

BO Zuidwestelijke Delta: Nutriëntendynamiek en verandering van draagkracht

Tim Schellekens & Aad Smaal

Rapport C070/12



IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgever:

Ministerie EL&I, Directie RRE
Postbus 6111
5600 HC Eindhoven

BO-11-015-004

Publicatiedatum:

Juni 2012

IMARES is:

- een onafhankelijk, objectief en gezaghebbend instituut dat kennis levert die noodzakelijk is voor integrale duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van de zee en kustzones;
- een instituut dat de benodigde kennis levert voor een geïntegreerde duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van zee en kustzones;
- een belangrijke, proactieve speler in nationale en internationale mariene onderzoeksnetwerken (zoals ICES en EFARO).

P.O. Box 68
1970 AB IJmuiden
Phone: +31 (0)317 48 09 00
Fax: +31 (0)317 48 73 26
E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

P.O. Box 77
4400 AB Yerseke
Phone: +31 (0)317 48 09 00
Fax: +31 (0)317 48 73 59
E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

P.O. Box 57
1780 AB Den Helder
Phone: +31 (0)317 48 09 00
Fax: +31 (0)223 63 06 87
E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

P.O. Box 167
1790 AD Den Burg Texel
Phone: +31 (0)317 48 09 00
Fax: +31 (0)317 48 73 62
E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

© 2011 IMARES Wageningen UR

IMARES is onderdeel van Stichting DLO
KvK nr. 09098104,
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16

De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

A_4_3_1-V12.2

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	3
Samenvatting.....	4
1 Inleiding.....	5
1.1 Ecologie.....	5
1.2 Ecologische veerkracht ten bate van Veiligheid, Zoetwatervoorziening en Economie.....	5
1.3 Effecten van veranderende nutriëntendynamiek op productiviteit	6
1.4 Kennisvraag	6
2 Methoden	7
2.1 Conceptueel model.....	9
3 Bekkens van de zuidwestelijke Delta.....	12
3.1 Veerse Meer als historisch model voor de Grevelingen en het VZM.....	12
3.2 Grevelingenmeer.....	13
3.3 Volkerak-Zoommeer.....	14
3.4 Oosterschelde.....	17
4 Conclusies	20
5 Kwaliteitsborging	22
Referenties	23
Verantwoording	24
6 Bijlagen.....	25
6.1 Bijlage A: Conceptueel model.....	25

Samenvatting

Herstel van estuariene dynamiek is een mogelijkheid om de Zuidwestelijke Delta beter bestand te maken tegen de effecten van klimaatveranderingen. Om tot een goed doordachte beleidskeuze te komen over het eventueel toelaten van meer estuariene dynamiek in de Zuidwestelijke Delta ontbreekt inzicht in de voor- en nadelen ervan voor EL&I-sectoren in deze regio. Hoe gaat de natuur zich ontwikkelen? Hoe werkt meer estuariene dynamiek door naar de landbouw, de visserij en aquacultuur, de recreatie en het landschap? Wat zijn bedreigingen en waar liggen de kansen?

Door het herstel van de verbindingen tussen de verschillende bekkens zal er ook een verandering optreden in de nutriëntendynamiek. Dit kan gevolgen hebben voor de productiviteit van het systeem en daarmee gevolgen hebben voor de aquacultuur maar ook de natuurwaarden. Voor vier van de bekkens in de Delta (Volkerak-Zoommeer, Grevelingenmeer, Oosterschelde en het Veerse Meer als historische referentie) wordt in dit rapport een conceptueel model gebruikt om de effecten van verandering in nutriënten toevoer op primaire productie en grazers inzichtelijk te maken. Hiervoor wordt elk bekken getypeerd door de relatie tussen grazers (algen etende organismen) en primaire (algen) productie. Vervolgens wordt het effect van verandering in nutriënten toevoer en verblijftijd van het water op deze relatie voorspeld.

Door het herstel van de verbindingen tussen de verschillende bekkens en de Noordzee wordt ten eerste de doorstroom van alle bekkens vergroot. Dit vermindert de kans op temperatuur-stratificatie van het water in de zomer en daardoor zuurstof deficiëntie op de bodem. Het vergroot ook de doorvoer van nutriënten en voedsel voor groei van algen en grazers. Hoewel in het Grevelingenmeer en Volkerak Zoommeer (VZM) de nutriënten concentraties niet danig zullen veranderen door de maatregelen zoals hier omschreven, zal de extra doorstroom wel voor een hogere beschikbaarheid van nutriënten kunnen zorgen en zo groei van algen en grazers positief kunnen beïnvloeden. Er wordt verwacht dat de maatregelen een positief effect hebben op de benutting van de draagkracht in het Grevelingenmeer en het VZM door grazers, omdat er meer voedsel en meer areaal beschikbaar zal zijn voor de groei van grazers. Ook plaatselijk in de Oosterschelde (nabij de doorlaten: Noordelijke Tak en de Kom) zal de toegenomen doorstroom een effect hebben op nutriëntenbeschikbaarheid. In de Oosterschelde is er daarnaast wel de verwachting dat nutriëntenconcentraties (plaatselijk) kunnen verhogen door het plaatsen van de doorlaten. Echter, daar waar grazer biomassa hoog is en draagkracht over-geëxploiteerd zal het kleinere fytoplankton (picoplankton) dat niet wordt gefilterd door de schelpdieren eerder kunnen profiteren van toegenomen nutriënten. Er is daarom in de Oosterschelde een kans dat de maatregelen op de korte termijn niet leiden tot de toename van individuele groei in grazers vanwege een toename in het niet voor de grazers niet eetbare picofytoplankton.

1 Inleiding

1.1 Ecologie

De Zuidwestelijke Delta bevat natuurwaarden die wereldwijd zeldzaam zijn, ondanks en dankzij de deltawerken. Er is de zogenaamde oude delta natuur, van voor de deltawerken, en nieuwe delta natuur met elk hun intrinsieke natuurwaarde. Zowel de oude als de nieuwe deltanatuur staan onder druk of zijn uit evenwicht, door problemen met de waterkwaliteit (stofstromen, draagkracht) en/of de verstoorde sedimentbalans (zandhonger e.d.). Daarnaast moet rekening gehouden worden met de toekomstige effecten van klimaatverandering, in het bijzonder de zeespiegelstijging en de piekafvoeren van zoetwater.

De Ecologische opgaven die gedefinieerd zijn in de probleemanalyse (Van Pelt et al., in prep) :

- Ecosystemen zijn in ontwikkeling; Natura2000 en KRW zijn gericht op doelsoorten; een fundamenteel debat is nodig over toekomstig natuurbeleid en de natuurwaarden die we behouden willen, dan wel perspectief willen bieden.
- Sturen op conditionerende factoren (zandsuppleties; waterkwaliteit; oevererosiebestrijding); hoe kan dit bijdragen om de ecologische veerkracht en de natuurwaarden te vergroten in de context van klimaatverandering (zeespiegelstijging scenario's).

