



Rijkswaterstaat  
Ministerie van Infrastructuur en Milieu



IMARES  
WAGENINGEN UR

Deltares  
Enabling Delta Life

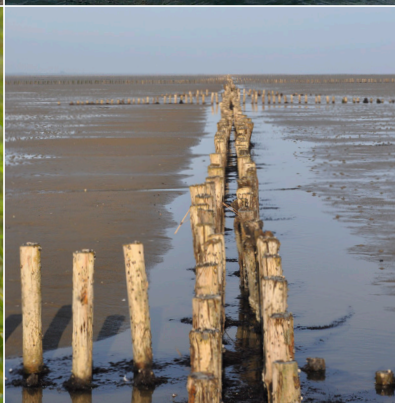


# Verkenning Slibhuishouding Waddenzee

*Een samenvatting van twee jaar  
modelleren en kennis verwerven*

**Uitvoering:**  
Deltares, Imares

**Opdrachtgever:**  
Rijkswaterstaat





## COLOFON

Dit rapport is een gezamenlijk product van Deltares, Imares en Rijkswaterstaat

### Auteurs:

van Duren, L.A., van Kessel, T., Brinkman, A.G., de Kluijver, A., Fey, F. en Schmidt, C.A.

### Met dank aan:

Mulder, H.P.J.; Bot, P; Hoijtink, R., Los, F.J.; Prins, T.C. en Winterwerp, J.C.

### Foto's:

[beeldbank.rws.nl](http://beeldbank.rws.nl); blz. 12

L.A. van Duren; blz. 2, 4, 5, 6, 10, 11, 18, 20, 22, 31, 35, 36 en 37

### Vormgeving:

W. Jilderda, Deltares

December 2015

# Verkenning Slibhuishouding Waddenzee

*Een samenvatting van twee jaar modelleren en kennis verwerven*

Onderzoek uitgevoerd door:



In opdracht van:









# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1	De opgave in de Waddenzee	6
1.2	Slibdynamiek, troebelheid en KRW-doelstellingen	7
1.3	Vragen rondom de slibhuishouding	8
1.4	Aanpak	8
1.4.1	Waterbeweging, slib en algen	8
1.4.2	Groot zeegras	11
1.4.3	Bodemdieren	11
<b>2</b>	<b>Slib</b>	<b>12</b>
2.1	Achtergrond – horizontale en verticale vrachten	12
2.2	Slibmodel	14
2.2.4	Resultaten slibconcentratie in de waterkolom	14
2.2.5	Resultaten slibgehaltenes van de bodem	15
2.2.6	Slibbalans	16
<b>3</b>	<b>Effecten van menselijke bodemberoering op de slibhuishouding</b>	<b>18</b>
3.1	Volumes geassocieerd met verschillende activiteiten	18
3.2	Modelscenario's	18
3.2.1	Baggeren / verspreiden	19
3.2.2	Garnalenvisserij	20
3.3	Conclusies m.b.t. de effecten van bodemberoering op slibdynamiek	21
<b>4</b>	<b>Effect op ecologische doelen KRW</b>	<b>22</b>
4.1	Primaire productie	22
4.1.1	Algengroei en de KRW-doelstellingen	22
4.1.2	Fijnschalige ruimtelijk gedifferentieerde modellering	22
4.1.3	Langjarige modellering in relatie tot productiviteit van schelpdieren (EcoWasp)	27
4.1.4	Conclusies m.b.t. primaire productie	32
4.2	Zeegras	33
4.2.1	Herstelopgave	33
4.2.2	Zeegras en slib	34
4.2.3	Conclusies m.b.t. Groot zeegras	34
4.3	Bodemdieren	36
4.3.1	Doelstellingen binnen de KRW	36
4.3.2	De relatie tussen bodemdieren en slib	37
4.3.3	Conclusies t.a.v. bodemdieren	37
<b>5</b>	<b>Conclusies</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>Referenties</b>	<b>39</b>
6.1	Rapporten gepubliceerd binnen dit project	39
6.2	Andere literatuur	39



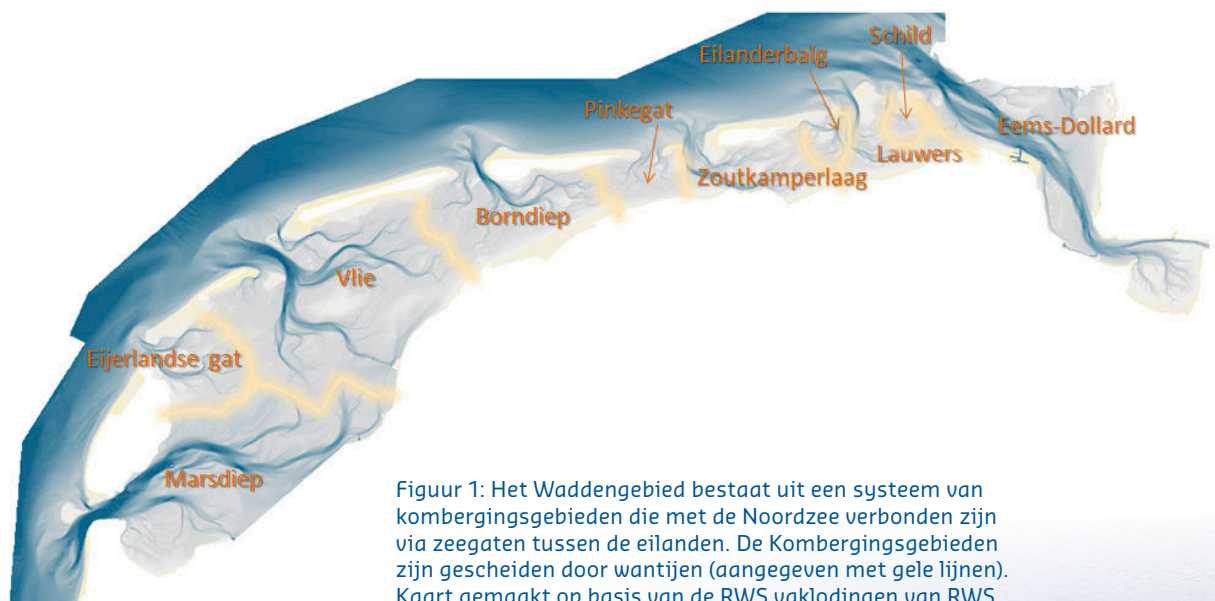
# 01. Inleiding



## 1.1 De opgave in de Waddenzee

De Waddenzee is één van de belangrijkste natuurgebieden in Nederland en heeft sinds 2008 de status van UNESCO werelderfgoed (Figuur 1). Nederland heeft daarmee de taak om er voor zorg te dragen dat de ecologische kwaliteit van het Nederlandse deel gewaarborgd is. Minimaal moet het gebied voldoen aan de normen en doelstellingen die gesteld zijn in EU richtlijnen zoals


Natura2000 en de Kaderrichtlijn Water. Wanneer deze doelstellingen niet gehaald worden, zijn maatregelen nodig. Ook als de doelstellingen op dit moment wel worden gehaald moet de overheid er zeker van zijn dat een verandering van menselijke activiteiten er niet toe leidt dat de doelstellingen in gevaar komen. Dit vergt kennis van de factoren die invloed hebben op deze doelstellingen en de relatie tussen deze factoren en menselijke ingrepen. Eén van die stuurfactoren is de slibhuishouding.



Figuur 1: Het Waddengebied bestaat uit een systeem van kombergingsgebieden die met de Noordzee verbonden zijn via zeegaten tussen de eilanden. De Kombergingsgebieden zijn gescheiden door wantijen (aangegeven met gele lijnen). Kaart gemaakt op basis van de RWS vakklodingen van RWS.







*De Waddenzee is onderdeel van de waddenkust van de Noordzee. Het ondiepe, relatief warme water van de Waddenzee met een rijk bodemleven voorziet in de levensvoorwaarden van grote aantallen planten en dieren. Nederland moet er voor waken dat menselijke activiteiten in de Waddenzee een minimale impact hebben op dit ecosysteem van internationale betekenis.*

Met de Kaderrichtlijn Water (KRW) willen EU-lidstaten in 2015 (of, wanneer dat niet mogelijk is, uiterlijk in 2027) een goede waterkwaliteit bereiken in alle Europese wateren. De beoordeling van de toestand van de waterkwaliteit is gebaseerd op de chemische kwaliteit en de ecologische toestand. Om een goede waterkwaliteit te bereiken heeft elke EU-lidstaat voor elk waterlichaam specifieke doelstellingen en maatregelen vastgesteld. In het 'Programma Rijkswateren' (Rijkswaterstaat 2009b) behorend bij het Beheer en ontwikkelplan (Rijkswaterstaat 2009a) staan de doelstellingen voor de Waddenzee geformuleerd.


Voor de Waddenzee zijn geen specifieke doelstellingen voor slib gedefinieerd. Wel zijn er doelstellingen (maatlatten) voor algen (fytoplankton, huidige toestand "matig"), zeegras, kwelders (overige waterflora, huidige toestand "slecht") en bodemdieren (macrofauna, huidige toestand "goed").

## **1.2 Slibdynamiek, troebelheid en KRW-doelstellingen**

Deze ecologische maatlatten van de KRW worden beïnvloed door verschillende factoren en beïnvloeden ook elkaar in zekere mate. We weten dat slib, en vooral slib in de waterkolom één factor is die invloed heeft op alle drie deze doelstellingen. Slib kan in het water effecten hebben op de productiviteit van het systeem. Primair op de algengroei, en secundair op dieren die direct of indirect van die algen leven. De productiviteit bepaalt dus mede hoeveel van bepaalde planten of dieren in het estuarium kunnen leven. Wat we echter niet goed weten is in hoeverre menselijke activiteiten een effect hebben op de slibhuishouding en of die effecten uiteindelijk de ecologische doelstellingen negatief beïnvloeden. Kort gezegd, we weten niet goed of slib een probleem is en, als dat het geval is, of wij maatregelen kunnen ontwikkelen die deze problemen oplossen of verminderen.

Activiteiten binnen de Waddenzee, zoals baggerwerken voor toegankelijkheid van havens, afsluitingen van grote inhammen, bodemberoerende visserij, kustverdediging en zout- en gaswinning, hebben allemaal in meerdere of mindere mate een





de slibhuishouding beïnvloeden. Daarnaast zijn er activiteiten zoals inpolderingen die buiten de Waddenzee (b.v. in het IJsselmeer) plaatsvinden, die een invloed hebben op de hoeveelheid slib die naar de Waddenzee wordt getransporteerd.

Eenzijds is een productief systeem, met een hoge algengroei wenselijk. Geen algenproductie betekent immers geen schelpdieren, geen plankton, geen vogels en geen vissen. Anderzijds kunnen bij aanwezigheid van veel licht en veel nutriënten algen ook gaan woekeren. We spreken dan van een algenbloeï. Sommige van die algenbloeïen kunnen tot grote problemen leiden, zeker wanneer het giftige of slecht consumeerbare algen betreft. De KRW heeft dan ook strikte normen gesteld op het voorkomen van algenbloeïen. Voor het beoordelingskader van de KRW geldt: hoe minder algen in het water en hoe minder algenbloeïen per jaar, hoe beter. Als je alleen op die manier naar de KRW-doelstellingen van fytoplankton zou kijken, dan zou je tot de conclusie komen dat heel veel slib in het water, wat leidt tot weinig productie van algen, gunstig zou zijn. Als je breder kijkt en ook de doelstellingen voor een hoge biomassa en een hoge diversiteit aan bodemdieren in acht neemt, dan is meteen duidelijk dat een heel lage productiviteit van algen helemaal niet wenselijk is. Er moet een balans zijn: voldoende productie om het hele voedselweb van de Waddenzee te onderhouden, maar niet zo'n hoge productie dat schadelijke algenbloeïen kunnen ontstaan.

### 1.3 Vragen rondom de slibhuishouding

Rijkswaterstaat wil vanuit haar beheertaak voor de Waddenzee graag inzicht in de mogelijke effecten die bodemberoerende activiteiten hebben op slib en vervolgens hebben op de natuurdoelstellingen van de Waddenzee. Men wil kunnen inschatten of een bepaalde activiteit een effect gaat hebben op de slibhuishouding en zo ja, of dit een negatief effect gaat hebben op de KRW-beoordeling van

het systeem. Wanneer zou blijken dat bepaalde activiteiten een negatief effect hebben op de geschiktheid van het gebied voor bepaalde soorten, kan overwogen worden maatregelen te treffen of compensatiemaatregelen te nemen. Men wil graag van te voren kunnen inschatten of een maatregel een gewenst effect gaat hebben of niet.

De volgende vragen zijn binnen dit project gedefinieerd:

- Wat en hoe groot zijn de effecten van menselijke bodemberoerende activiteiten of ingrepen op de slibhuishouding van de Waddenzee?
- Wat zijn de gevolgen van deze effecten voor het ecosysteem, in het bijzonder voor de biologische 'kwaliteitscomponenten' fytoplankton, zeegras en macrofauna?
- Welke maatregelen of zoekrichtingen zijn mogelijk om eventuele negatieve effecten op de slibhuishouding te verzachten of te minimaliseren?

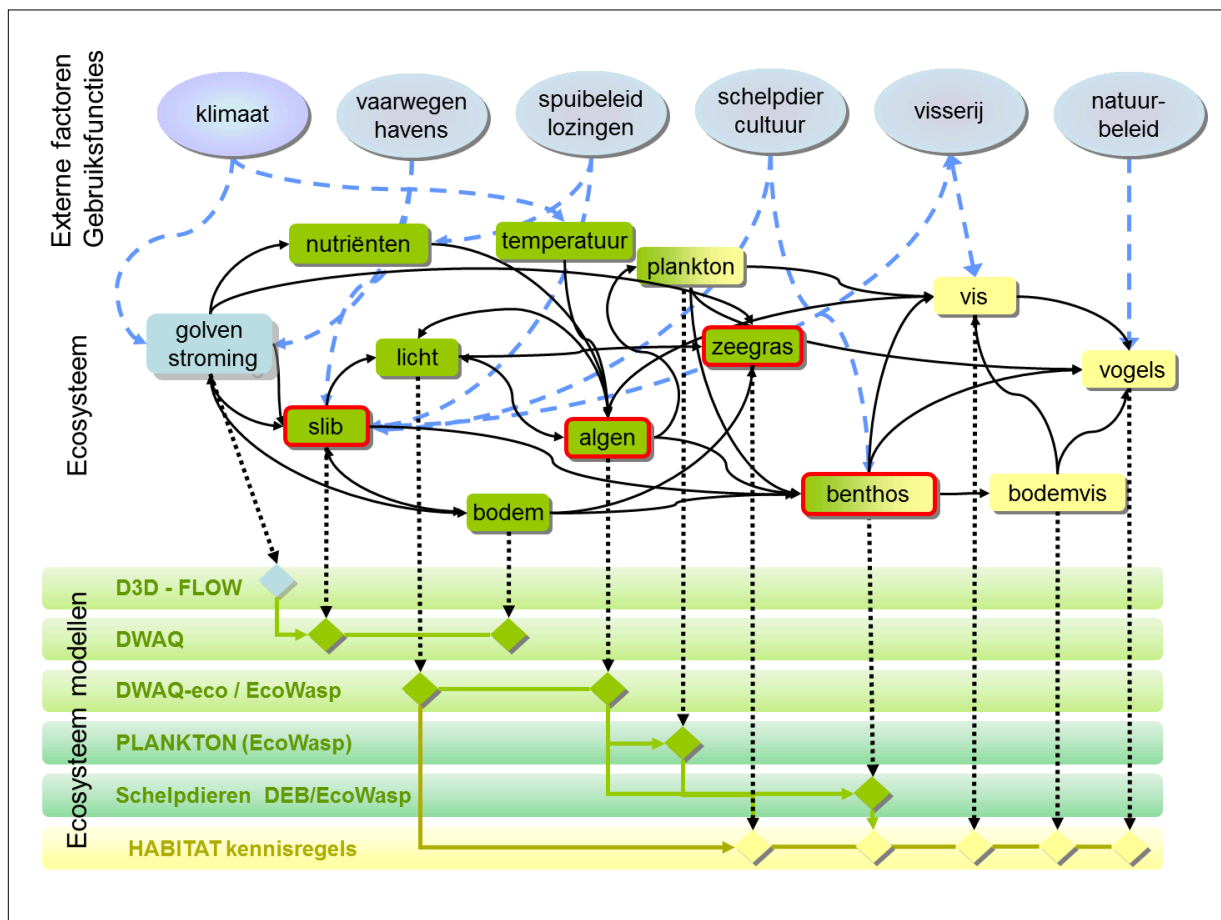
## 1.4 Aanpak

Binnen dit project is een inschatting gemaakt van de volumes slib die geassocieerd zijn met menselijke bodemberoering (Kuijper and Brinkman 2015). Verder is een slibmodel ontwikkeld dat de huidige slibdynamiek van de Waddenzee simuleert. Dit model is vervolgens gebruikt om de effecten van verschillende menselijke activiteiten op de slibdynamiek te analyseren (Van Kessel 2015). Van die activiteiten die een de grootste invloed hebben op de slibdynamiek zijn vervolgens scenarioberekeningen uitgevoerd met ecologische modellen om de effecten op de verschillende kwaliteitsparameters te bepalen. Aanvullend is gebruik gemaakt van expert judgement (in de vorm van een workshop) en kennis die is opgedaan in aanverwante projecten (De Kluijver et al. 2015).

