet D (1997) Effects of high natural seston concentrations on the feeding, selection, and absorption of the oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). *J Exp Mar Bio Ecol* 212:149–172
- Brinkman, A.G., Dankers, N. & Van Stralen, M.R., 2002. An analysis of mussel bed habitats in the Dutch Wadden Sea. *Helgoland Mar. Res.* (2002) 56:59–75
- Brinkman AG, Riegman R, Jacobs P, Kuhn S & Meijboom A. 2014. Ems-Dollard primary production research. Full data report. Report IMARES/WUR C160/14. 297 pp.
- Brinkman AG, Jacobs P, Jak RG & Riegman R. 2015. Ems-Dollard primary production research. Concise summary. Report IMARES/WUR C163/14. 78 pp.
- Brinkman AG & Tamis JE. 2017. Ems-Dollard ecosystem model to study changing turbidity and higher trophic level response. Wageningen Marine Research rapport C058/17, 72 pp. + 214 pp appendices.
- Christianen MJA, Middelburg, Holthuijsen SJ, Jouta, Compton TJ, Van der Heide T, Piersma T, Sinninghe Damsté JS, Van der Veer HW, Schouten S & Olff H. 2017. Benthic primary producers are key to sustain the Wadden Sea food web: stable carbon isotope analysis at landscape scale. *Ecology*, 98(6), pp. 1498-1512
- Colijn F. 1983 Primary production in the Ems-Dollard estuary. Ph. D. Thesis, Groningen, The Netherlands, 123 pp
- Colijn F & De Jonge VN. 1984. Primary production of microphytobenthos in the Ems-Dollard Estuary. *Marine Ecology Progress Series*, 14, 185-196. doi: 10.3354/meps014185.
- Compton TJ, Holthuijsen S, Mulder M, Van Arkel M, Kleine Schaars L, Koolhaas A, Dekinga A, Ten Horn J, Luttikhuisen PC, Van der Meer J, Piersma Th. & Van der Veer HW. 2017. Shifting baselines in the Ems Dollard estuary: A comparison across three decades reveals changing benthic communities. *Journal of Sea Research* 127 <http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2017.06.014>
- De Jonge VN & Van Beusekom JEE. 1992. Contribution of resuspended microphytobenthos to total phytoplankton in the Ems estuary and its possible role for grazers, *Netherlands Journal of Sea Research*, 30, 91-105
- EON-I, 1988. Ecosysteemmodel van de westelijke Waddenzee. NIOZ-rapport 1988-I. Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, Den Burg, NL.
- EON-II, 1988. The ecosystem of the western Wadden Sea: field research and mathematical modelling. EMOWAD-II, NIOZ-rapport 1988-11. Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, Den Burg, NL.
- Essink K (1999) Ecological effects of dumping of dredged sediments; options for management. *J Coast Conserv* 5:69–80
- Kater BJ, Brinkman AG, Baars JMDD & Aarts G. 2004 Kokkelhabitatkaarten voor de Oosterschelde en Waddenzee. RIVO-rapport nr C060/03
- Kooijman SALM 1993. Dynamic energy budgets in biological systems. Cambridge Univ. Press. 349 pp
- Oost AP, Ens BJ, Brinkman AG, Dijkema KS, Eysink WD, Beukema JJ, Gussinklo HJ, Verboom BMJ & Verburgh JJ (project-leider). 1998. Integrale bodemdalingstudie Waddenzee. NAM. 372 pp.
- Saier B. 2001a Ecological comparison of intertidal and subtidal mussel beds (*Mytilus edulis* L.) in the Wadden Sea. Dissertation University of Hamburg, 164 p.

Saier B. 2001b Direct and indirect effects of seastars *Asterias rubens* on mussel beds (*Mytilus edulis*) in the Wadden Sea. *J. Sea Res.* 46, 29-42.

Saier B. 2002 Subtidal and intertidal mussel beds (*Mytilus edulis* L.) in the Wadden Sea: diversity differences of associated epifauna. *Helgoland Mar. Res.* 56, 44-50.

Smaal AC, Brinkman AG, Schellekens T, Jansen J, Agüera A & Van Stralen MR. 2014. Ontwikkeling en stabiliteit van sublitorale mosselbanken, Samenvattend eindrapport. IMARES WUR Rapport C066.14

Wanink JH, Bijker R & Brochard CJE. 2014. Phytoplankton of the Ems-Dollard estuary 2013. Koeman en Bijkerk BV. Report 2014-015.

Widdows J, Fieth P, Worrall CM (1979) Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. *Mar Biol* 50:195–207

PROGRAMMA **NAAR EEN  
RIJKE WADDENZEE**

[WWW.RIJKEWADDENZEE.NL](http://WWW.RIJKEWADDENZEE.NL)

 [@RIJKEWADDENZEE](https://twitter.com/RIJKEWADDENZEE)