Veel van de oplossingsrichtingen voor de ontwikkeling van de ecologische veerkracht zijn gericht op het herstel van de estuariene dynamiek in de verschillende bekkens door het opnieuw verbinden van bekkens en het toelaten van zout water en beperkt getij. Hierdoor zullen de randvoorwaarden van het systeem gaan veranderen. Het is nu de vraag wat het effect van de veranderende randvoorwaarden is op het functioneren van het de ecosystemen in de Zuidwestelijke Delta.

1.2 Ecologische veerkracht ten bate van Veiligheid, Zoetwatervoorziening en Economie

De EL&I sectoren hebben zeer verschillende visies op estuariene dynamiek en leggen daarmee ook verschillende randvoorwaarden voor de verbetering aan de ecologische veerkracht. Voor het natuurbeleid is de terugkeer van estuariene dynamiek een belangrijke ambitie voor de toekomst, terwijl de landbouwsector veel bedenkingen heeft vanwege de zoetwatervoorziening. Voor de recreatie en de visserij biedt de beoogde verbetering van de leefomgeving een economische kans, maar er zijn ook investeringen nodig om bijvoorbeeld jachthavens aan te passen of kennis te ontwikkelen. De landbouwsector stelt richting de overheid veel randvoorwaarden om in het bijzonder de zoetwatervoorziening voor de kapitaalintensieve teelten (bloembollen, fruit, glas, etc.) ook in de toekomst te kunnen blijven garanderen. Om tot een beleidskeuze te komen over het eventueel toestaan van meer estuariene dynamiek in de ZW-Delta ontbreekt inzicht in de voor- en nadelen ervan voor EL&I-sectoren in deze regio. Hoe gaat de natuur zich ontwikkelen? Hoe werkt meer estuariene dynamiek door naar de landbouw, de visserij en aquacultuur, de recreatie en het landschap? Wat zijn bedreigingen en kansen?

Opgaven uit de probleemanalyse voor het Deltaprogramma die spelen op het raakvlak van Ecologie en overige thema's:

- Het adaptief vermogen van huidig peilbeheer in Volkerak-Zoommeer, Grevelingenmeer en Veerse Meer bezien vanuit (a) de waterbergingsopgaven (veiligheid), dijversterking (veiligheid), natuurwaarden en natuurdoelen en afwateringsmogelijkheden (landbouw)
- Herziening van de landelijke zoetwaterverdeling tussen gebieden en sectoren, ingegeven door klimaatverandering, toenemende zoet water vraag en wijzigend zoet water aanbod vanuit het hoofdwater systeem. Deze herverdeling legt 'boundary conditions' op voor de mate van herstel estuariene dynamiek en optimalisatie van ecologische veerkracht.
- Water is een belangrijke vestigingsfactor voor ondernemers actief in de Zuidwestelijke delta. Ecorys (in prep.) heeft berekend dat 25% van de werkgelegenheid in dit gebied gerelateerd is aan water,

zoet en zout. Het gaat hierbij niet alleen om de groene functies, maar ook om procesindustrie. Het getal is bovendien nog exclusief de werkgelegenheid in de havens. Verandering in ecologische veerkracht en estuariene dynamiek zullen daardoor ongetwijfeld het ondernemersklimaat in de regio beïnvloeden.

1.3 Effecten van veranderende nutriëntendynamiek op productiviteit

Door het herstel van de verbindingen tussen de verschillende bekkens zal er ook een verandering optreden in de nutriëntendynamiek. Dit kan gevolgen hebben voor de productiviteit van het systeem en daarmee gevolgen hebben voor de aquacultuur maar ook de natuurwaarden. Door middel van een budgetbenadering zal er worden onderzocht wat de gevolgen (in termen van productiviteit en draagkracht) van een veranderende nutriëntendynamiek zijn.

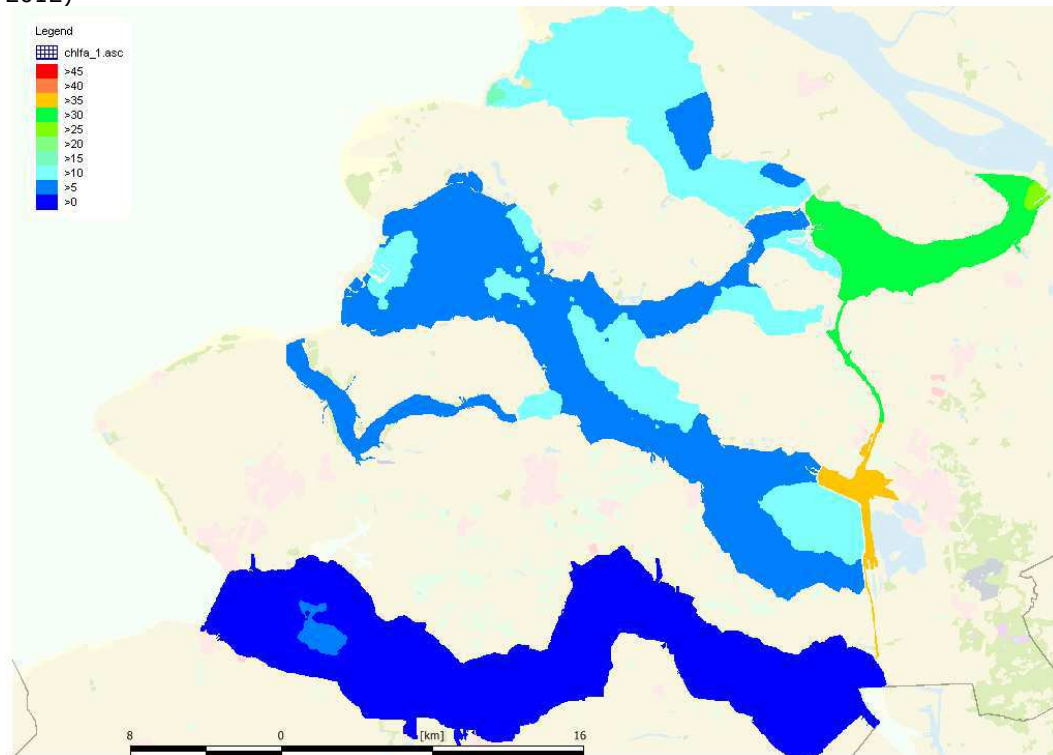
1.4 Kennisvraag

De kennisvraag die aan de basis van dit onderzoek ligt is: *“Wat zijn de effecten van verandering in nutriënten-beschikbaarheid en doorstroom op productiviteit en draagkracht in de verschillende bekkens van de zuidwestelijke Delta?”* Voor ieder van de bekkens in de Delta wordt een conceptueel model toegepast om de effecten van verandering in nutriënten toevoer op primaire productie en grazers duidelijk te maken. Hiervoor wordt elk bekken eerst getypeerd in de relatie tussen grazers en primaire productie. Vervolgens wordt het effect van verandering in nutriënten toevoer op deze relatie voorspeld.