### 1.4.1 Waterbeweging, slib en algen

Er bestaat niet één model waarmee alle effecten op alle ecosysteemcomponenten kunnen worden





Figuur 2: Effectketen waarin de verbanden tussen autonome veranderingen in het systeem, menselijke ingrepen en de verschillende componenten van het ecosysteem vereenvoudigd worden weergegeven. De elementen binnen het ecosysteem die binnen dit onderzoek speciale aandacht krijgen zijn rood omkaderd. Daaronder zijn de verschillende modelsystemen weergegeven die ingezet kunnen worden bij het berekenen van effecten. Vooral voor zeegras en voor bodemdieren (benthos) is binnen dit project meer gebruik gemaakt van expert judgement dan van rekenkundige modellen. Voor zoöplankton en schelpdieren is alleen met het EcoWasp modelsysteem gewerkt.

berekend. Figuur 2 geeft de effectketen weer met de verbanden tussen autonome veranderingen in het systeem, menselijke ingrepen en de verschillende componenten van het ecosysteem en een aantal beschikbare modelsystemen waarmee voorspellingen gedaan kunnen worden voor verschillende ecosystemen.

Waterbeweging en golven worden met aparte modellen berekend en deze sturen het slibmodel aan. Effecten van slibdynamiek, via vertroebeling en lichtintensiteit op de productiviteit kunnen op

meerdere manieren berekend worden. Binnen dit project is met twee modelsystemen gewerkt. Een model met een fijne ruimtelijke resolutie en een directe koppeling met het slibmodel om verschillen binnen kombergingsgebieden te kunnen berekenen (DWAQ-GEM). Het tweede modelsysteem heeft grovere compartimenten en kan langjarige effecten doorrekenen, een doorvertaling maken naar de groei van schelpdieren (EcoWasp) en schatten wat effecten kunnen zijn op de hoeveelheid voedsel dat wordt geproduceerd voor hogere trofische niveaus, zoals vogels.





### *Modellen en data*

Modellen bevatten allerlei processen die een afspiegeling zijn van wat er in de werkelijkheid gebeurt. Als het om biologische processen gaat worden eigenlijk altijd processen bij elkaar genomen; er zijn er te veel om alles apart te beschrijven. We werken bijvoorbeeld met 'functionele groepen': we beschrijven geen mosselen, maar filtrerende schelpdieren; geen individuele algensoorten, maar kiezelwieren, enzovoort. Modellen zijn altijd abstracties van de werkelijkheid. Er is hierbij veel kennis uit de literatuur of voorgaand onderzoek verwerkt zodat

niet altijd alles opnieuw gemeten hoeft. Maar, zonder metingen uit het veld van het onderzoeksgebied blijven het 'computerspelletjes'. Enerzijds zijn er data noodzakelijk om modellen te 'voeden'. Er zijn gegevens nodig voor de randvoorwaarden (bodempligging, bodemsamenstelling, meteorologische gegevens, toestroom van zoet water, etc.). Onnauwkeurigheden in bv. de invoer van gegevens m.b.t. hoeveel slib er op welke plaats in de bodem zit, zal uiteindelijk fouten opleveren in de voorspelling m.b.t. de slibconcentratie in de waterkolom.





Anderzijds zijn data nodig om te testen of modellen de juiste voorspelling geven van een bekende situatie, voor dat wordt uitgerekend wat in toekomstige scenario's gaat gebeuren. Vaak is het aantal beschikbare meetgegevens hiervoor niet voldoende. Zo zijn er uit de reguliere monitoring van RWS wel gegevens beschikbaar van de hoeveelheid chlorofyl (waaruit je de biomassa van algen kunt schatten), maar niet van primaire productie (hoeveel biomassa er per dag of per jaar wordt geproduceerd). Als er onvoldoende invoer of validatiegegevens beschikbaar zijn moet men voorzichtig zijn met de uitkomsten

#### *Gevoeligheidsanalyses*

Ook wanneer in de gegevens voor de randvoorwaarden onnauwkeurigheden zitten en er te weinig validatiedata zijn kunnen modellen systeeminzicht genereren. Door bepaalde parameters in het model te veranderen en te zien wat dit doet met de uitkomsten kunnen we een idee krijgen of het systeem gevoelig is voor die parameter. Door de slibconcentratie in het hele gebied te verhogen of te verlagen en te zien wat dit doet met de primaire productie, ontstaat een redelijk idee wat verhoudingsgewijs de gevolgen zijn van slib voor de primaire productie.



#### 1.4.2 Groot zeegras

Voor zeegras loopt momenteel een KRW-project, dat gericht is op het herstel van deze soort in de Waddenzee. Kennis over de doorvertaling van slib op habitatgeschiktheid van zeegras is deels uit dit project en deels uit literatuur gehaald.

#### 1.4.3 Bodemdieren

Binnen de KRW worden de bodemdieren vooral in termen van soortensamenstelling en diversiteit uitgedrukt. Het is niet mogelijk de effecten daarop te berekenen, omdat hiervoor geen goede modellen kant-en-klaar beschikbaar zijn. Daarnaast is de toestand voor bodemdieren volgens de huidige KRW-beoordeling "goed". De KRW vereist dus geen verbetering. Dit geeft een lagere urgentie aan modelontwikkeling hierop. Er zijn dan ook geen habitatmodellen of andere rekenmodellen opgetuigd om effecten van slibdynamiek op de samenstelling van de bodemdiergemeenschap door te rekenen. Voor bodemdieren is op basis van literatuur en expert judgement bepaald in hoeverre antropogene invloed op de slibdynamiek een effect heeft op de bodemdiersamenstelling. Daarnaast is met het EcoWasp model een schatting gemaakt van effecten op de hoeveelheid schelpdieren.







De Waddenzee is van nature een systeem waarin grote hoeveelheden slib via de zeegaten in en uit het systeem stromen en ook dagelijks zeer grote hoeveelheden slib binnen het systeem opwervelen en weer bezinken. Het is belangrijk om onderscheid te maken tussen de bruto vrachten die met elk getij naar binnen en naar buiten gaan en de hoeveelheden die netto verplaatst worden, gemiddeld over een langere tijd.

Naast deze natuurlijke vrachten wordt er door menselijke activiteiten zoals baggeren, vissen,

garnalenvissen, pierensteken en kustsuppleties slib in beweging gebracht dat een tijd in de waterkolom verblijft en vervolgens weer bezinkt. In dit project is de centrale vraag hoe de hoeveelheid slib die door mensen in beweging wordt gebracht zich verhoudt tot de natuurlijke slibbewegingen. Als deze verhouding heel klein is, dan zullen maatregelen op het beperken van bepaalde activiteiten in ieder geval via de slibhuishouding weinig effect hebben. Als die verhouding groot is, dan kunnen beperkingen of andere maatregelen wel zinvol zijn.




## 2.1 Achtergrond - horizontale en verticale vrachten

De Waddenzee is relatief slibrijk en bevat veel hogere slibconcentraties in het water dan de Noordzee. Normaal zou je verwachten dat er slib vanuit de Waddenzee naar de Noordzee zou worden getransporteerd. Dit is echter niet het geval. Er gaat netto slib vanuit de Noordzee naar de Waddenzee, tegen de concentratiegradiënt in. Voor dit project van start ging waren er veel vragen rondom de slibbalans. De bestaande modellen waren niet toereikend en meetgegevens zijn relatief schaars. Uit recent onderzoek in het







*Slib hoort bij de Waddenzee. Via de zeegaten en via rivieren en het IJsselmeer komen grote hoeveelheden slib de Waddenzee in. Een deel bezinkt en een deel wordt met het getij weer naar buiten getransporteerd. Golven, stroming, de vorm van de bodem, de samenstelling van de bodem, zoutconcentratie en de aanwezigheid van organismen bepalen de slibdynamiek.*

aanpalende project over de slibhuishouding van het Eems-Dollard gebied leert dat slibconcentraties daar zijn toegenomen. Dit is ook het geval in de omliggende Nederlandse kombergingsgebieden van het oostelijke deel van de Waddenzee (Van Maren en Vroom 2012). Vergelijkbare studies in het westelijke deel van de Waddenzee hebben geen duidelijke trend kunnen vaststellen. Dit verschil tussen het oostelijk en westelijk deel van de Waddenzee is nog niet goed begrepen. De Eems-Dollard studie heeft wel duidelijk gemaakt dat de veranderingen naar hypertroebelheid op de Eemsrivier niet de belangrijkste oorzaak is van hogere slibconcentraties in de Eems-Dollard.

Op kleine tijdschaal zijn de hoeveelheden slib die in het systeem opwerpen en bezinken veel groter dan wat horizontaal wordt getransporteerd. Dit bepaalt dus veelal de troebelheid. Op grote tijdschaal is juist horizontaal transport veel belangrijker, want dit bepaalt uiteindelijk hoeveel slib er lokaal beschikbaar is voor resuspensie.

## 2.2 Slibmodel

Delft3D is een geïntegreerde software suite voor het simuleren van stroming, sedimenttransport en

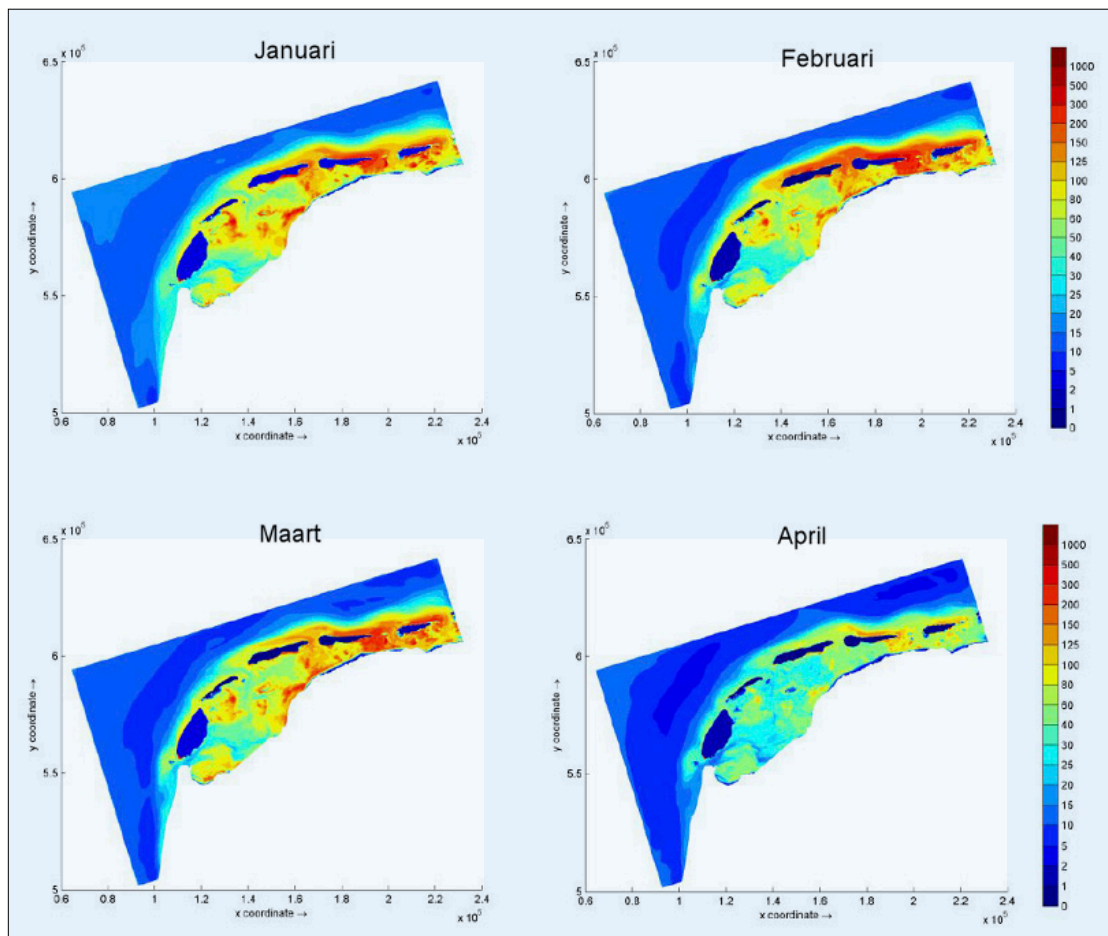
morfologie, golven, waterkwaliteit en ecologie en verzorgt de interacties tussen deze processen. Het slibmodel is opgezet in Delft3D, volgens dezelfde aanpak als voor slibmodellen van de Noordzee, Westerschelde en Eems-Dollard.

Het jaar 2009 is gekozen als referentie, omdat dit jaar in de meeste opzichten qua weersomstandigheden niet bijzonder extreem was en bovendien waren er van dit jaar relatief veel data beschikbaar voor kalibratie en validatie van het model.

### 2.2.4 Resultaten slibconcentratie in de waterkolom

Figuur 3 toont de tijdgemiddelde slibconcentratie aan de oppervlakte (in mg/l) in de Waddenzee voor de maanden januari tot mei 2009. Hieruit blijkt dat slibconcentraties gemiddeld hoger zijn vlak bij land en ook dat de oostelijke Waddenzee troebeler is dan de westelijke Waddenzee. Uit metingen kan ook een soortgelijke concentratiegradiënt worden afgeleid. Naast de concentratiegradiënt springt ook de variabiliteit van de concentratie in het oog. Van maand tot maand kan de gemiddelde concentratie sterk afwijken; behalve van het getij hangt dit ook sterk af van de wind (zowel snelheid





Figuur 3: Berekende maandgemiddelde slibconcentratie aan de oppervlakte (mg/l) voor januari, februari, maart en april 2009.

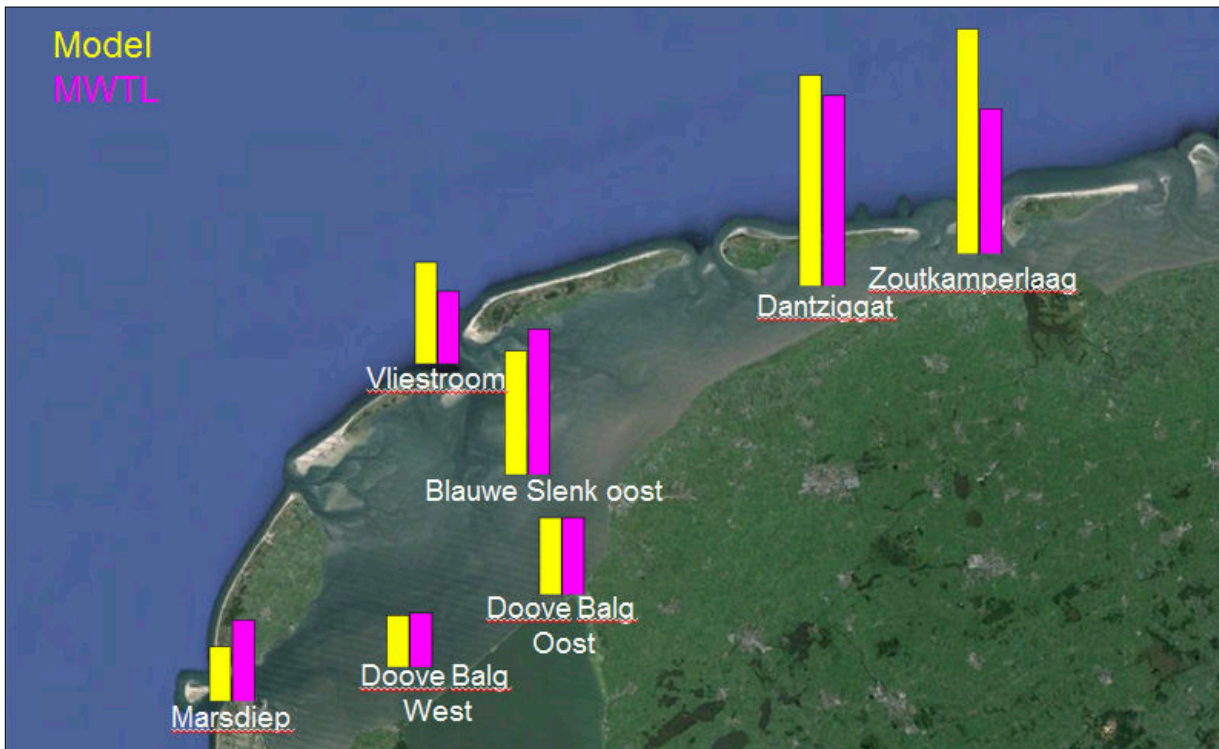
als richting), golfhoogte en afvoer van water uit het IJsselmeer en Lauwersmeer. Naast deze fysische factoren kunnen ook biologische factoren een rol spelen, omdat deze de valsnelheid en de erodeerbaarheid van slib kunnen beïnvloeden. Deze biologische effecten zijn in het huidige model echter niet meegenomen. Ook missen we fundamentele kennis om deze effecten goed in modellen mee te kunnen nemen.