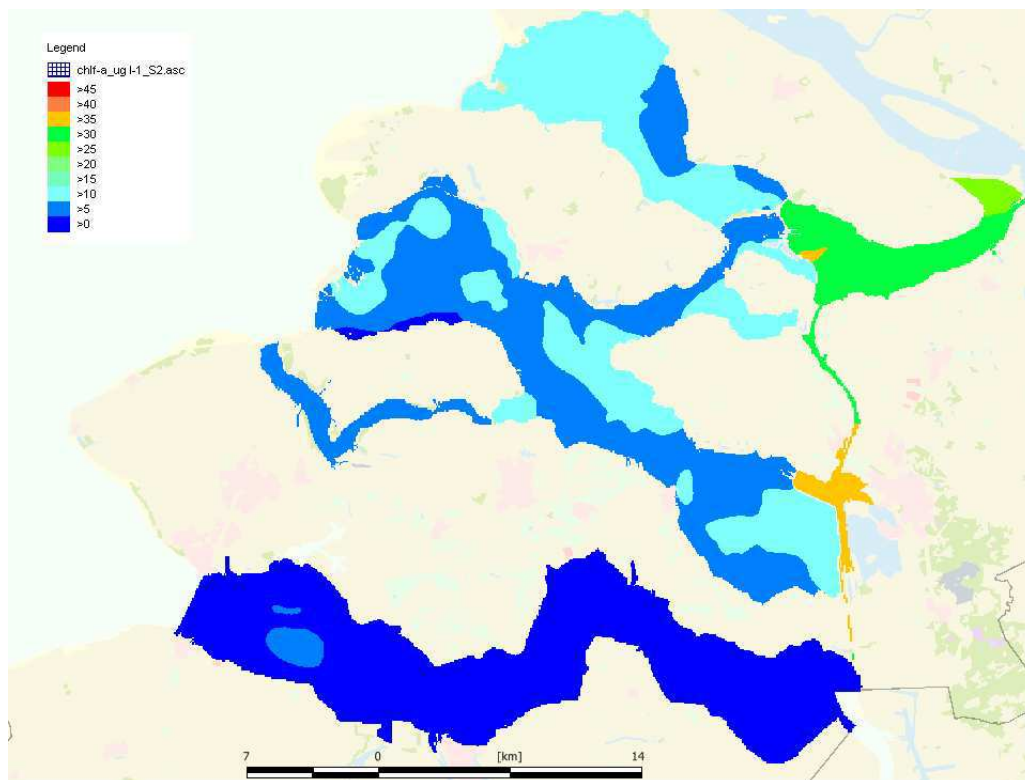
Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van het EL&I-programma Beleidsondersteunend Onderzoek thema Gebiedsgerichte Deltaprogramma's.

2 Methoden

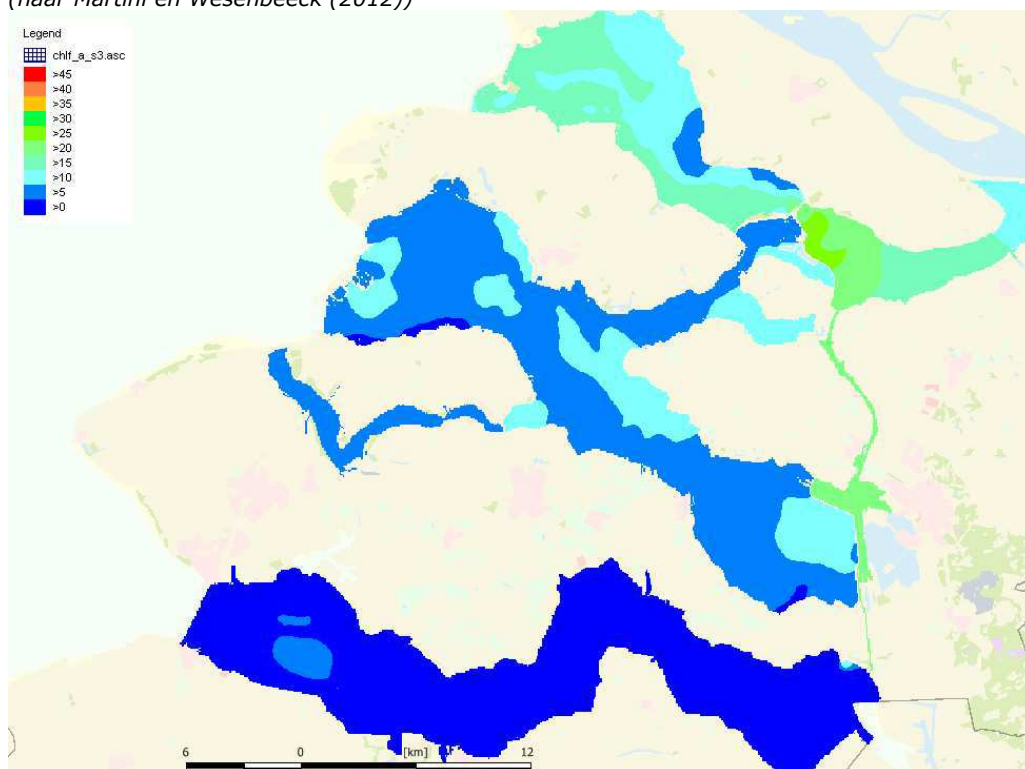
In het kader van het project Kennis voor Klimaat is er gewerkt aan een aantal scenario's voor veranderingen in de Delta wateren door de opwarming van de aarde (niets doen, zeewater-peil omhoog of verbindingen met rivier en Noordzee herstellen). Informatie over de verwachte veranderingen in chlorofyl gehalte van het water is hierdoor beschikbaar (zie figuur 1 t/m 3). (Martini en Wesenbeeck, 2012)



Figuur 1: Huidige Chlorofyl-a concentratie (µg/l) (gemiddeld over jaar). (naar Martini en Wesenbeeck (2012))



Figuur 2: Chlorofyl-a concentratie ($\mu\text{g/l}$, gemiddeld over jaar) als het zeewaterpeil omhoog gaat met 80cm. (naar Martini en Wesenbeeck (2012))



Figuur 3: Chlorofyl-a concentratie ($\mu\text{g/l}$, gemiddeld over jaar) als verbindingen tussen rivier en zee worden hersteld (naar Martini en Wesenbeeck (2012)).

Uit de analyse van Martini en Wesenbeeck (2012) blijkt dat de trend in chlorofyl *a* verschillend wordt beïnvloed in de twee alternatieve scenario's. Wanneer de waterspiegel in de Delta stijgt en er genoeg inmenging van water is, zal er een hogere waterkolom bestaan waarin fotosynthese kan plaatsvinden. Nutriëntconcentraties veranderen niet. In het scenario waar de verbindingen tussen rivier en zee hersteld worden verandert de chlorofylconcentratie vooral omdat de toe- en afvoer van nutriënten wordt veranderd door de verandering in watertransport. Door de waterverbindingen verandert vooral de nutriëntendynamiek in het Volkerak-Zoommeer (hierna VZM) en het Grevelingenmeer (vergelijk figuur 1 en 3), maar ook het zoutgehalte in beide meren. Omdat nutriëntendynamiek en zoutbalans alleen veranderen als de verbindingen worden hersteld gaan we in dit deelrapport alleen in op de consequenties van deze maatregel. In dit rapport gaan we op zoek in verschillende studies naar de voorspelde veranderingen in nutriëntendynamiek en productiviteit in de verschillende bekkens van de Zuidwestelijke Delta en zetten dat in een kader van een conceptueel model dat de relatie tussen primaire productie en grazer biomassa beschrijft.

2.1 Conceptueel model

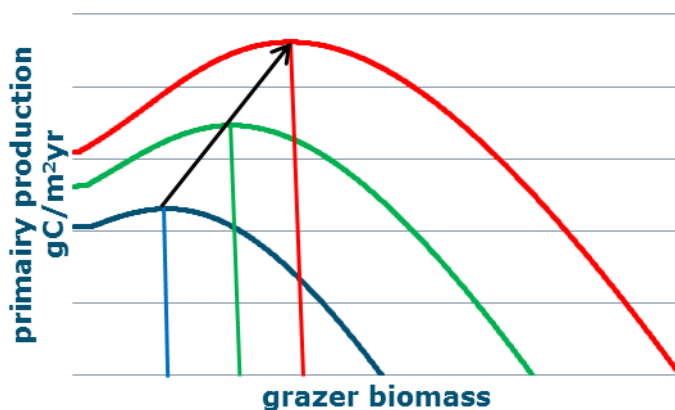
De consequenties van de maatregelen (herstel verbindingen) op de productiviteit en draagkracht voor schelpdiercultuur worden gevisualiseerd door middel van een conceptueel model van de relatie tussen primaire productie, dat onder andere afhangt van nutriëntenbeschikbaarheid, en grazers (zie Bijlage A). De relatie tussen grazers en primaire productie is een interactieve. Naarmate de graasdruk toeneemt zullen algen sneller delen en kan, indien fytoplankton gelimiteerd wordt in productie door een gebrek aan nutriënten en/of licht, de fytoplankton-turnover toenemen. Dit wordt mede gestimuleerd door het sneller beschikbaar komen van nutriënten via afbraak van de bio-depositie van de grazers. Boven een bepaalde graasdruk zal de hoeveelheid fytoplankton beperkend worden voor de primaire productie en neemt de voedselbeschikbaarheid af. Dit vertaalt zich in afname van de productie (populatiegroei) van de grazers. De biomassa grazers hoeft niet alleen bepaald te worden door de interactieve relatie met primaire productie. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk dat door habitatvergroting (meer oppervlakte maar ook vermindering van ongunstige omstandigheden op bepaalde locaties) meer grazers zich kunnen vestigen, of dat door gecontroleerde kweekbestanden biomassa kunstmatig (dus zonder terugkoppeling met primaire productie) en jaar-op-jaar hoog gehouden wordt.

Draagkracht voor schelpdiercultuur kan gedefinieerd worden als de balans tussen de hoeveelheid grazers en de populatiegroei van schelpdieren. Deze definitie kan als volgt worden uitgelegd.

Draagkracht van het ecosysteem voor grazers kan in principe op drie niveaus worden benut:

- a. **Draagkracht wordt onderbenut:** productie (populatiegroei) van grazers is suboptimaal als gevolg van geringe bestandsomvang; individuele groeisnelheid is hoog. De primaire productie wordt beperkt door beschikbaarheid van nutriënten (en/of licht). Deze situatie komt overeen met de regio links van de verticale lijn in figuur 4.
- b. **Draagkracht wordt optimaal benut:** De grazer productie is maximaal, inhoudende dat de omvang van het bestand, de daarbij horende graasdruk en de daar bij optredende terug-levering van nutriënten optimaal in evenwicht zijn en de primaire productie maximaal is. Deze situatie komt overeen met de verticale lijn in figuur 4.
- c. **Draagkracht wordt over-geëxploiteerd:** De productie is suboptimaal als gevolg van een achterblijvende groei en/of overbegrazing van het fytoplankton. De grazerbestanden zijn hoog, maar de groei is gering. De primaire productie wordt beperkt door overbegrazing en de lage planktonconcentraties die daarvan het gevolg zijn. Door schelpdieren onbegraasde fytoplankton soorten zoals picoplankton kunnen profiteren van de overbegrazing van andere soorten algen. Dit leidt tot een hoge verhouding picoplankton/eetbare fytoplankton (Cranford e.a. 2006 en 2009). Deze situatie komt overeen met de regio rechts van de verticale lijn in figuur 4.

In dit conceptuele model wordt verwacht dat het natuurlijke verloop op de lange termijn (tientallen jaren) tot een evenwicht leidt tussen eetbare primaire productie en secundaire productie van grazers. Als primaire en secundaire productie in balans zijn is de draagkracht optimaal benut. Dit evenwicht zal zich daarom bevinden op de verticale lijn in figuur 4. Op de korte termijn kunnen zaken als beheersmaatregelen (bv. weghalen van oesters, doorstroomveranderingen), kweek van schelpdieren en verandering van klimaat ervoor zorgen dat het evenwicht verstoort wordt. Het evenwicht in dit conceptuele model is tenslotte stabiel op de langere termijn; een verstoring van het evenwicht zal een reactie terug naar het evenwicht tot gevolg hebben. Zo zal een vermindering van primaire productie leiden tot een vermindering in secundaire productie. Een vergroting van de biomassa grazers zal leiden tot minder primaire productie en minder secundaire productie zodat biomassa verlaagt wordt door sterfte, net zolang totdat de biomassa weer terug komt op het evenwicht. De mate van korte termijn verstoringen heeft invloed op de tijd dat het kost voor het systeem om het evenwicht te bereiken.



Figuur 4: De relatie tussen eetbare primaire productie en grazer biomassa in het conceptuele model voor lineair toenemende (blauw = 2X rood) nutriëntenbeschikbaarheid (blauw= nutriënten-arm/oligotroof, rood=nutriënten-rijk/eutroof). Verticale lijnen geven de biomassa grazers aan waarbij de primaire productie optimaal is. Pijl geeft de verschuiving van het optimum aan.

Externe toevoer van extra nutriënten zal niet alleen de mogelijkheid tot hogere primaire productie betekenen (vergelijk rode en blauwe lijn figuur 4), maar ook een verandering van licht- en nutriënt-gelimiteerde primaire productie naar voornamelijk licht-limitatie door algenbloei. Door de verandering in limitatie in fytoplankton zal de relatie tussen primaire productie en grazers zoals weergegeven in figuur 4 veranderen. In een eutroof systeem is de verwachting dat nutriënten in voldoende mate aanwezig zijn om een hoge primaire productie te bewerkstelligen, zodanig dat nutriënten niet gelimiteerd worden zelfs als er geen grazers aanwezig zijn. De toename in primaire productie met toevoer van nutriënten zonder grazers aanwezig is echter niet lineair (verschil tussen rood en groen > verschil tussen groen en blauw, figuur 4), vanwege de toename in licht-limitatie door eutrofiëring. Toename in grazer biomassa geeft vervolgens een snellere toename in primaire productie in eutrofe systemen dan in oligotrofe systemen (richtingscoëfficiënt vanaf nul grazer biomassa is het grootst voor rode lijn in figuur 4). Ook is de optimale primaire productie in eutrofe systemen hoger en mogelijk bij hogere grazer biomassa (verticale lijnen figuur 4). De optimale grazer biomassa neemt min of meer lineair toe met nutriëntenbeschikbaarheid.