Het valideren van het slibmodel is problematisch omdat er een gebrek is aan goede meetseries. De standaard monitoring op de MWTL locaties gebeurt elke 2 tot 4 weken en monstert alleen in

de bovenste waterlaag. De variatie binnen een getijcyclus en verticaal over de waterkolom is echter zo groot dat met de MWTL-gegevens het niet mogelijk is om te bepalen of bv. de variatie in slibconcentratie over het getij goed in het model zit. Bovendien vindt de bemonstering niet plaats onder zware windcondities, wanneer juist een grote resuspensie is te verwachten.

Echter als we de beschikbare MWTL data vergelijken met de modelberekeningen in de bovenste waterlaag op de meetlocaties, wordt in elk geval wel een eerste indruk van de modelkwaliteit verkregen. Dit is weergegeven in figuur 4. Hierin is te zien dat het





Figuur 4: Vergelijking van concentraties in de bovenste waterlaag tussen het slibmodel en de reguliere MWTL-metingen.

niveau van de metingen jaargemiddeld vrij goed overeenkomt met het model. De locatie met procentueel de grootste afwijking is Zoutkamperlaag, waar het model een overschatting van ongeveer 30% geeft, terwijl in het Marsdiep het model een concentratie berekent die iets minder dan 25% onder de gemiddelde gemeten waarde ligt.

### 2.2.5 Resultaten slibgehalten van de bodem

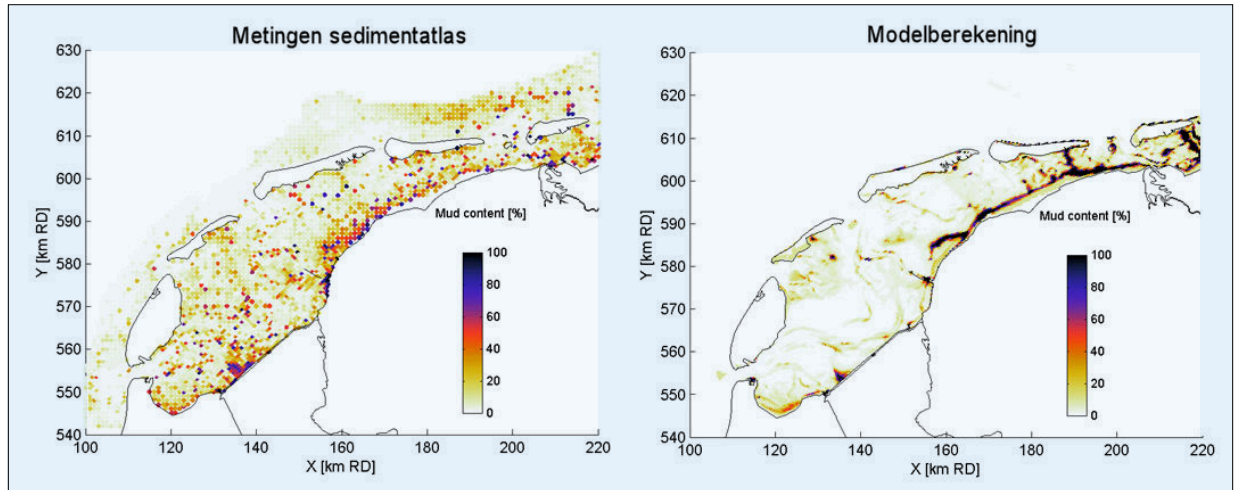
Figuur 5 toont de gemeten en berekende slibfractie in de bodem van de Waddenzee. Het ruimtelijke beeld van de bodemsamenstelling is volledig gegenereerd door fysische processen die door het model worden berekend. De waargenomen gradiënt van toenemend slibgehalte in landwaartse en oostelijke richting wordt gereproduceerd. Op de Noordzee is het slibpercentage in de bodem erg laag omdat de slibconcentratie in de waterkolom laag is. Door de sterke golfwerking zijn

daar ook weinig locaties waar slib kan bezinken. In de hoofdgeulen van de Waddenzee is het slibpercentage ook laag, vooral aan het zee-waartse einde hiervan. Op de kwelders tegen de kust van Friesland en Groningen is het slibpercentage erg hoog. In globaal opzicht komen de berekende tendensen redelijk goed overeen met de waarnemingen, maar een gedetailleerde vergelijking per rooster cel kan grote verschillen laten zien. Het model is dus wel voorspellend wat betreft grootschalig gedrag, maar niet voorspellend wat betreft lokale bodemsamenstelling.

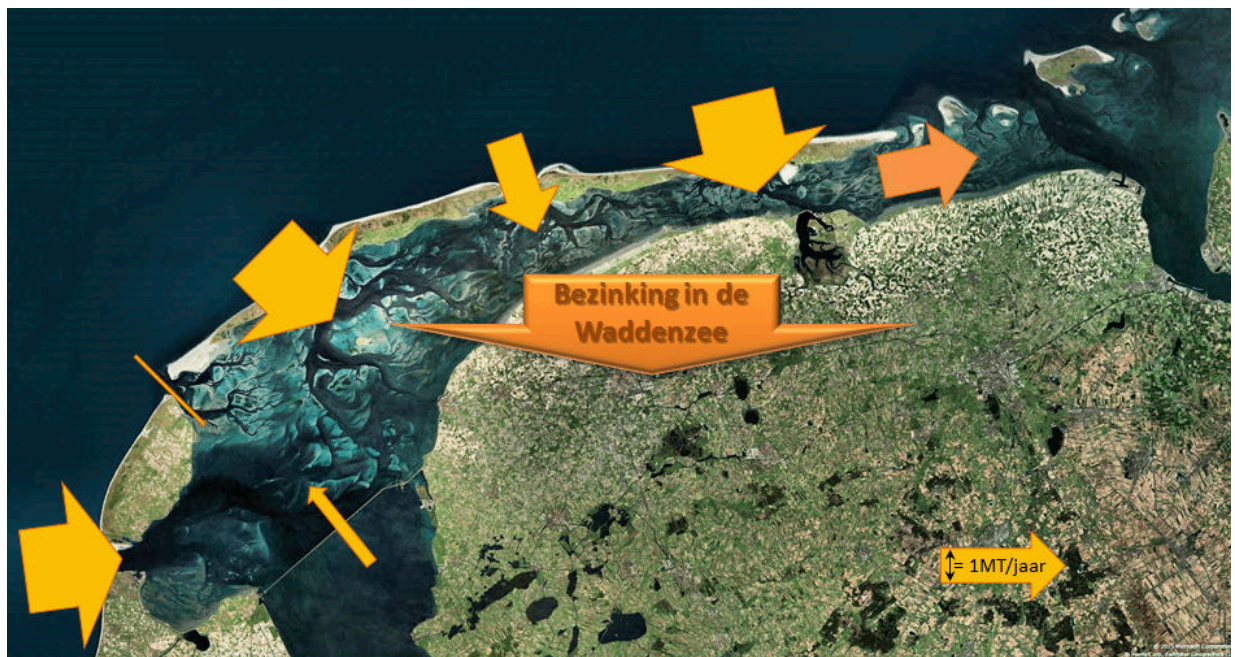
### 2.2.6 Slibbalans

In figuur 6 staat de met het model berekende netto slibbalans voor de Waddenzee weergegeven. Voor naamgeving van de hieronder genoemde kombergingen zie figuur 1. Het slibtransport door het Eijerlandse Gat is veel kleiner dan door de





Figuur 5: Vergelijking tussen gemeten slibfracties in de bodem (links, op basis van de sedimentatlas) en modelberekeningen (rechts).



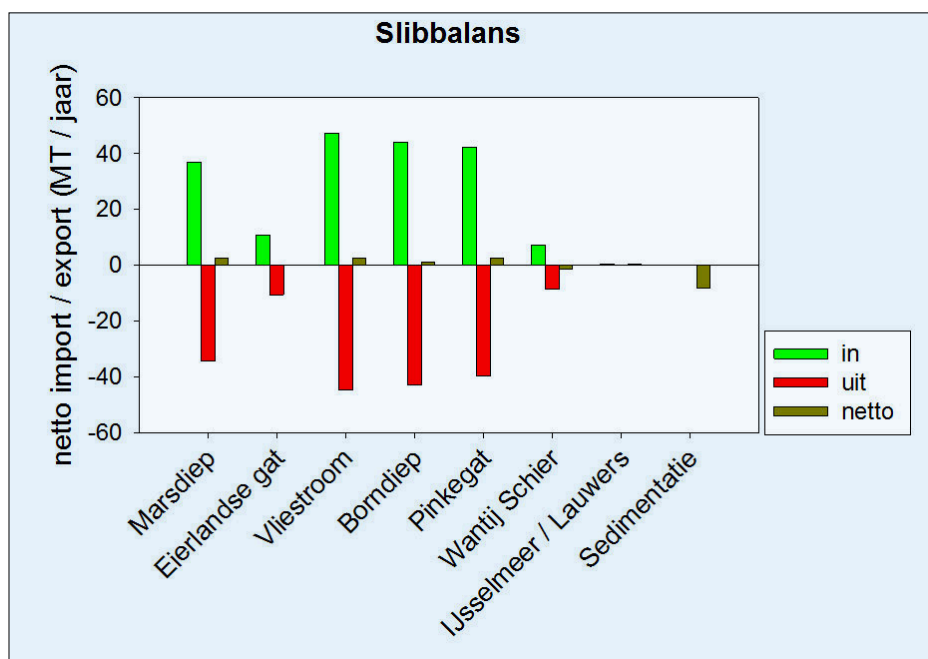
Figuur 6: Netto slibtransporten via de zeegaten, het IJsselmeer en het wantij van Schiermonnikoog en de totale bezinking van slib in de Waddenzee in de gemodelleerde periode. De dikte van de pijlen is representatief voor het netto transport. NB: op jaarbasis zullen deze transporten wat kleiner zijn, aangezien de grootste slibbewegingen in de zomer plaatsvinden.



overige zeegaten, zowel bruto als netto. De bruto slibtransporten door de overige zeegaten zijn in ordegrootte 40 MT/jaar per zeegat, hoewel het getijvolume door het Borndiep en Pinkegat een stuk kleiner is dan door het Marsdiep. Dit wordt veroorzaakt door de naar het oosten toenemende slibconcentratie. Alle zeegaten importeren slib, omdat er in de Waddenzee zeer veel slib bezinkt. De netto slibfluxen per zeegat variëren tussen 1.2 en 2.7 MT/jaar, met uitzondering van de netto slibflux door het Eijerlandse Gat (Figuur 6).

Over het wantij tussen Schiermonnikoog en het vaste land wordt netto een aanmerkelijke hoeveelheid slib naar het oosten getransporteerd,

circa 1.4 MT/jaar. De berekende netto sedimentatie in de Waddenzee bedraagt 8 MT/jaar, circa tweemaal de waargenomen sedimentatie. Dit wordt voor het merendeel (6 MT/jaar) veroorzaakt door consolidatie van slibafzettingen op de kwelders voor de kust van Friesland en Groningen. Dit houdt in dat slib dat is neergeslagen op de kwelders gaat inklinken en daardoor niet meer kan opwervelen. Het geconsolideerde slib wordt hiermee dus in feite aan het model onttrokken. De snelheid waarmee consolidatie optreedt, is in het model waarschijnlijk overschat en bij toekomstig gebruik van dit model moet deze factor eigenlijk nader bekeken worden.



Figuur 7: Berekende slibbalans voor de Waddenzee. De import / export is vanuit de periode waarover het model is gedraaid, geëxtrapoleerd naar een jaar.



# 03.

## Effecten van menselijke bodem- beroering op de slibhuishouding



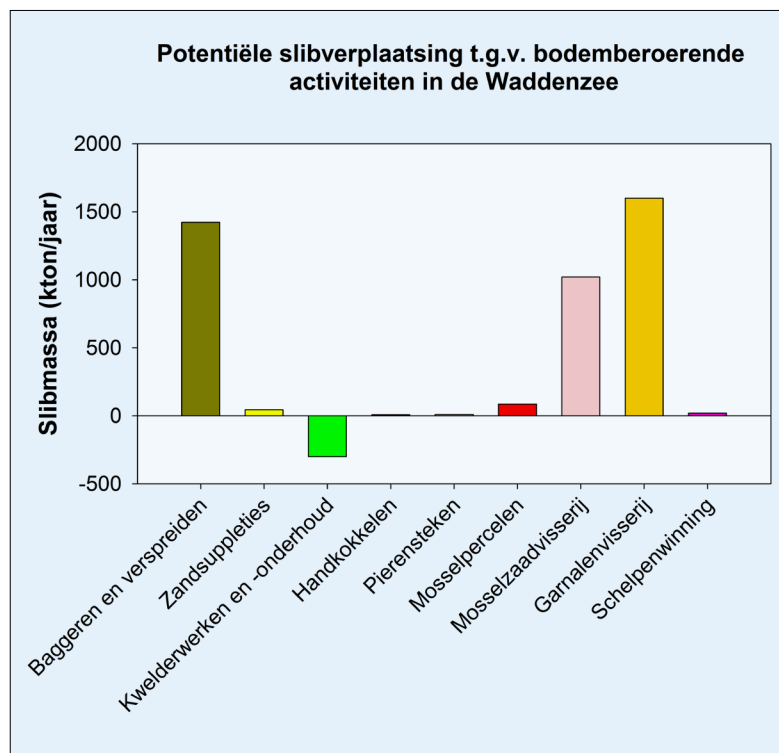
### 3.1 Volumes geassocieerd met verschillende activiteiten

De menselijke activiteiten zijn in kaart gebracht: visserij (mosselen, handkokkels, garnalen, platvis en schelpen), gebruik van mosselzaadinstallaties

(MZI's), beheer van mosselpercelen, baggeren en verspreiden van sediment en kwelderwerken en -onderhoud. De grootste potentiële effecten op de slibbalans bleken het gevolg van de bodem-beroerende activiteiten ten gevolge van de garnalenvisserij, gevolgd door baggeren en verspreiden

en vervolgens de mosselzaadvisserij. De effecten van zandsuppleties langs de Waddeneilanden, de kwelderwerken en het beheer van mosselpercelen zijn een orde kleiner. De effecten van overige activiteiten (handkokkelen, pierensteken, mosselzaadvang en schelpenwinning) zijn te verwaarlozen (Figuur 8).