Een over-geëxploiteerd systeem met een grazer biomassa die het optimum overschrijdt kan door het toevoegen van nutriënten veranderen in een onder-geëxploiteerd systeem waar de individuele groei sterk verbetert en populatiegroei van grazers weer mogelijk wordt.

Voor ieder van de bekkens in de Delta wordt dit conceptueel model toegepast om de effecten van verandering in nutriënten toevoer op primaire productie en grazers duidelijk te maken. Hiervoor wordt elk bekken eerst getypeerd in de relatie tussen grazers en primaire productie. Vervolgens wordt het effect van verandering in nutriënten toevoer op deze relatie voorspeld.

3 Bekkens van de Zuidwestelijke Delta

Tabel 1: Waterkwaliteitstypering voor en na maatregelen.

	Autonome situatie	Voorspelling na doorlaten
Veerse meer (Craeymeersch & de Vries 2007)	(voor 2004): #5.9 - 11 g Cl ⁻ /l #20% zuurstofloos bodemopp. #0.4 mg P/l #<1->4mg N/l	(2004-2007 gemeten): #12 - 16.5 g Cl ⁻ /l #0.1% zuurstofloos bodemopp. #0.16 mg P/l #<1->3mg N/l
Grevelingenmeer (Hoeksema 2002, Wijsman 2002, Turlings en Nieuwkamer 2009)	#19 (1990) - 16 g Cl ⁻ /l (2002) #4 (1996)- 10% zuurstofloos bodemopp. (1997) #0.3 (1991)- 0.1 mg P/l (2001) #0.5mg N/l	#>16 g Cl ⁻ /l #<0.1% zuurstofloos bodemopp. #0.1 mg P/l #0.5mg N/l
Oosterschelde (Waterbase, MER waterkwaliteit VZM 2009)	#14 - 19 g Cl ⁻ /l #Geen zuurstof deficiëntie #gem. 0.05 mg P/l #gem. 0.75 mg N/l	#plaatselijk -5% Cl ⁻ /l (Zijpe) #Geen zuurstof deficiëntie #plaatselijk >gem. 0.05 mg P/l #plaatselijk >gem. 0.75 mg N/l
Volkerak-Zoommeer (Wijsman en Kleissen 2011, Boderie e.a. 2007)	#0.2 - 0.5 g Cl ⁻ /l #Zuurstof deficiëntie door algenbloei #0.075- 0.25 mg P/l #2-9 mg N/l	#10 - 27 g Cl ⁻ /l #Plaatselijke zuurstof deficiëntie door zoet-zout stratificatie #0.03 - 0.25 mg P/l #1 - 6.5 mg N/l

3.1 Veerse Meer als historisch model voor de Grevelingen en het VZM

Het Veerse meer is geen onderdeel van de maatregelen die met het Deltamodel zijn doorgerekend om de verschillende bekkens in de Zuidwestelijke Delta te verbinden. Toch is het Veerse Meer vanuit een historisch perspectief interessant, omdat, net als nu voorgesteld wordt met het Grevelingenmeer en het Volkerak-Zoommeer (VZM), in het toenmalige brakke Veerse Meer een doorlaat is gecreëerd en de ecologische gevolgen daarvan zijn gemonitord. Het Veerse Meer kan daarmee een model zijn voor de reacties in het Grevelingenmeer en VZM.

Het Veerse Meer is een kunstmatig meer dat is ontstaan na de aanleg van de Zandkreekdijk in 1960 en de Veerse gatdam in 1961. Beide dammen zijn gebouwd in het kader van het Deltaplan. In 2002 begon men aan de bouw van een doorlaatmiddel in de Zandkreekdijk, de Katse Heule en op 23 juni 2004 is het officieel in gebruik genomen. De doorlaat kan worden afgesloten met een beweegbare schuif, waarmee uitwisseling van water tussen de Oosterschelde en het Veerse Meer geregeld kan worden (gemiddeld 40 m³/s).

Er werd voor een doorlaatmiddel besloten vanwege de achteruitgang van de kwaliteit van het water en ecosysteem in de periode na de afsluiting (1961). De belangrijkste problemen waren de toevoer van zoet (te) voedselrijk polderwater, sterk wisselende zoutgehalten door het inlaten van zout water in het voorjaar t.b.v. het peilbeheer en gelaagdheid van het water als gevolg van het peilbeheer. Deze factoren leidde tot overmatige algenbloei van pico- en microplankton, waardoor het water troebel werd of zeesla. Door de stratificatie van de waterkolom ontstond in de diepe geulen zuurstofloosheid van het water nabij de bodem (tabel 1). De soortendiversiteit van planten en dieren in het Veerse Meer was door de combinatie van deze omstandigheden erg gering. In de Milieu Effect Rapportage van 1989 was waterverversing naar voren gekomen als een manier om de (water)kwaliteitsproblemen op te lossen.

Sinds de ingebruikname van het doorlaatmiddel in juni 2004 zijn de veranderingen in het Veerse Meer nauwkeurig gevolgd (Craeymeersch en de Vries, 2007). Craeymeersch en de Vries (2007) laten zien dat ondanks dat de toevoer van polderwater hetzelfde is gebleven, het voedselrijke water door de doorlaat sneller afgevoerd werd naar de Oosterschelde. Hierdoor daalde ook de nutriëntengehaltes in het Veerse Meer (tabel 1). Het zoutgehalte van het Veerse Meer ligt het hele jaar door maar iets lager dan het zoutgehalte van de Oosterschelde en de gelaagdheid als gevolg van de inlaat van zout water is verdwenen. Wel was sprake van temperatuurstratificatie, maar de zuurstofloosheid bleef beperkt tot korte (warme) periodes en in diepe putten. Het aantal soorten dieren en planten in het Veerse Meer is sinds de ingebruikname van de Katse Heule duidelijk toegenomen (Craeymeersch en de Vries, 2007).

Door een neergaande trend in nutriëntengehaltes en een toename in faunabiomassa kan worden verwacht (op basis van het conceptueel model in figuur 4) dat het systeem zich van een onderbenutte draagkracht verplaatst heeft naar rechts (hogere grazer biomassa), naar een meer optimale benutting en wellicht daar voorbij door de toename in schelpdiercultuur in het Veerse Meer.

3.2 Grevelingenmeer

Evenals het Veerse Meer is het Grevelingenmeer ontstaan als gevolg van de Deltawerken, echter een tiental jaar later in 1971. Sinds de afsluiting zijn de condities voor natuurlijk leven in het meer gestaag achteruit gegaan (Wetsteijn 2010). Evenals in het Veerse Meer is er zuurstofloosheid gedurende de zomermaanden. Zuurstofloosheid ontstaat aan de ene kant door temperatuurstratificatie. Dit is de oorzaak voor zuurstofloosheid in de geulen. Ook het gebrek aan doorstroming kan ervoor zorgen dat een ophoping van organisch materiaal (sterfte na algenbloei of sterfte van schelpdieren) leidt tot zuurstofloosheid zelfs in ondiepere gebieden. In 1999 werd besloten om het gehele jaar door water door de Brouwerssluis te spuien (tot +/- 116m³/s) om het meer zouter en het waterpeil constanter te houden. De verhoging in doorspoeling zorgde voor een kortere periode van zuurstofloosheid en minder temperatuurstratificatie in de zomermaanden (Hoeksema 2002). Vanaf 2005 wordt in verband met o.a. broedvogels in de maanden april-juni minder gespuid (Wetsteijn 2010). Dit heeft waarschijnlijk wederom voor meer stratificatie en zuurstofloosheid gezorgd in de zomermaanden. De diepte waarop zuurstofloosheid optreedt is in de loop der tijd verhoogt van een diepte van 15m (1999) naar een diepte van 5 tot 6m in 2009 (Wetsteijn 2010, Wijsman 2002). Hoewel een oorzakelijk verband nooit is aangetoond veroorzaakt deze zuurstofloosheid sterfte in vooral de benthische gemeenschappen en minder uitputting van nutriënten (Wetsteijn 2010, Wijsman 2002). De dichtheid en biomassa van bodemdieren laat dan ook over de periode 1990-2009 een neergaande trend zien (Wetsteijn 2010). Van de Haterd e.a. (2010) tonen aan dat de neergang van bodemdieren nog sterker is in vergelijking met gegevens uit de jaren '80.

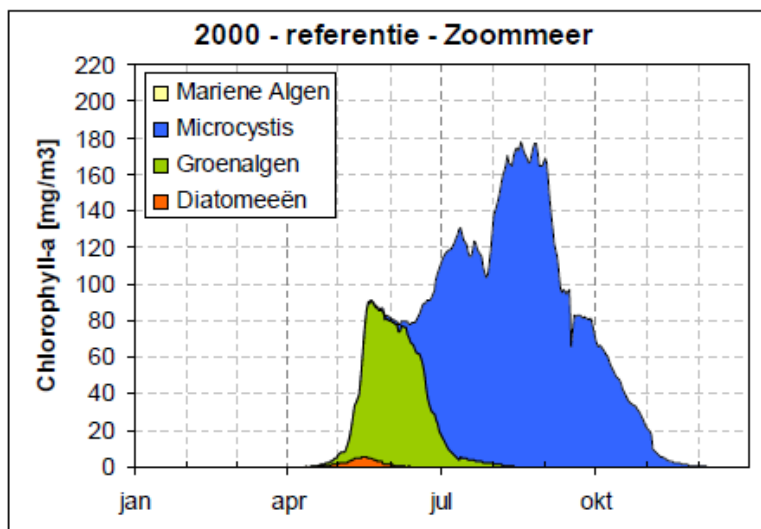
In 2008 is een eerste verkenning uitgevoerd naar de herintroductie van getij in het Grevelingenmeer (Turlings en Nieuwkamer 2009). Hieruit blijkt dat voor structurele verbetering van de zuurstofhuishouding in het Grevelingenmeer de opening in de Brouwersdam 4 -8 maal zo groot zal moeten zijn als de huidige opening in de Brouwerssluis. Dit resulteert in een getijdenslag van 30-50 cm (Turlings en Nieuwkamer 2009). Dit zal leiden tot een gedeeltelijk herstel van het intergetijdengebied ten kostte van hoger gelegen permanent droge gebieden en ondiepe gebieden nu permanent onder water staan. Belangrijke factoren voor bodemdieren die zullen veranderen door de herintroductie van getij zijn een lichte verhoging van de primaire productie door betere beschikbaarheid (menging) van nutriënten (zie ook figuur 3), en het periodiek droogvallen van intertijdegebieden. Dit laatste zorgt bij schelpdieren, gegeven de juiste droogvalduur, voor een periode met verminderde predatie en daardoor een hogere overleving (van de Haterd e.a. 2010). Mogelijke negatieve gevolgen van een verhoogde doorstroom met Noordzeewater zijn de bloei van pestalgen die meestromen met het Noordzeewater (Hoeksema 2002) en mogelijk ook zandhonger zoals dat ook in de Oosterschelde optreedt.

Naar verwachting zal een betere doorstroom vooral een positief effect hebben op de natuurlijke diversiteit, veerkracht en stabiliteit van de Grevelingen (Turlings en Nieuwkamer 2009, Hoeksema 2002). Zo is in het verleden vastgesteld dat door de stratificatie en zuurstofgebrek in diepere delen schelpdieren in aantal zijn afgenomen terwijl polychaeten (wormachtige deposit-feeders) zijn toegenomen omdat deze konden profiteren van het gebrek aan filter-feeders in deze zones (Schaub e.a. 2002). Door het herstel van de doorstroom in de Grevelingen wordt mogelijk deze 'verworming' van de bentosfauna weer teruggedraaid en ontstaat weer meer ruimte voor schelpdieren.

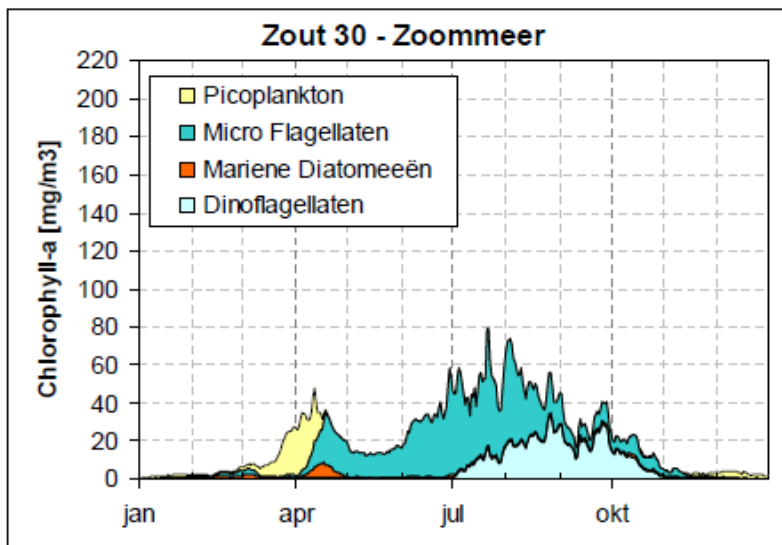
Gegeven ons conceptueel model (figuur 4) zal de verbetering in beschikbaarheid van nutriënten (nauwelijks of mogelijk) iets verbeteren aan de draagkracht voor schelpdieren. Ook zal het areaal voor schelpdieren (intertijdegebieden) vergroten en daardoor de kans op vestiging. Waar de biomassa schelpdieren toeneemt door vestigingsmogelijkheden, zal voedsel meer gematigd in hogere concentraties aanwezig zijn. Dit kan tot gevolg hebben dat de situatie zich snel verplaatst van een onderbenutte draagkracht (door zuurstofloosheid en onderbenutting van nutriënten, situatie links van de verticale lijn) naar rechts richting de verticale lijn in figuur 4.