Hierbij moet worden opgemerkt dat de schattingen van deze volumes, met name die van de garnalenvisserij, zeer grote onzekerheden bevatten en dat de gebruikte schattingen hiervoor eerder een worst case scenario zijn. Er is een veel gedetailleerder analyse voor nodig om

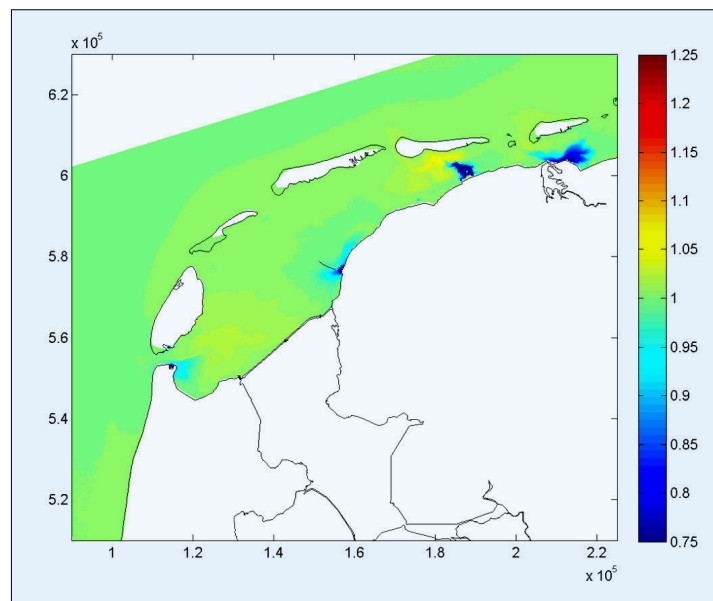


Figuur 8: Potentiële volumes slib die door bodemberoerende activiteiten in beweging wordt gebracht

*Slib kan worden opgewerveld door golven en stroming, maar ook door menselijke activiteiten. In havens en vaargeulen slaat veel slib neer. Om deze bevaarbaar te houden worden veel geulen en havens regelmatig uitgebaggerd. Dit baggerslib wordt teruggestort in de Waddenzee. Ook op plekken waar met boomkorren op platvis en garnalen wordt gevestigd kan een deel van het slib worden opgewoeld.*

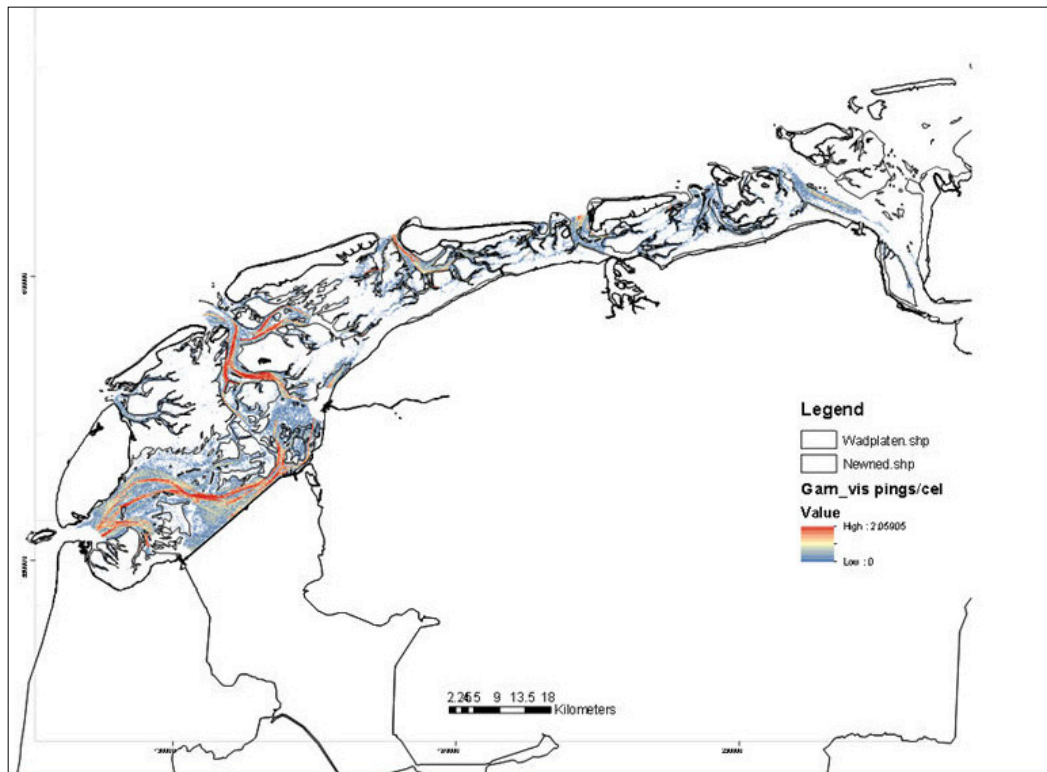
een meer realistische schatting te maken van de hoeveelheid slib die door garnalenvissers wordt opgewoeld. De getallen voor baggeren en verspreiden zijn gebaseerd op de gegevens van 2010 van RWS plus havens van Harlingen en Den Helder. Door de sterk toegenomen baggerbezwaar bij de veerbootroute naar Ameland liggen de gemiddelde waarden over de laatste vier jaar hoger. Voor de huidige situatie is deze grafiek voor baggeren en verspreiden dus een onderschatting.

Het is belangrijk te bedenken dat de volumes slib die in Figuur 8 vermeld worden niet meteen geëxtrapoleerd kunnen worden naar vertroebeling. Bijvoorbeeld, voor baggeren en verspreiden worden verschillende technieken gebruikt, zoals opzuigen, opwoelen (agitatiebaggeren) en scheppen (Jonker en Kooistra, 2011). Deze verschillende technieken zullen uiteindelijk een heel verschillend effect op vertroebeling hebben.



Figuur 9: Berekende relatieve verandering van de tijd-gemiddelde slibconcentratie in de waterkolom (nabij de oppervlakte) ten gevolge van aanslibbing in en onderhoud van havens en vaargeulen. < 1 (blauw) is een verlaging, >1 (geel-rood) is een verhoging van de slibconcentratie; 1 (groen) is geen verandering.





Figuur 10: Ping-kaart van de Waddenzee representatief voor de intensiteit van garnalenvisserij. Kleurindicatie is van blauw (lage visserijintensiteit) naar rood (hoge intensiteit)

## 3.2 Modelscenario's

Garnalenvisserij was een activiteit die er uit leek te springen in de relatief simpele, eerste ordenadering die hierboven is beschreven. Hetzelfde geldt voor de mosselzaadvisserij. Op dit moment zit de mosselsector echter in een transitie situatie waarbij mosselzaadvisserij over een aantal jaren wordt uitgefaseerd. Deze activiteit zal de komende jaren dus verdwijnen en wordt daarmee vanzelf van veel minder belang. De andere activiteit die veel slib in de waterkolom brengt is baggeren en verspreiden van baggerslib. Baggeren / verspreiden en garnalenvisserij zijn daarom gekozen als belangrijkste activiteiten om modelscenario's mee door te rekenen.

### 3.2.1 Baggeren / verspreiden

Voor het bepalen van de invloed van haven- en vaargeulonderhoud op de troebelheid is in het model een vijftal onderhouds- en verspreidingsvakken gedefinieerd: Den Helder, 't Horntje, Harlingen, Holwerd en Lauwersoog. In het model worden in de "bagger-

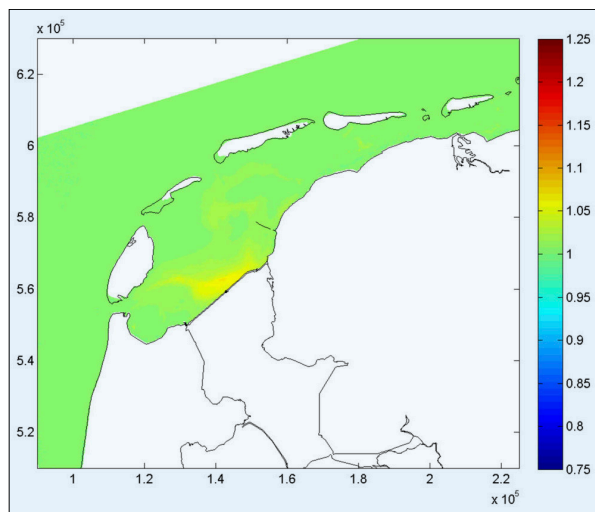




vakken” modelparameters zo aangepast dat alle slib daar “bezinkt”. Elke twee weken worden deze baggervakken leeggehaald en het materiaal wordt verspreid in de verspreidingsvakken. Figuur 9 geeft de tijdsgemiddelde veranderingen in slibconcentratie weer. Vanzelfsprekend zorgt enerzijds verspreiding van onderhoudsspecie rondom de stortvakken voor een tijdelijke concentratieverhoging (geel/rood), maar anderzijds zorgt aanslibbing in de havens en toegangseulen voor een permanente concentratieverlaging (blauw). Over een relatief groot gebied is uiteindelijk de concentratie licht verhoogd (tot enkele procenten) door de verspreiding van slib vanaf de stortvakken.

### 3.2.2 Garnalenvisserij

Op basis van een zogenaamde ping-kaart van de Waddenzee (Figuur 10) waarin de vaarbewegingen van de garnalenkotters zijn samengevat, is een gewogen belasting door garnalenvisserij berekend. Een pinger is een apparaat aan boord van een garnalenkotter waarmee vaarbewegingen worden vastgelegd. Hierbij is rekening gehouden met het



Figuur 11: Berekende relatieve verandering van de tijd-gemiddelde concentratie in de Waddenzee bovenin de waterkolom ten gevolge van garnalenvisserij. < 1 (blauw) is een verlaging, >1 (geel-rood) is een verhoging van de slibconcentratie; 1 (groen) is geen verandering.

feit dat slechts één op de drie garnalenkotters een pinger aan boord hebben.

Het verschil in resuspensie van slib tussen de scenario's met en zonder garnalenvisserij is 13.3 Mton per jaar. Het merendeel hiervan betreft resuspensie vanuit de flufflaag (11.4 Mton per jaar). Het restant (1.9 Mton per jaar) is resuspensie vanuit de zandige bodem (de bufferlaag). Dit is 1.7% van de natuurlijke resuspensie vanuit de zandige bodem die in het scenario zonder garnalenvisserij wordt berekend. De berekende resuspensie vanuit de zandige bodem wijkt slechts beperkt af van de schatting door Kuijper en Brinkman (2013) van 1.6 Mton per jaar extra resuspensie ten gevolge van garnalenvisserij.

## 3.3 Conclusies m.b.t. de effecten van bodemberoering op slibdynamiek

Beide scenario's laten lokaal een effect van het menselijk handelen zien op de slibconcentraties in de bovenste waterlaag. Haven- en vaargeulonderhoud leiden tot een lagere tijdgemiddelde slibconcentratie in en vlakbij de havens maar een iets hogere waarde verder weg, vooral rondom de verspreidingslocaties van baggerspecie. Op de schaal van de Waddenzee is dit onderhoud echter niet van wezenlijke invloed op de slibdynamiek.

Dit geldt ook voor het effect van garnalenvisserij. In de meest beviste gebieden is de tijdgemiddelde slibconcentratie in de bovenste waterlaag licht verhoogd (met zo'n 5%), hierbuiten is de invloed verwaarloosbaar. Lokaal kan frequente bevissing leiden tot een wat slibarmere bodem, omdat het hierin aanwezige slib telkens wordt opgewoeld door het vistuig. Maar op de schaal van de Waddenzee wordt de slibdynamiek niet wezenlijk beïnvloed door garnalenvisserij.



# 04. Effect op ecologische doelen KRW



In dit hoofdstuk worden de effecten van veranderingen in de slibhuishouding (met name vertroebeling) op de verschillende ecologische elementen geëvalueerd. Hierin wordt met modelstudies en expert judgement een inschatting gegeven of de effecten van menselijke bodemberoering (zoals baggeren en garnalenvissen) op de slibdynamiek, al dan niet wezenlijk bijdragen aan het niet halen van de KRW-doelstellingen. Doel is om na te gaan of het nut heeft om maatregelen (zoals beperking van bepaalde activiteiten) te nemen die er toe kunnen leiden dat deze doelstellingen wel worden gehaald.

## 4.1 Primaire productie

### 4.1.3 Algen groei en de KRW-doelstellingen

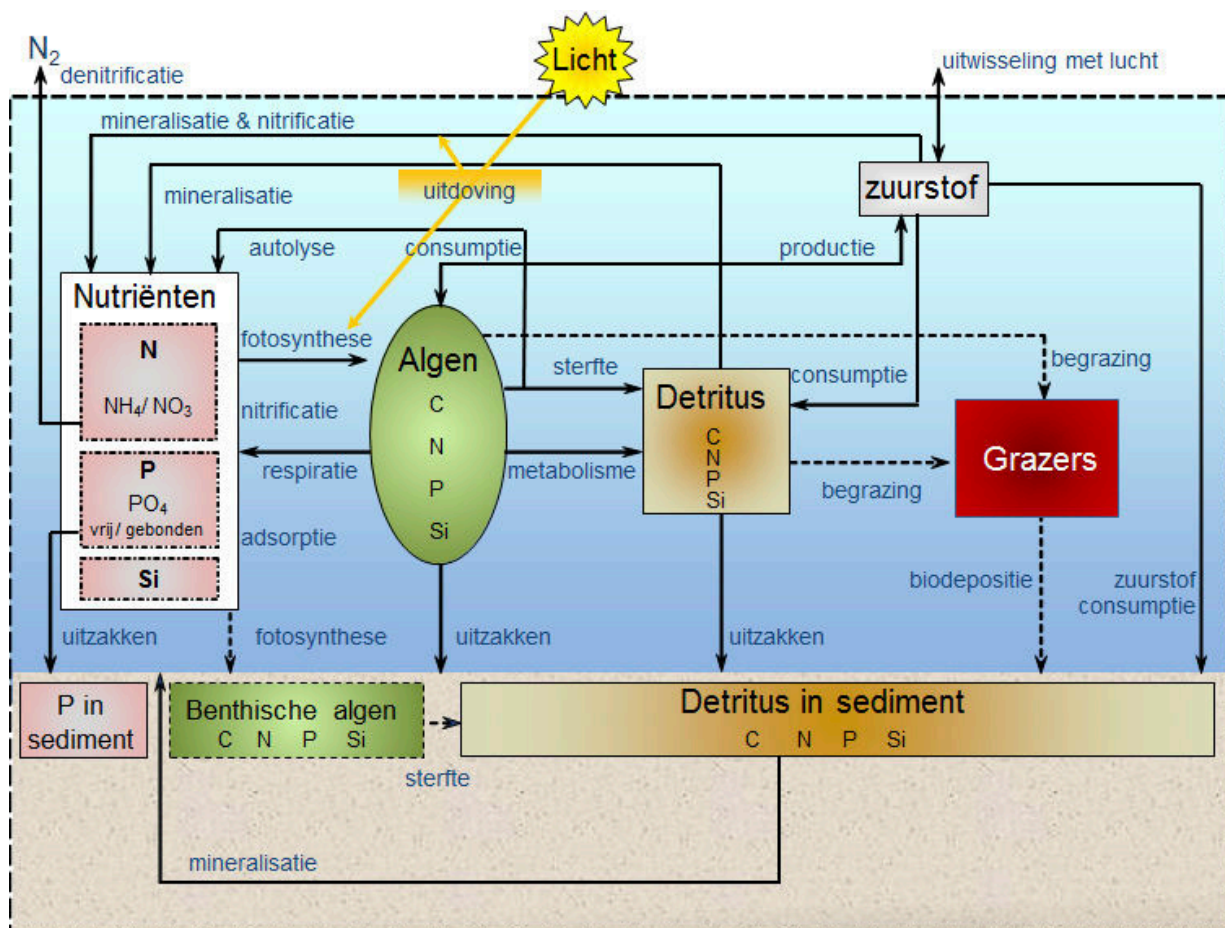
De Waddenzee valt voor de KRW onder water type K2, beschutte, polyhaliene kustwateren. De fytoplanktonmaatlat voor de Nederlandse kust- en overgangswateren is een gecombineerde score gebaseerd op de concentraties van chlorofyl en de hoeveelheid Phaeocystis in de waterkolom. Op grond van deze factoren wordt een index berekend, die vervolgens wordt vergeleken met de norm-index voor de Waddenzee (STOWA 2007, 2012). Op grond

hiervan is de toestand van het fytoplankton bij de start van dit project beoordeeld als "matig" (beoordelingsjaar 2009). In de meest recente analyse van 2014 is de beoordeling bijgesteld tot "goed" (Rijkswaterstaat 2014). In zoute wateren is stikstof vaak de meest beperkende factor. In de KRW zijn normeringen opgenomen voor stikstof. Voor de Waddenzee is de KRW-beoordeling voor stikstof (opgelost anorganisch stikstof in de winter) "matig".