3.3 Volkerak-Zoommeer

Het Volkerak-Zoommeer (VZM) is een zoet merengebied dat na de afscheiding van de Oosterschelde in 1987 gevoed wordt met zoet water uit het Hollandsch Diep en de Brabantse rivieren: de Mark/Dintel, de Steenbergse Vliet en de Zoom. Door de aanvoer van dit rivierwater in combinatie met de relatief lange verblijftijd van het water (10-14 weken), zijn het water en de bodem van het VZM rijk aan nutriënten (MER waterkwaliteit VZM 2009). De eutrofie van het VZM veroorzaakt in de laatste jaren tijdens zomermaanden blauwalgenbloei (*Microcystis*, zie figuur 5). Dit heeft sterfte als gevolg onder vogels en vissen, en stankoverlast en onbruikbaarheid van het zoete water om in te zwemmen en voor de regionale watervoorziening (peilbeheer, inlaten als drinkwater voor vee en de beregening van gewassen, MER waterkwaliteit VZM 2009).

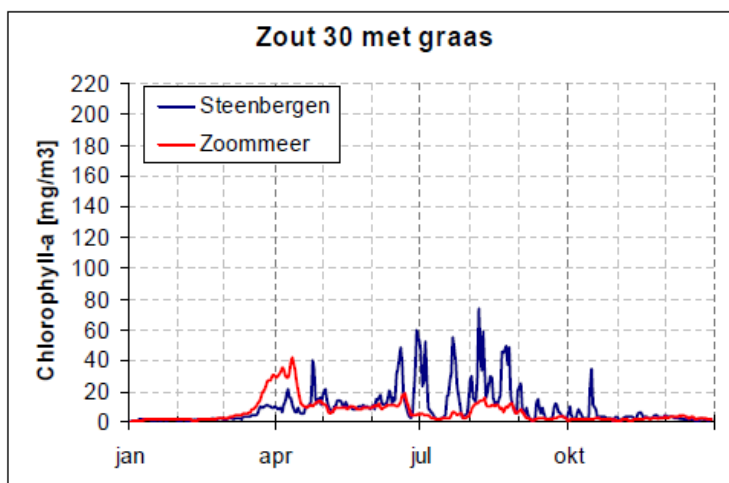


Figuur 5: Berekende concentraties van verschillende typen algen over het referentiejaar 2000. (uit Boderie e.a. 2007). Andere meetpunten in het VZM laten vergelijkbare dynamiek zien.

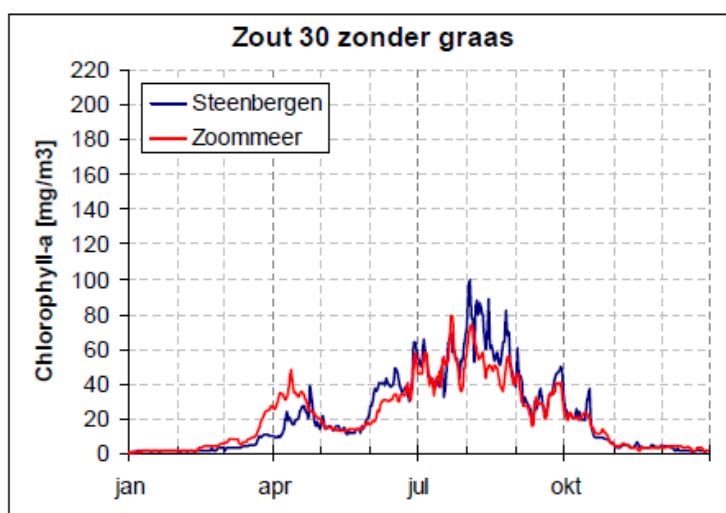


Figuur 6: berekende concentratie van verschillende typen algen op het meetpunt Zoommeer in het zoute scenario met doorlaat in Philipsdam en inlaat van zout water bij Volkeraksluis van $30\text{m}^3/\text{s}$. (uit Boderie e.a. 2007). Andere meetpunten in het VZM laten vergelijkbare dynamiek zien.

Op grond van de modelresultaten gepresenteerd in Boderie e.a. (2007) blijkt dat het zout maken van het Volkerak-Zoommeer de enige reële oplossing is om de waterkwaliteit zodanig te verbeteren dat de blauwalgen verdwijnen. De oplossing bestaat uit meerdere ingrepen, maar de meest essentiële voor de nutriëntendynamiek in het VZM zijn een doorlaatmiddel in de Philipsdam tussen Oosterschelde en het VZM met een getijgemiddelde capaciteit van $270\text{ m}^3/\text{s}$ en de ontmanteling van de zout-zoetscheidingsystemen in de Krammersluizen en de Bergsediepsluis (MER waterkwaliteit VZM 2009). Deze ingrepen veroorzaken een aantal veranderingen in het VZM. Ten eerste wordt de nutriënten concentratie licht verlaagd door de inlaat van Oosterscheldewater, ten tweede treedt verzilting op en ten derde wordt de verblijftijd in het VZM verkort. Daarmee ontstaan condities voor de ontwikkeling van mariene grazers zoals mosselen en andere schelpdieren (Wijsman en Kleissen 2012), waardoor de hoeveelheid algen sterk verlaagd kan worden (Boderie e.a. 2007, zie figuur 6). Deze ontwikkeling kan enkele jaren op zich laten wachten (Boderie e.a. 2007). Tot die tijd zal de eutrofe situatie leiden tot een hoge concentratie van mariene algen (zie figuur 7 en 8). Deze hoge algenconcentratie kan ook bestaan uit grote hoeveelheden picoplankton (Boderie e.a. 2007). Deze groep van algen wordt niet of slecht gegeten door grazers omdat ze te klein zijn. Het voorkomen van grote hoeveelheden picoplankton kan, door onderdrukking van eetbare algensoorten d.m.v. lichtlimitatie, de ontwikkeling van mariene grazers vertragen.



Figuur 7: totale berekende concentratie chlorofyl a met graasdruk van mariene grazers op de meetpunten Zoommeer en Steenbergen in het zoute scenario met doorlaat in Philipsdam en inlaat van zout water bij Volkeraksluis van $30\text{m}^3/\text{s}$. (uit Boderie e.a. 2007).



Figuur 8: totale berekende concentratie chlorofyl a zonder graasdruk van mariene grazers op de meetpunten Zoommeer en Steenbergen in het zoute scenario met doorlaat in Philipsdam en inlaat van zout water bij Volkeraksluis van $30\text{m}^3/\text{s}$. (uit Boderie e.a. 2007).