### 4.1.4 Fijnschalige ruimtelijk gedifferentieerde modellering

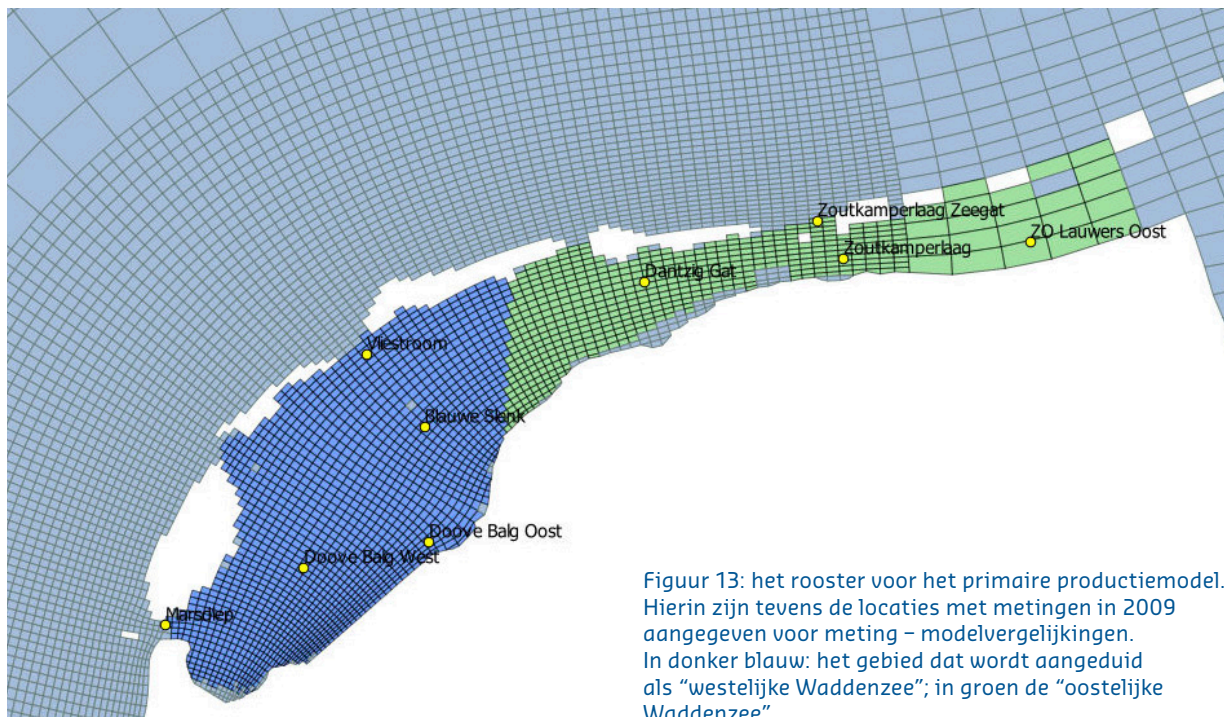
Algen maken onder invloed van licht en voedingsstoffen organisch materiaal. Dit is de basis voor de hele voedselketen. Op basis van de simulaties en de scenariostudies van het slibmodel kunnen we inschatten hoe groot het effect is van veranderingen in troebelheid op de groei van algen. Het GEM (Generiek Ecologisch Model) model voor de Noordzee en Waddenzee beschrijft het stoftransport, de nutriënten- en zuurstofhuishouding, de primaire productie, chlorofyl, samenstelling van het fytoplankton en het onderwater lichtklimaat. Deze processen staan geschematiseerd in Figuur 12. Het model maakt gebruik van transportvelden uit het waterbewegingsmodel en velden van slibconcentraties in de waterkolom uit het slibmodel.

*Slib in het water vermindert de lichtdoordringing. Dit kan de groei van fytoplankton en zeegras beperken, maar dat hoeft niet altijd het geval te zijn. Algen groei is de basis van het voedselweb van de Waddenzee. Minder algen kan betekenen: minder dieren. Echter hele dichte algenbloeien als gevolg van overbemesting zijn ook niet goed.*



Figuur 12: Schematische weergave van de verschillende processen in het Primaire productie model. Deze processen worden uitgerekend voor elke cel van het rooster (Figuur 13)





Figuur 13: het rooster voor het primaire productiemodel. Hierin zijn tevens de locaties met metingen in 2009 aangegeven voor meting – modelvergelijkingen. In donker blauw: het gebied dat wordt aangeduid als “westelijke Waddenzee”; in groen de “oostelijke Waddenzee”.

Het slibmodel is erg fijnschalig en het zou extreem veel rekentijd vergen om al deze processen te berekenen voor elke cel van het model. Daarom is voor het primaire productiemodel gebruikgemaakt van een iets grover rooster voor de Zuidelijke Noordzee en de Waddenzee (Figuur 13). De resultaten van het slibmodel worden voor deze toepassing “geprojec

### Chlorofyl

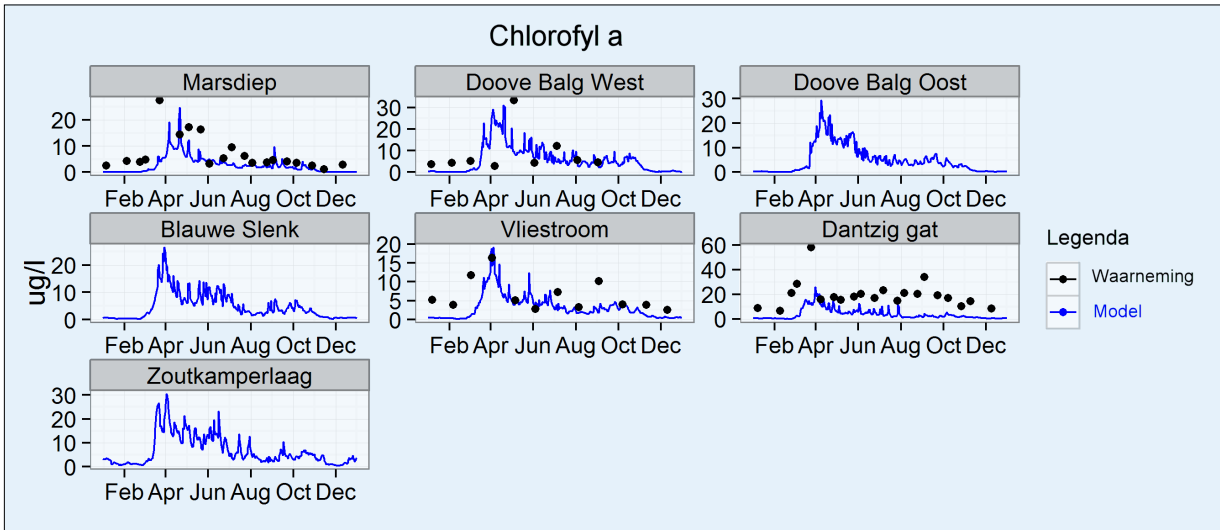
Dit model maakt onderscheid tussen algengroei in de waterkolom (“pelagische primaire productie”) en algen op de intergetijdenplaten (“benthische primaire productie”). In dit model wordt rekening gehouden met het feit dat algen worden weggegeten door dieren. In de Waddenzee is begrazing door schelpdieren relatief belangrijk. De snelheid waarmee dat gebeurt, verschilt per locatie. Voor de hoeveelheid schelpdieren per locatie is gebruikgemaakt van de verspreidingskaarten van schelpdieren, op basis van de jaarlijkse bestandsopnames van IMARES.

Eerst is de algengroei voor het modeljaar 2009 gemodelleerd. De resultaten van gemodelleerde en gemeten pelagische primaire productie voor verschillende locaties (uitgedrukt in chlorofyl-a) staan in figuur 14.

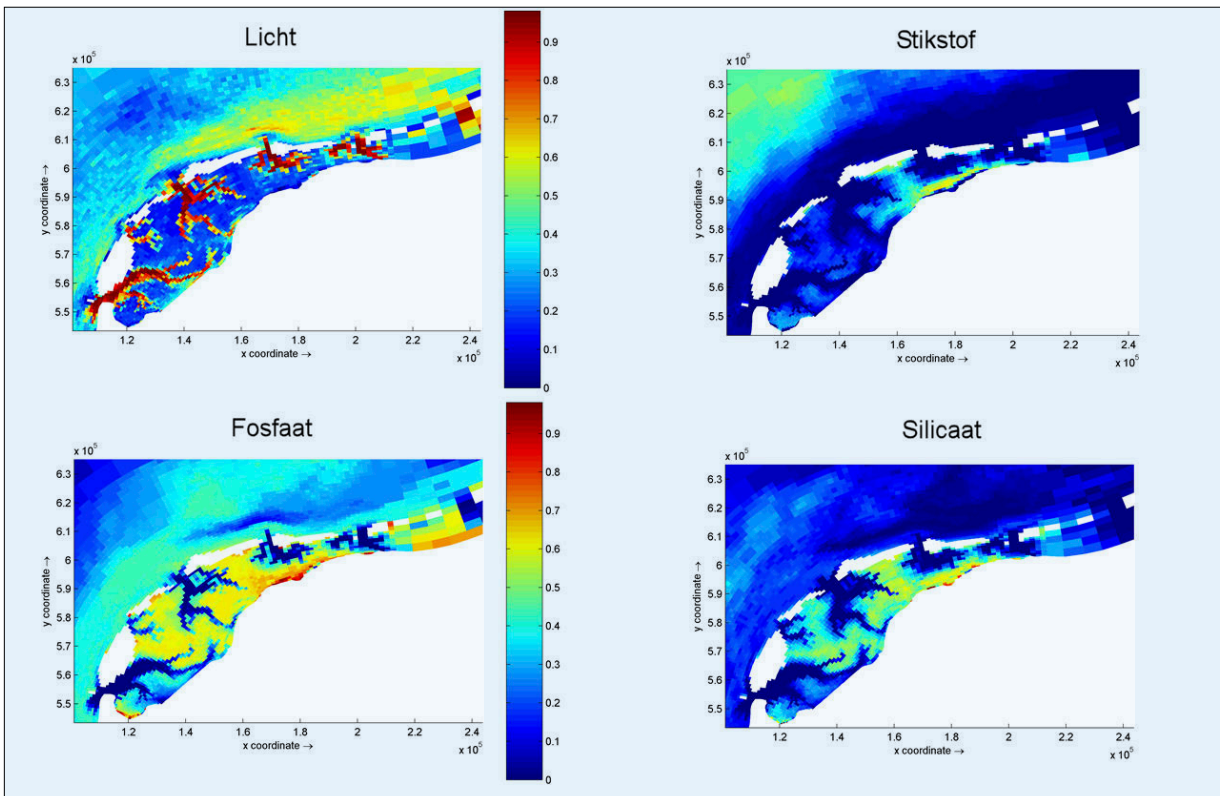
Er is over het algemeen in de verschillende deelgebieden een goede overeenkomst tussen de gemodelleerde en de gemeten chlorofylconcentraties, zowel in hoogte als in timing van de voorjaarspiek. In het Dantziggat is de voorspelling duidelijk lager dan de gemeten waarde. Dit gebied is 8 m diep en heeft een hoge lichtuitdoving. Dat betekent dat hier weinig productie kan plaatsvinden. De hoge chlorofyl a gehalten die zijn gemeten worden hier waarschijnlijk veroorzaakt door transport van materiaal van elders.

### Beperkende factoren voor algengroei

Uit de modelanalyses blijkt dat verschillende omgevingsfactoren op verschillende plaatsen beperkend kunnen zijn voor algengroei. Dit staat weergegeven in figuur 15.



Figuur 14: Chlorofyl a gemodelleerd (blauw) en gemeten (zwarte punten) op verschillende locaties in de Waddenzee.



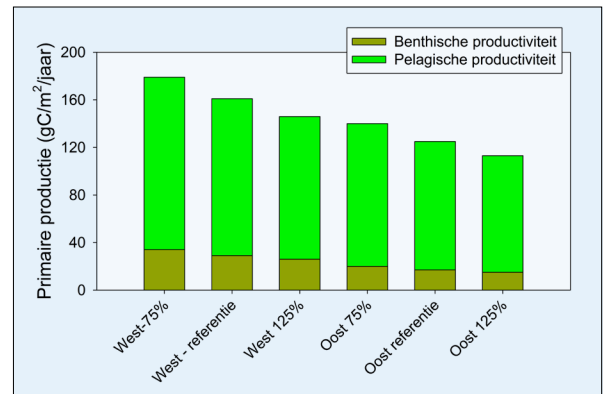
Figuur 15: Beperkende factoren voor algengroei in verschillende delen van de Waddenzee. Donkerblauw betekent dat de factor niet beperkend is voor algengroei, donkerrood betekent dat deze factor daar de groei volledig limiteert.



In de geulen is vanwege de diepte licht altijd de beperkende factor voor netto primaire productie. Daarbuiten is over het algemeen fosfaat beperkend voor algengroei. Slechts op een paar plaatsen wordt algengroei een deel van de tijd beperkt door stikstof of silicaat. De conclusie dat fosfaat het beperkende nutriënt is, wordt ook ondersteund door waarneming van het NIOZ in het kader van het Zee- en Kustonderzoek programma (ZKO). In de afgelopen decennia is de toevoer van fosfaat naar de Waddenzee zeer sterk verminderd. Ook de toevoer van stikstof is afgenomen, maar veel minder sterk. Dit betekent dus ook dat de KRW-doelstelling om stikstof te beperken in de Waddenzee geen onmiddellijk effect zal hebben op de primaire productie. Men moet echter voorzichtig zijn met daaruit concluderen dat de KRW-maatregelen zich beter kunnen richten op verdere vermindering van fosfaat. De meeste algen zijn ingesteld op een bepaalde verhouding tussen stikstof en fosfaat in de omgeving. De verhouding tussen nutriënten in de Waddenzee wijkt momenteel sterk af van wat algen in zee normaal ondervinden. Wat de gevolgen zijn van deze scheve verhouding is op dit moment nog niet bekend. Het feit dat niet stikstof maar fosfaat beperkend is, moet wel meegenomen worden in herziening van de KRW-doelstellingen.

#### Gevoeligheidsanalyse

Vervolgens is er met het model een aantal scenario-studies uitgevoerd om te zien hoe gevoelig algengroei is voor veranderingen in slibbelasting. Hiervoor is de slibconcentratie in het hele Waddengebied 25% verhoogd en 25% verlaagd (Figuur 16). Dit zijn veel extremere veranderingen dan volgens de studies met het slibmodel veroorzaakt kunnen worden door alle vormen van menselijke bodemberoering samen (dat was niet meer dan maximaal  $\pm 5\%$  op specifieke locaties). Het blijkt dat een verhoging of verlaging wel leidt tot een verlaging of verhoging van de algengroei, maar dit is niet proportioneel met de verandering van het slibgehalte.



Figuur 16: Resultaten van de gevoeligheidsanalyses waarbij de slib concentratie met 25% verhoogd of met 25% verlaagd werd.

Het model geeft aan dat een 25% verhoging van de slibconcentratie zou leiden tot een afname van ongeveer 9% in totale primaire productie. Een verlaging van 25% zou leiden tot een verhoging van de productie met 11% in het westelijke deel en 12% in het oostelijke deel van de Waddenzee. Een substantiële verlaging leidt daarnaast tot een iets eerdere voorjaarspiek. Het is wel goed hierbij aan te tekenen dat dit modelsysteem minder goed gevalideerd is voor benthische productiviteit.

De respons in primaire productie op veranderingen in slib is vooral merkbaar in de diepe delen van de Waddenzee, waar licht limiterend is. In de ondiepe, nutriënt-gelimiteerde delen heeft een verandering in slib weinig invloed op de primaire productie.

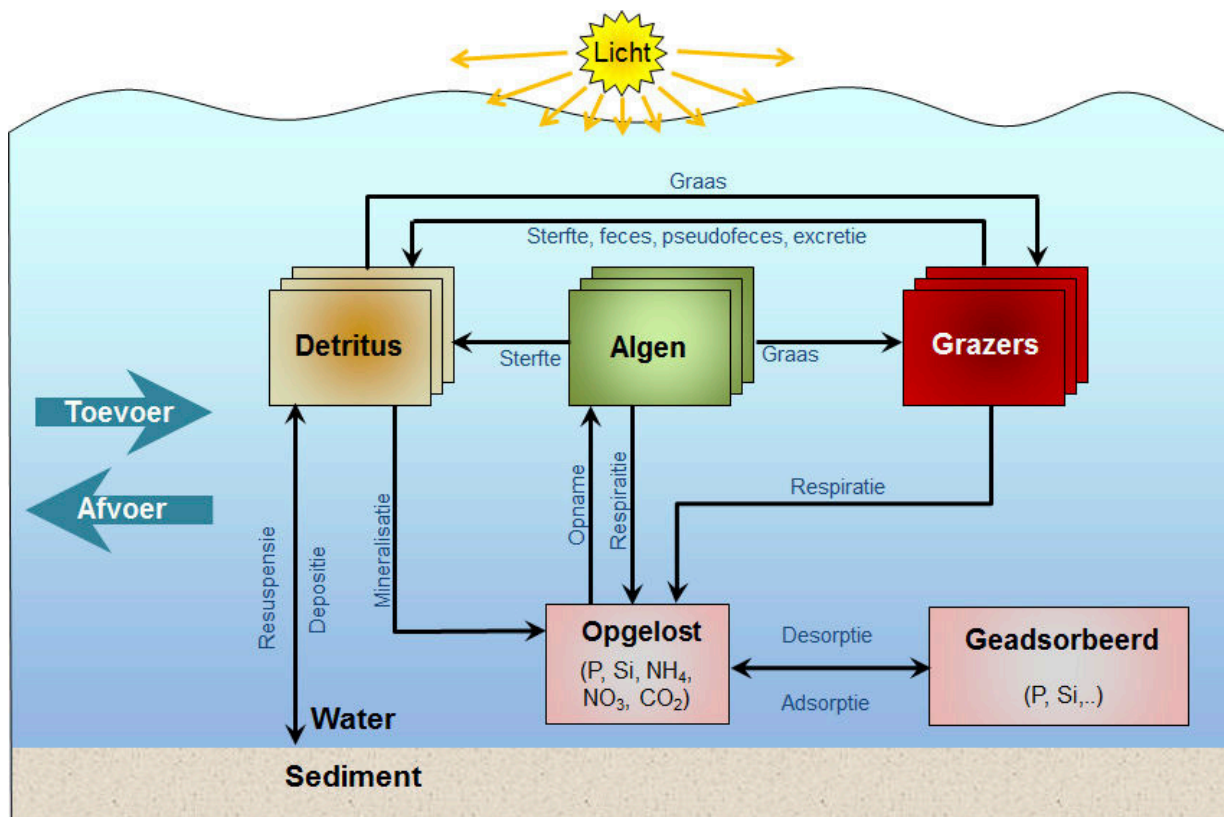
De hierboven beschreven modelsimulaties voor primaire productie zijn zeer extreem. De gesimuleerde veranderingen in slib zijn ongeveer een orde van grootte meer dan wat verwacht mag worden van daadwerkelijke menselijke bodemberoering. Omdat de effecten van menselijke bodemberoerende activiteiten op de troebelheid al klein zijn, zijn de effecten hiervan op de primaire productie en de algenconcentratie ook klein. Lokaal kan dit natuurlijk anders liggen. Zeker in gebieden waar bv. baggerslib gestort wordt en dit materiaal

zich via transport langs de bodem verspreidt, zal het effect lokaal wel substantieel kunnen zijn. Gezien het feit dat met maatregelen op beperking van bodemberoerende activiteiten slechts een marginaal effect zullen hebben op vertroebeling, zijn deze niet verder beschouwd.

#### 4.1.5 Langjarige modellering in relatie tot productiviteit van schelpdieren (EcoWasp)

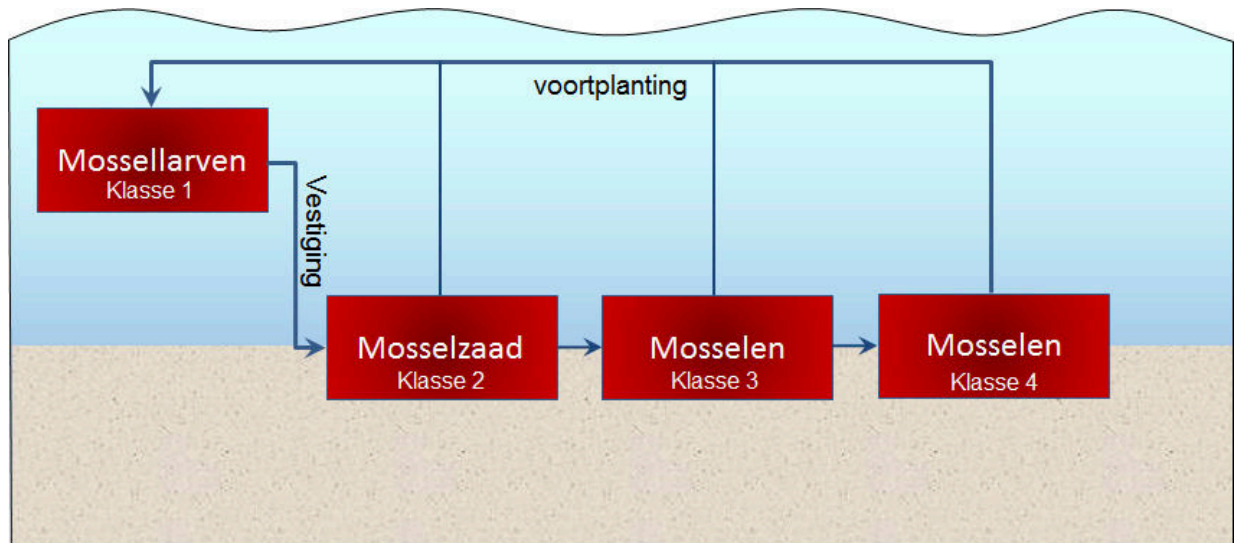
Met het EcoWasp model kunnen langjarige simulaties gedraaid worden en kan de respons van schelpdieren worden meegewogen. In het EcoWasp-model is een aantal dezelfde eco-systeemprocessen beschreven als in het GEM model: primaire productie door fytoplankton en fyto-benthos, begrazing van deze algen door dieren en remineralisatie van afgestorven

organisch materiaal (Figuur 17). Hiermee komen weer nutriënten vrij die door de algen gebruikt worden voor hernieuwde groei. Er vindt toevoer plaats van nutriënten en andere stoffen via instroming (advectie) of via uitwisseling (dispersie). Er is ook een sedimentcompartiment; materiaal kan bezinken of opwervelen waardoor er een opslag van vooral afgestorven organisch materiaal kan plaatsvinden (voorraadvorming). Door afbraakprocessen komen ook in de bodem nutriënten vrij, die deels aan bodemmateriaal kunnen adsorberen. In perioden dat er in de waterkolom een tekort is van deze nutriënten kunnen deze vanuit de bodem weer aangevuld worden. In de modeltoepassingen komen vier soorten algen voor (diatomeeën, picofytoplankton en niet-diatomeeën en benthische diatomeeën).



Figuur 17: Schematische weergave van het stoffentransport en de verschillende processen in het EcoWasp model





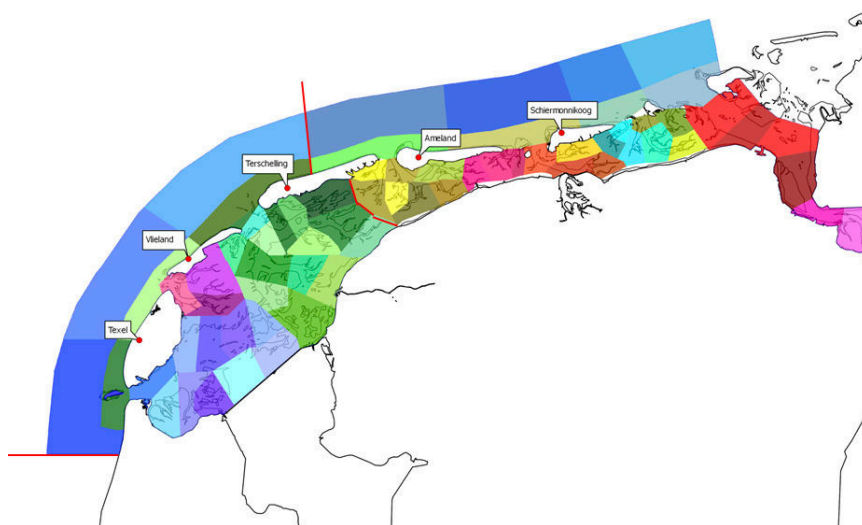
Figuur 18: Schematische weergave van de groei, voortplanting en sterfte van mosselen (die staan model voor schelpdieren in het EcoWasp model). Deze processen zijn afhankelijk van de hoeveelheid voedsel die beschikbaar is in het model. Alle levensstadia kunnen ook “sterven” in het model (zie Figuur 17).

In het model zitten tevens schelpdieren die de algen kunnen begrazen, kunnen groeien, reproduceren en sterven. Hiervoor wordt in het model grootte en aantal beschreven. Er is een aantal cohorten onderscheiden, van larven in de waterkolom (klasse 1) tot adulten (laatste klasse).

EcoWasp heeft een beperktere ruimtelijke resolutie dan DWAQ-GEM (Figuur 19).

#### Gebruikte gegevens

Voor het EcoWasp model zijn gegevens van verschillende bronnen voor meerdere jaren gebruikt. De gehalten in het IJsselmeer en de Noordzee zijn afkomstig van het monitoringsprogramma van Rijkswaterstaat (MWTL), evenals de data in de Waddenzee die als vergelijkingsmateriaal zijn gebruikt, en de



Figuur 19: Nieuwe schematisatie van EcoWasp, dat nu de gehele Waddenzee beslaat. Voor de berekeningen is (nu nog) alleen naar het westelijke deel (tussen de rode begrenzings) gekeken.



watertemperaturen voor de Waddenzee. Gegevens over de toevoer van water vanuit het IJsselmeer zijn eveneens van Rijkswaterstaat afkomstig ([www.waterbase.nl](http://www.waterbase.nl)). De meeste data voor de modelstudie waren beschikbaar voor de periode 1976-2011. Meteorologische data zijn beschikbaar tot “gisteren”.

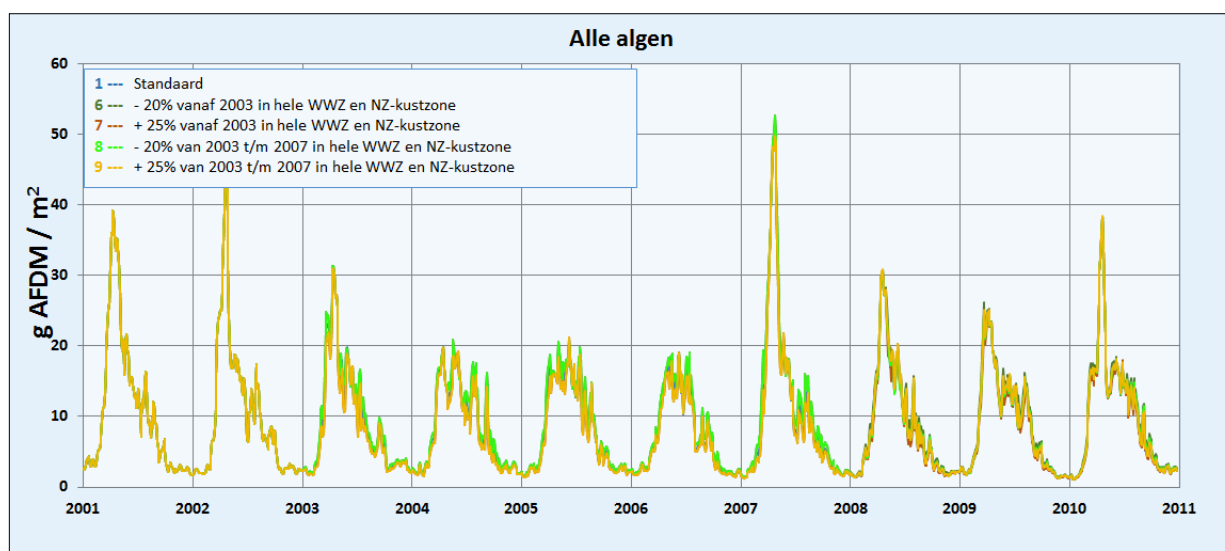
De slibconcentratie in de waterkolom van de Waddenzee en de bodem varieert zowel binnen seizoenen en ook over jaren. EcoWasp rekent over een lange periode, terwijl het slibmodel slechts binnen jaar gerekend heeft. Deze data konden dus niet rechtstreeks in EcoWasp worden ingevoerd. Binnen EcoWasp is op basis van de uitkomsten van het slibmodel, een extrapolatie gemaakt van de effecten op lichtuitdoving.

### Scenariostudies

Met EcoWasp zijn vergelijkbare scenariostudies uitgevoerd als met DWAQ-GEM, om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van het systeem (algen en schelpdieren) voor slibdynamiek. Een verschil met DWAQ is dat EcoWasp rekent over meerdere jaren. Naast het directe effect van verhoging

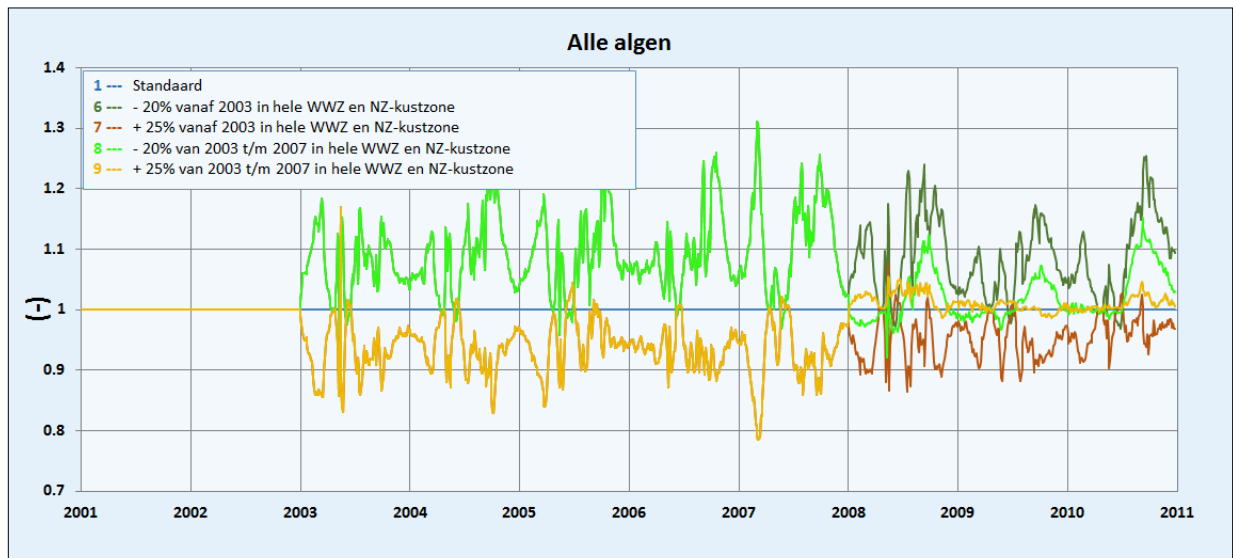
of verlaging van de slibconcentratie kan er dus ook een indruk verkregen worden hoelang het duurt voor het systeem zich heeft aangepast aan de nieuwe situatie. Er is een aantal types scenariostudies uitgevoerd: de eerste was om alle slib in de waterkolom met 25% te verhogen of met 20% te verlagen (dus 125% resp. 80% van de referentiewaarde). De verhoging of verlaging is uitgevoerd vanaf 2003. De periode vóór 2003 was voor alle modelruns gelijk. Een aanloopperiode is nodig om in het model na-ijl effecten van de opstart van het model te voorkomen. Er zijn zowel model runs voor de hele Waddenzee als voor alleen compartimenten 95 en 96, het gebied rond Harlingen. Daarnaast zijn ook nog een analoge set model runs gedaan waarbij in 2003 de slibconcentratie in het water verhoogd of verlaagd werd (met 25 resp. 20%) en vervolgens eind 2007 weer teruggezet werd naar de referentiesituatie. Dit geeft een indruk van de “hersteltijd” van het systeem.

In absolute zin zijn de veranderingen in algenbiomassa voor alle scenario's bijzonder klein (Figuur 20).



Figuur 20: algenbiomassa over de tijd in verschillende scenario's



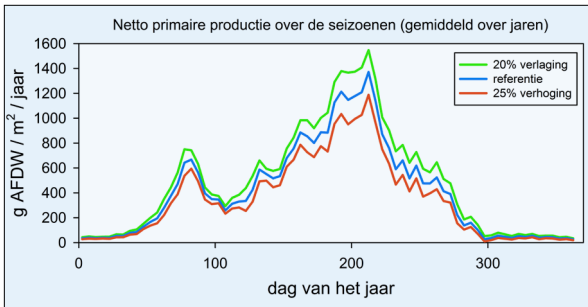


Figuur 21: Relatieve verandering t.o.v. de referentie situatie in 4 scenarioeruns (alleen de resultaten van de runs in alle compartimenten weergegeven).

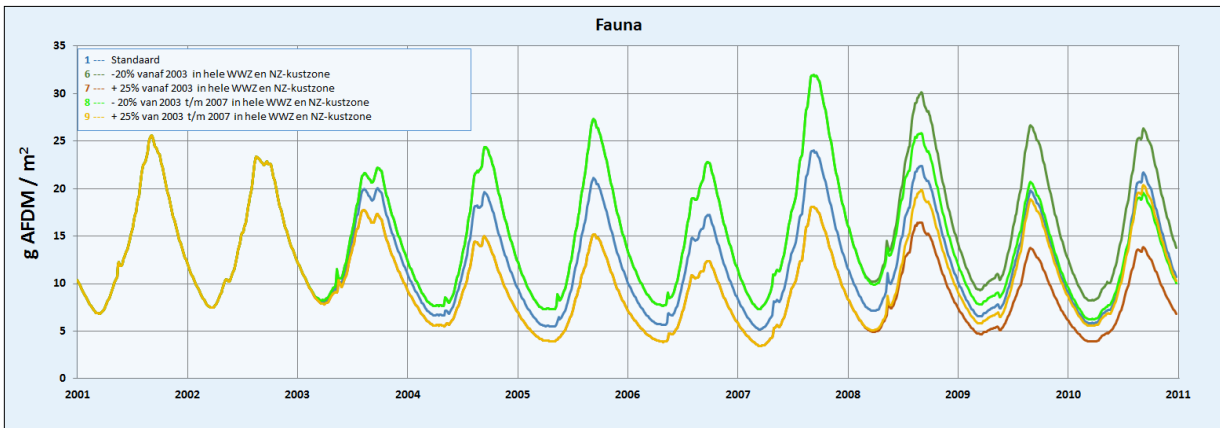
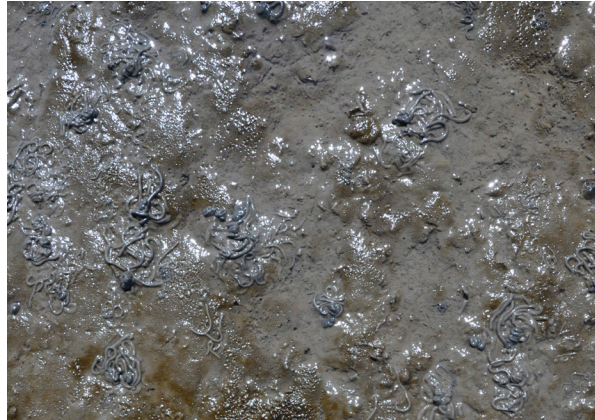
Relatief, uitgedrukt t.o.v. de referentierun, zijn de verschillen beter zichtbaar (Figuur 21). De grootste relatieve veranderingen in de primaire productie kunnen wel 50% bedragen, maar die worden vrijwel geheel veroorzaakt doordat in het model de veranderde slibconcentratie ook een kleine verschuiving in de tijd van algenbloeien veroorzaken. Het algengehalte kan vaak in korte tijd sterk veranderen (vooral tijdens de voorjaarsbloei), en een kleine verschuiving van een piek naar voor of naar achter van een paar dagen kan een soms zeer forse procentuele verandering te zien geven in die periode, zelfs al is de bloeipiek zelf vrijwel even groot. Gemiddeld over een jaar geeft een 20% verlaging van de slibconcentratie volgens het EcoWasp-model maximaal 8% verhoging van de algenbiomassa.

De algenbiomassa in het systeem reageert snel op veranderingen. Nadat de verhoging of verlaging van de slibconcentratie is teruggedraaid naar de referentiesituatie (in scenario's 8 en 9 vanaf 2008) is de situatie binnen enkele maanden vergelijkbaar met de referentiesituatie (Figuur 21).

Uiteindelijk is de biomassa aan algen in het systeem een resultante van aan één kant de primaire productie en aan de andere kant de sterfte. Een groot deel van die sterfte in het systeem wordt veroorzaakt door begrazing door schelpdieren. Het beeld van de algenbiomassa geeft dus niet een volledig beeld van het effect van veranderingen in de slibhuishouding op algengroei. Figuur 22 laat de effecten van slibveranderingen op de netto primaire productie zien. Gemiddeld geeft een 25% verhoging van de slibconcentratie in de waterkolom een verandering van orde grootte 15% op de bruto primaire productie. Dit is iets hoger dan de fijschaliger studie van het DWAQ-GEM model gaf, maar de verschillen zijn niet groot (zie §4.1.2). Een belangrijk verschil tussen de scenariostudies met DWAQ-GEM en EcoWasp is dat in DWAQ-GEM de slibconcentraties zijn verhoogd of verlaagd binnen de Waddenzee, maar niet in de Noordzeekustzone. In EcoWasp is dit in het hele domein gebeurd. Juist in de diepere Noordzeekustzone heeft vertroebeling meer effect dan in de ondiepe Waddenzee.



Figuur 22: Gemiddelde netto primaire productie over een jaar (alleen de referentie en de twee scenario's met een verhoging of verlagning over alle compartimenten en over de volledige periode 2003-2010 zijn getoond).



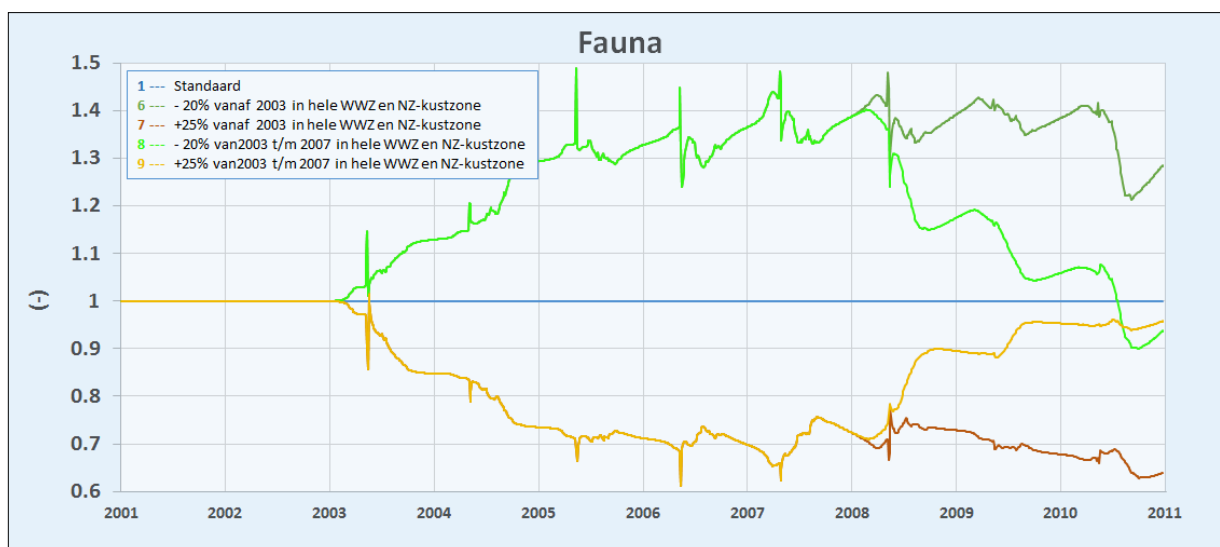
Figuur 23: Gemodelleerde biomassa aan schelpdieren in de Waddenzee.

Deze verandering in primaire productie vertaalt zich in EcoWasp door in een wat meer geprononceerde verandering in schelpdierbiomassa (Figuur 23): de jaargemiddelde veranderingen bedragen volgens de modelberekeningen tot +40 en -30%. Dit is niet in overeenstemming met observaties uit de literatuur, waar in vergelijkingen tussen verschillende estuaria een evenredig verband werd gevonden tussen primaire productie en secundaire biomassa (Herman et al. 1999). Deels is dit te verklaren door het feit dat in deze scenario's ook in de Noordzee de slibconcentraties zijn aangepast (i.p.v. alleen binnen de Waddenzee). Een belangrijk deel van de schelpdierpopulatie in de Waddenzee maakt deels gebruik van primaire productie op de Noordzee. Als in dit deel de slibconcentraties niet

waren aangepast, was het effect op de schelpdieren veel minder uitgesproken geweest. Uit een aantal testen met het model is duidelijk geworden dat deze versie van EcoWasp nog het één en ander aan afregeling nodig heeft op cruciale parameters. Het procentuele effect op schelpdieren is waarschijnlijk overschat en zal waarschijnlijk meer in de buurt liggen van een proportioneel effect met primaire productie.

Wat wel een betrouwbaar resultaat is, is de timing van de respons en de hersteltijd. De schelpdieren reageren, in tegenstelling tot de algen, met enige vertraging op veranderingen van slibconcentratie. Dit is te zien in Figuur 24, waar de lichtgroene en de oranje lijn pas na ongeveer drie jaar niet





Figuur 24: Relatieve veranderingen in de schelpdierbiomassa in de verschillende scenario's

meer veranderen. En na terugkeer naar de oorspronkelijke situatie duurt het ook ongeveer drie jaar voordat het systeem weer op de 'oude' toestand teruggekeerd is.

#### 4.1.6 Conclusies m.b.t. primaire productie

Eutrofiëring kan in veel systemen voor problemen zorgen in de vorm van extreme algenbloeien en grootschalig voorkomen van plaagalgen. Dit is de reden dat binnen de KRW de nadruk ligt op het minimaliseren van algenbloeien en reductie van algenconcentraties.

Voor een gezond ecosysteem is echter een redelijke primaire **productie** een absolute voorwaarde voor de draagkracht en het in stand houden van het voedselweb. Voor een hoge dichtheid aan bodemdieren (mosselbanken, kokkels, wormen) is een relatief hoge primaire productie noodzakelijk, terwijl de hoeveelheid **biomassa** aan algen (zowel bentische als pelagische algen) bij een hoge graasdruk juist laag zal zijn. Het uitgevoerde modelonderzoek bevestigt de observatie van andere onderzoekers dat in de Waddenzee fosfaat het belangrijkste nutriënt is (Philippart et al.

2007, Ly et al. 2014). Beide computermodellen, die in dit onderzoek zijn gebruikt, leiden tot zeer vergelijkbare conclusies, ondanks de verschillen in modelaanpak en ondanks het feit dat beide modellen afhankelijk zijn van aannames. Dit geeft vertrouwen in de robuustheid van deze conclusie. In de geulen is naast de fosfaatbeperking ook lichtbeperking en daarmee de slibbelasting relevant. Echter is uit de modelstudie gebleken dat een relatief forse verandering in de slibconcentratie een relatief beperkt effect heeft op de algengroei in de gehele Waddenzee. Deze overwegingen en de resultaten van deze modelstudie in aanmerking nemend, moeten we concluderen dat het behalen van de KRW-doelstellingen voor algengroei door sturing op slib via maatregelen op menselijke bodemberoering niet de goede weg is. Voor het halen van de KRW-doelstelling zou je de hoeveelheid algen willen verminderen. Dat kan via een (ongewenste) toename van de vertroebeling, maar ook via vermindering van nutriëntenbelasting. Het meest directe effect valt te verwachten van een verdere vermindering van de fosfaatbelasting, maar dit heeft juist weer tot gevolg dat de verhouding tussen stikstof en fosfaat



nog verder verwijderd raakt van de verhouding die algemeen gezien wordt als typisch voor gezonde, onaangetaste systemen. De ideale stikstof : fosfaat verhouding (Redfield-ratio) ligt rond de 16:1 (Troost et al. 2014). Tegenwoordig ligt die verhouding vaak boven de 100:1 (Philippart et al. 2007). De gevolgen van de nu reeds zeer scheve nutriëntenverhouding in de Waddenzee, zijn nog niet goed in te schatten. Het staat wel vast (en het is ook logisch) dat dit de soortensamenstelling van algen beïnvloedt (Philippart et al. 2007).

Daarnaast is zeer van belang dat bij aanvang van dit project in 2012 de doelstellingen voor algengroei niet werden gehaald. De biomassa aan algen en het aantal bloeien van de schuimalg *Phaeocystis* waren te hoog. Bij de laatste evaluatie in 2015 werden in de Waddenzee de doelstellingen voor fytoplankton wel gehaald. Daarmee is dus ook de noodzaak van het nemen van maatregelen om de doelstellingen te halen weggevallen. Wel blijft het zaak om de ontwikkelingen in het Waddengebied goed in de gaten te houden. De bredere doelstelling van de KRW is een gezond ecosysteem. Een reductie van het aantal algenbloeien en het voorkomen van plaagalgen is positief, maar een afname van de draagkracht van het systeem voor bodemdieren, vissen, vogels en zeezoogdieren is uiteraard niet gewenst. Een toename is dat wel. Vooral de gevolgen van de afname van fosfaat en de veranderende N:P-verhouding zijn nog grotendeels onbekend en moeten goed geëvalueerd worden.

## 4.2 Zeegras

In de Waddenzee komen van oudsher twee soorten zeegras voor: Klein Zeegras (*Zostera noltii*) en Groot Zeegras (*Zostera marina*). Groot Zeegras komt in twee verschijningsvormen voor in de Waddenzee: een meerjarige variant met brede, relatief stijve bladeren, die in permanent overstroomd gebied voorkomt en zich voornamelijk

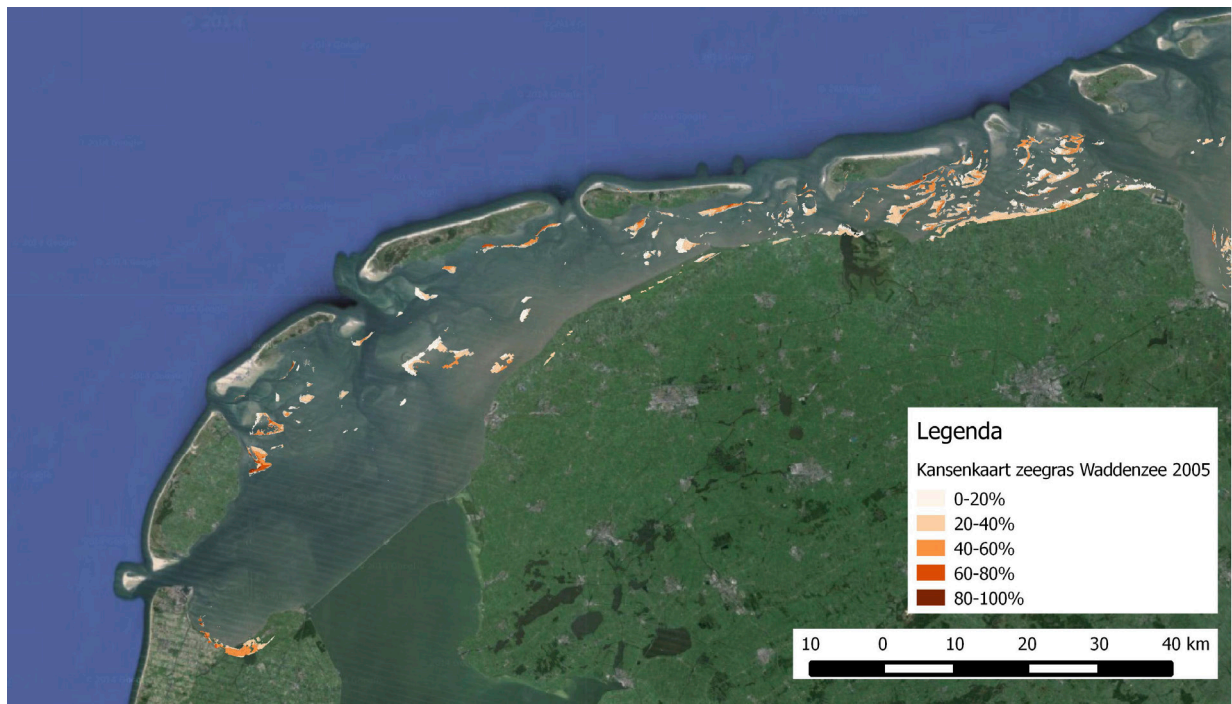
voortplant via wortelstokken en een flexibeler, éénjarige variant in het intergetijdengebied die jaarlijks opnieuw uit zaad opgroeit. Klein Zeegras komt uitsluitend in het intergetijdengebied voor.

### 4.2.7 Herstelopgave

Voor 1930 kwamen er in de Westelijke Waddenzee zeer grote populaties van de meerjarige, ondergedoken variant voor. Die populaties zijn vrijwel verdwenen en ook de éénjarige variant uit het intergetijdengebied is zeer sterk achteruitgegaan. Vandaar dat deze soort aangemerkt staat als zijnde in slechte staat van instandhouding voor Natura2000 en dat de toestand voor zeegrassen volgens de KRW als 'ontoereikend' wordt beoordeeld. Groot Zeegras staat in Nederland ook op de rode lijst. Voor Zeegras geldt een verbeteropgave onder de KRW. Voor de KRW geldt als ondergrens voor een goede ecologische toestand van de Waddenzee (exclusief het Eems-Dollard gebied) een bedekking van 4% van het areaal (STOWA 2012-31).

De éénjarige variant heeft zich in Duitsland de laatste decennia sterk hersteld. In Nederland is dat herstel achtergebleven, hoewel volgens habitatmodellen uit 2005 er in principe ongeveer 1750 ha gebied te vinden is dat geschikt is voor intertidaal zeegras (Figuur 25). Een meer recente modelstudie op basis van iets andere methodologie en iets andere parameters kwam uit op een zeer vergelijkbare verdeling van potentieel gunstig habitat in de Waddenzee (Folmer, 2015). De resultaten van beide modellen en het zeegrasherstelproject lijken in elk geval de hypothese te bevestigen dat er in de Nederlandse Waddenzee een aanzienlijk areaal gunstig habitat aanwezig is (Van Duren en Van Katwijk, 2015). Van de meerjarige variant is vastgesteld dat sinds de jaren '30 de situatie in de Waddenzee zodanig is veranderd dat het zeer onwaarschijnlijk is dat deze variant weer terug gaat komen. Voor zover bekend is deze variant ook in Duitsland niet aanwezig.





Figuur 25: Zeegraskansenkaart op basis van de data van RWS (De Jong et al. 2005). De habitatgeschiktheidskaart van Folmer (2015) komt op een vrij vergelijkbare verdeling uit.

#### 4.2.8 Zeegras en slib

Slib vermindert de lichtbeschikbaarheid in de waterkolom. Voor de flexibele, intertidale populatie van Groot Zeegras is dit een minder groot probleem. Een fors deel van de tijd staan deze planten droog, of in een heel dun laagje water waarin de effecten van slib op lichtbeschikbaarheid zeer klein zijn. Voor de robuuste, ondergedoken variant is de slibconcentratie in het water vrijwel zeker beperkend.

Zeegras, zeker het intertidale zeegras lijkt niet erg gevoelig voor het slibgehalte van de bodem. Dit blijkt uit verschillende literatuurstudies. Rond het eiland Sylt in Duitsland, waar voor het KRW project “Herstel Groot zeegras Waddenzee” zaadstengels worden verzameld, liggen meerdere zeegrasvelden. Sommige zijn zeer slikkig, zoals Tonnenlegerbucht in het noorden van het eiland. Andere locaties zijn zeer zandig, zoals Rantum, waar in 2011 en 2012 zaad is verzameld (Figuur 26). In Nederland

zijn de meeste plaatsen die worden aangemerkt als “geschikt” voor groot zeegras behoorlijk slikkig. Dit heeft vrijwel zeker meer te maken met het feit dat zeegras een zekere beschutting voor golfenergie nodig heeft, dan dat slib zelf de habitatgeschiktheid bepaalt. Op die beschutte locaties blijft ook meer slib liggen.

#### 4.2.9 Conclusies m.b.t. Groot zeegras

De effecten op de gemiddelde concentraties slib in het water die volgens de modelvoorspellingen te verwachten zijn van activiteiten zoals baggeren / verspreiden van slib en van garnalenvisserij zijn vrijwel zeker niet van een zodanige invloed dat dit de habitatgeschiktheid van het intertidale zeegras negatief beïnvloedt. Maatregelen nemen op deze activiteiten om hierdoor de turbiditeit te beïnvloeden, zal dan ook weinig effect hebben op de kans van vestiging van zeegras.



Uit het onderzoek naar zeegrasherstel lijkt tot nu toe de hypothese stand te houden dat er in principe in de Waddenzee 'geschikt' habitat beschikbaar is, maar dat vestiging mogelijk wordt beperkt door een tekort aan zaadaanvoer, versterkt door de aanwezigheid van ziekteverwekkers in het systeem. In enkele gebieden die door modellen en veldkennis van experts worden aangeduid als "geschikt" blijkt zeegraszaad inderdaad te ontkiemen en planten te produceren. Na 2013, een jaar met slechte zaadontwikkeling (waarschijnlijk door toevallige weersomstandigheden) nam de populatie zeer sterk af. Maatregelen gericht op het opheffen van de beperkte zaadtoevoer zullen dan ook waarschijnlijk meer effect hebben dan maatregelen op de turbiditeit. Wel moet in gebieden waar zeegrasherstel plaatsvindt (hetzij gestuurd door herstelprojecten, hetzij spontaan, door natuurlijke processen), de bodem beschermd worden tegen verstoring. Activiteiten zoals pierensteken hebben ongetwijfeld een negatief effect op de vestiging van zeegras; niet via effecten van slibdynamiek, maar wel door de directe bodemverstoring.

Er moet worden opgemerkt dat deze conclusies gelden voor de intertidale variant van Groot

zeegras. Turbiditeit speelt naast golfenergie vrijwel zeker wel een grote rol voor het niet terugkeren van ondergedoken zeegras. De grote velden zeegras die voor 1930 in de Waddenzee aanwezig waren hadden zelf een mitigerend effect op de opwerveling van slib op de bodem. Het feit dat dit terugkoppelingseffect nu niet meer aanwezig is, houdt in dat de helderheid van de westelijke Waddenzee sterk zal moeten toenemen voordat deze variant kan terugkeren (van der Heide et al. 2006). De effecten van baggeren / storten en van garnalenvisserij hebben in de gebieden waar zeegras zich vroeger bevond hoogstens een effect van enkele procenten op de slibconcentraties in de waterkolom. Wel moet aangetekend worden dat het directe fysische effect van bodemberoering door garnalenvisserij (het 'vegen' over de bodem met de netten) of baggeren wel een belangrijk effect kan zijn die terugkeer van deze soort tegenhoudt (Eriksson et al. 2010). Als in de toekomst ook herstelprojecten gericht op deze ondergedoken variant gaan worden ondernomen, dan zal er wel degelijk voor gezorgd moeten worden dat er in de directe omgeving van die locaties geen garnalenvisserij of andere bodemberoerende activiteiten zoals baggeren en verspreiden van baggerslib plaatsvinden.





## 4.3 Bodemdieren

### 4.3.10 Doelstellingen binnen de KRW

Binnen de KRW wordt voor bodemdieren (macrofauna) niet naar individuele soorten gekeken, maar naar kenmerken zoals soortenrijkdom en biodiversiteit. Daarbij wordt de ecologische kwaliteit uitgedrukt in een ecologisch kwaliteitsratio (EKR) op een schaal van 0 tot 1. Deze index is recent herzien. Volgens deze berekening (Van Loon et al. 2011) heeft de Waddenzee een goede benthische kwaliteitsstatus (EKR in 2010 was 0.64) en geen significante trend over de jaren. Op basis van een literatuurstudie is een verkenning gedaan van de bestaande kennis met betrekking tot

effecten van veranderingen in slibhuishouding op bodemdieren. Vervolgens is op basis van de resultaten van de scenariostudies met het slibmodel in een expert workshop een analyse gemaakt van de waarschijnlijke effecten van veranderingen in de slibhuishouding als gevolg van garnalenvissen en baggeren / verspreiden op de bodemdiergemeenschap.

### 4.3.11 De relatie tussen bodemdieren en slib

De samenstelling van de bodem beïnvloedt het voorkomen van bodemdieren direct omdat het de omgeving bepaalt waarin of waarop deze soorten leven. Voor gravende soorten is het bijvoorbeeld van groot belang dat ze daadwerkelijk gangen kunnen graven in het sediment. Voor soorten die



Figuur 26: Foto's van Groot Zeegras op Sylt bij Tonnenlegerbucht (links, zeer slikkig) en een gemengd veld van klein en Groot zeegras bij Rantum (rechts, zandig).



zich hechten aan de bodem is het belangrijk dat het sediment stabiel genoeg is om op te leven. Daarnaast kan slib in de waterkolom interfereren met het filtratieapparaat van veel bodemdieren. Te veel slib in het water in combinatie met relatief weinig eetbare deeltjes is ongunstig. Het kost de dieren dan teveel energie om eetbare van niet-eetbare deeltjes te scheiden. Ook kunnen hun filterapparaten verstopt raken. Daarnaast zijn er indirecte effecten. Als troebel water zorgt voor een lage algenproductie kan voedselbeperking ook een negatief effect op de hoeveelheid bodemdieren hebben.

Bodemdieren hebben te maken met een reeks aan omgevingsfactoren die bepalen of een dier op een bepaalde plek kan leven of niet. In estuariene systemen spelen het getij, sedimentsamenstelling of slibgehalte, zoutgehalte, temperatuur, waterbeweging en biotische factoren een grote rol. Hoewel sedimentsamenstelling in de zeebodem en slibgehalte in het water ontegenzeggelijk invloed hebben op de leefmogelijkheden van bodemdieren, is het erg moeilijk om daadwerkelijk oorzakelijke verbanden aan te tonen tussen sedimentsamenstelling en slibgehalte en het voorkomen van bepaalde bodemdieren.

#### 4.3.12 Conclusies t.a.v. bodemdieren

Op de schaal van de Waddenzee zullen de effecten op vertroebeling via menselijke bodemberoering

(baggeren en garnalenvisserij) niet leiden tot grote veranderingen in samenstelling van de bodemdiergemeenschappen. Het benthos van de Waddenzee is van nature aangepast aan een systeem met relatief grote variatie in slibconcentraties. Op kleinere ruimtelijke schaal zullen er wel effecten optreden. Bijvoorbeeld rond de vaargeul naar Ameland zijn er in het veld duidelijk effecten te zien die waarschijnlijk te maken hebben met het storten van baggerspecie. Hier vind je “wandelede slibvelden” op een schaal van  $\pm 50$  m. Deze slibvelden van ‘fluid mud’, met een consistentie van dikke yoghurt, hebben zeker een groot lokaal effect. Ruimtelijk zijn deze effecten te klein om opgepikt te worden op de schaal van het slibmodel en ook op de schaal waarop de KRW-doelstellingen en maatlaten zijn geformuleerd zullen ze niet meetbaar doorwerken.

Ook voor garnalenvisserij geldt dat de te verwachten effecten *via slib* geen aanleiding zullen zijn voor grote veranderingen in het benthos. Echter het effect van het meerdere keren per jaar “aanvegen” van de bodem met garnalentuigen heeft dit vrijwel zeker wel. Er is vrijwel geen (sublitoraal) gebied in de Waddenzee dat niet enkele keren per jaar wordt aangeveegd. Dit betekent dat soorten zoals *Sertularia* (poliep) geen kans krijgen zich daar te vestigen. Dit kan worden onderzocht door delen van de Waddenzee niet meer te bevissen en de ontwikkeling van de bodemfauna gedurende een aantal jaren te monitoren.



# 05. Conclusies

*Menselijke activiteiten en ingrepen hebben op heel veel aspecten van de Waddenzee een effect. Lokaal kunnen effecten van bodemberoering op de slibconcentraties wel waarneembaar zijn, maar op het niveau van de Waddenzee als geheel zijn deze effecten vrij klein in vergelijking met de natuurlijke slibdynamiek.*

Lokaal kunnen de effecten van menselijke bodemberoering op troebelheid en op de bodemsamenstelling zeer groot zijn. Echter op de slibdynamiek in de Waddenzee op het niveau van een komberging is de toe- of afname van de slibconcentratie in de waterkolom in de orde van grootte van enkele procenten (<2%).

Twee verschillende primaire productiemodellen wijzen uit dat de primaire productie in de Waddenzee voor een belangrijk deel gelimiteerd wordt door fosfaat. Lichtbeschikbaarheid speelt wel een rol, maar het effect is minder dan proportioneel. Aangezien volgens de schattingen met het slibmodel de effecten van menselijke bodemberoering op troebelheid zeer klein zijn, mag verwacht worden dat het uiteindelijke effect van deze activiteiten op de productiviteit van het systeem als geheel nog kleiner zijn. Lokaal kan dit natuurlijk anders liggen. In 2009 waren volgens de KRW systematiek de concentraties chlorofyl en het aantal bloeien van plaagalgen nog te hoog. Om dit **via een maatregel op slibbelasting** te 'verbeteren' zou je dus eigenlijk de Waddenzee troebeler moeten maken. Het is duidelijk dat dit vanuit veel opzichten niet wenselijk is. Een verlaging van de productiviteit van het systeem zal een negatief effect hebben op de andere componenten van het voedselweb, zoals de bodemdieren, het zoöplankton en daarmee op vogels en vissen.

Anno 2015 worden de KRW-doelstellingen voor fytoplankton wel gehaald, vrijwel zeker door de afname van fosfaat in het kustwater in de afgelopen decennia. Daarmee zijn maatregelen op reductie van algenbloeien in dit gebied momenteel niet meer opportuun. Wel is het zaak de ontwikkelingen m.b.t. nutriënten, primaire productie goed in de gaten te houden vanwege de gewenste draagkracht van het gebied voor het voedselweb.

Ook voor zeegras en bodemdieren lijken de effecten op deze maatlaten **via vertroebeling** vrij beperkt. Lokaal zijn er in de buurt van stortlocaties wel duidelijke effecten in het veld waar te nemen. Er zijn locaties bekend waar grote hoeveelheden fijn sediment zich hebben opgehoopt. Dit heeft zichtbare gevolgen voor de biota in de omgeving. Op systeemniveau zijn dit echter relatief kleine oppervlakten. Wat echter ook in aanmerking genomen moet worden, is het feit dat het grote oppervlak dat meermalen per jaar direct beroerd wordt, vooral door de garnalenvisserij wel degelijk een negatief effect kunnen hebben. Niet zozeer via het slib in de waterkolom, maar vanwege de directe verstoring van biota. Dit effect is verder niet uitgewerkt binnen deze studie, maar is zeer waarschijnlijk veel groter dan de effecten via vertroebeling. In deze studie is het effect van bodemberoering op biota door de garnalenvisserij niet volledig gekwantificeerd. Ook het erosie-verminderend effect van biota zoals zeegras, *Lanice*, *Sertularia* en andere structuurvormende bodemdieren is niet meegenomen.

# 06. Referenties

## 6.1 Rapporten gepubliceerd binnen dit project

- De Kluijver, A., A. G. Brinkman, L. A. Van Duren, and F. Fey. 2015. Effecten van slib op de ecologische doelstellingen van de KRW. 1220102-000-0009, Deltares, Delft.
- Kuijper, C. and A. G. Brinkman. 2015. Antropogene bodemberoering; . 1220102-000-ZKS-0002, Deltares, Delft.
- Van Kessel, T. 2015. Opzet en toepassing slibmodel Waddenzee. Eindrapportage. 1220102-000-0010 Deltares, Delft.

## 6.2 Andere literatuur

- De Jong, D. J., M. M. van Katwijk, and A. G. Brinkman. 2005. Kanskaart Zeegras Waddenzee: Potentiële groeimogelijkheden voor zeegras in de Waddenzee. RIKZ.
- Folmer, E. O. 2015. Vestigingsmogelijkheden voor litoraal zeegras in de Waddenzee. Programma naar een Rijke Waddenzee.
- Herman, P. M. J., J. J. Middelburg, J. van de Koppel, and C. H. R. Heip. 1999. Ecology of Estuarine Macrobenthos. Pages 195-240 *Advances in Ecological Research*.
- Jonker, S., Koolstra, B., 2011. Nadere effectenanalyse natura 2000-gebieden Waddenzee en Noordzeekustzone. ARCADIS rapport nr: 075238575:D.
- Ly, J., C. J. M. Philippart, and J. C. Kromkamp. 2014. Phosphorus limitation during a phytoplankton spring bloom in the western Dutch Wadden Sea. *Journal of Sea Research* 88:109-120.
- Philippart, C. J. M., J. J. Beukema, G. C. Cadée, R. Dekker, P. W. Goedhart, J. M. Van Iperen, M. F. Leopold, and P. M. J. Herman. 2007. Impacts of nutrient reduction on coastal communities. *Ecosystems* 10:95-118.
- Rijkswaterstaat. 2014. Factsheet NL81\_1 Waddenzee. Rijkswaterstaat.
- STOWA. 2007. Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water. STOWA 2007-32, STOWA, Utrecht.
- Troost, T. A., A. De Kluijver, and F. J. Los. 2014. Evaluation of eutrophication variables and thresholds in the Dutch North Sea in a historical context - A model analysis. *Journal of Marine Systems* 134:45-56.
- van der Heide, T., M. M. van Katwijk, and G. W. Geerlings. 2006. Een verkenning van de groeimogelijkheden van ondergedoken Groot zeegras (*Zostera marina*) in de Nederlandse Waddenzee. Radbouduniversiteit Nijmegen, Nijmegen.
- Van Duren, L. A. en M. M. van Katwijk. 2015. Herstelmaatregel Grootzeegras in de Nederlandse Waddenzee. Haalbaarheid van de doelstellingen onder de Kaderrichtlijn Water. 1203892-000-ZKS-0045, Deltares, Delft.
- Van Loon, W. M. G. M., A. J. Verschoor, and A. Gittenberger. 2011. Benthic EcosystemQuality Index 2: Design and Calibration of the BEQI-2 WFD metric for Marine Benthos in Transitional Waters. RWS Waterdienst, Lelystad.