In tegenstelling tot de verandering in nutriëntendynamiek in het Veerse Meer door de 'Katse Heule' zal de doorlaat in de Philipsdam, mede door de grotere afstanden en betere inmenging in het VZM, niet veel lagere nutriëntenconcentraties veroorzaken. De nutriëntenconcentraties in het VZM blijven hoog. Wat opvalt in de studie van Boderie e.a. (2007) is dat zowel de algenconcentraties als de nutriëntenconcentratie niet veel verschillen naarmate er meer doorlaatmiddelen vanuit de Oosterschelde worden toegepast dan alleen in de Philipsdam (bv. in de Bergsediepsluis en Oesterdam). Verschillen in nutriëntenconcentratie worden beperkt doordat het systeem wordt gediceerd door aan de ene kant de nutriëntenconcentratie in de Oosterschelde en aan de andere kant door de nalevering van fosfaat vanuit de bodem. Daarnaast vindt er in het voorjaar nog de instroom van de Brabantse rivieren en uit de Volkeraksluizen plaats die nutriëntenconcentraties kunnen verhogen (Boderie e.a. 2007). De verblijftijd in het VZM wordt verkort van tien-veertien weken tot vijf weken of minder (Boderie e.a. 2007). Met de toegenomen verticale inmenging van water door de ingrepen wordt de kans op zuurstofloze condities in de diepere delen van het VZM beperkt.

Het belangrijkste effect van deze ingrepen op het ecosysteem van het VZM en de omliggende polderlandschappen is verzilting. Verzilting is het wapen tegen de zoetwater-blauwalg *Microcystis* sp. (Boderie e.a. 2007).

Bij de opening van zoutwaterdoorlaten naar het VZM zal de nutriëntenconcentratie licht dalen en de soortensamenstelling algen en grazers volledig veranderen. Het eutrofe zoete VZM zal veranderen in een eutroof VZM met een zout gradiënt (hoe dichter bij Volkeraksluizen, hoe zoeter). Verwachting is dat de verandering in algensoortensamenstelling veel sneller zal zijn dan de verandering in grazer soortensamenstelling. Ons conceptueel model (figuur 4) als uitgangspunt nemend, zullen de zoutwaterdoorlaten eerst een situatie in het VZM creëren waarbij de draagkracht voor grazers ver onderbenut is; er zal veel primaire productie aanwezig zijn (al dan niet bruikbaar vanwege het voorkomen van picoplankton) voor een kleine biomassa grazers. Afhankelijk van de beschikbaarheid van deze primaire productie zal de biomassa grazers in de loop der tijd toenemen. Volgens Boderie e.a. (2007) kan de toename van grazerbiomassa enkele jaren duren voordat deze primaire productie begint te beperken. Een neveneffect van de doorlaatmiddelen is de mogelijkheid tot schelpdiercultuur in het VZM (Wijsman en Kleissen 2011). Schelpdiercultuur kan een onmiddellijke toename van grazer biomassa betekenen. Hoe meer schelpdiercultuur wordt toegelaten hoe beperkter de groei van natuurlijke bestanden grazer zal zijn.

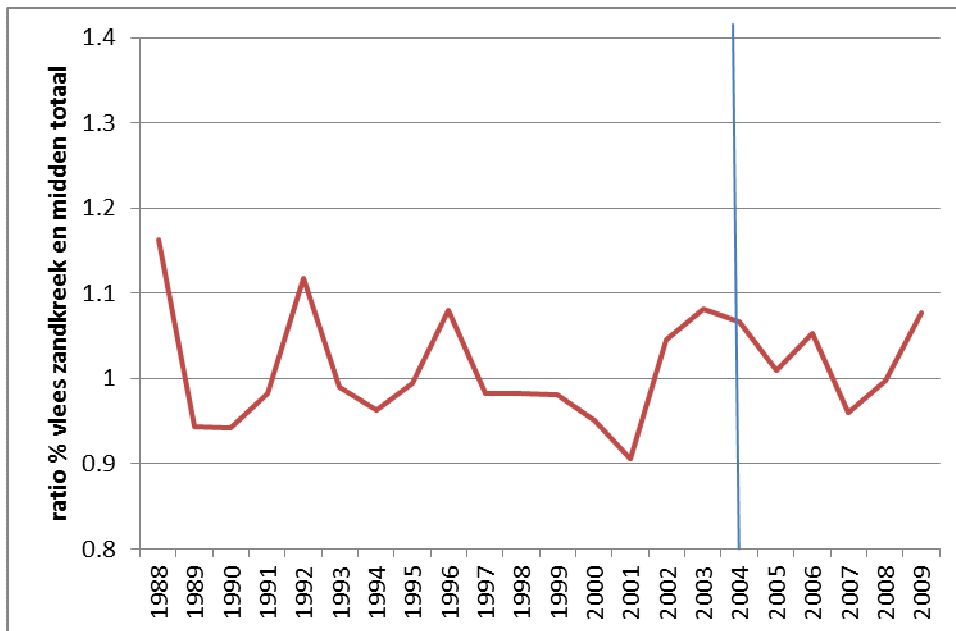
3.4 Oosterschelde

Ondanks dat de Oosterschelde van de besproken bekkens de meest open verbinding heeft met de Noordzee is voedsel voor grazers in de Oosterschelde vooral gebaseerd op interne primaire productie (Herman & Scholten 1990). Herman & Scholten (1990) lieten zien dat primaire productie vooral gelimiteerd is door nutriëntenbeschikbaarheid in de zomer en licht in de winter (links van de verticale lijn in figuur 4). Meer recent onderzoek (Smaal e.a. in voorbereiding) laat zien dat er ook aanwijzingen zijn dat primaire productie grazer gelimiteerd kan zijn, rechts van de verticale lijn in figuur 4. Gedurende de laatste 20 jaar is primaire productie gehalveerd. Deze verandering ging gepaard met een neergaande trend in chlorofyl *a* gehalten (Malkin e.a. 2010), terwijl nutriëntenconcentraties al laag waren sinds de plaatsing van de stormvloedkering in 1987. In de eerste jaren na de afsluiting tot 1995 bleef primaire productie hoog (Wetsteijn & Kromkamp. 1994), mogelijk door regeneratie van nutriënten als gevolg van de sterke begrazing door schelpdieren (Prins & Smaal 1994; Smaal e.a. 2001).

Smaal e.a. (in voorbereiding) laten voor de gehele Oosterschelde zien dat vanaf de jaren '90 de filtratie capaciteit in de Oosterschelde is toegenomen, mede door de toename van wilde Japanse oesterbestanden. Samen met de afname in primaire productie veronderstelt dit dat de draagkracht van het systeem over-geëxploiteerd is (rechts van de lijn in figuur 4). Geheel volgens verwachting van het conceptuele model leidt dit dan ook tot een afname in de productie van gecultiveerde mossels en een toename in het aandeel picoplankton (Smaal e.a. in voorbereiding). Omdat de filtratie capaciteit blijft toenemen, en dus (eetbare) algenbiomassa wordt verlaagd, wordt verwacht dat de beschikbaarheid van nutriënten in het water toe zal nemen voor picoplankton (Smaal e.a. in voorbereiding). Primaire productie wordt daarmee steeds minder nutriënt-gelimiteerd. Analyse van primaire productie op een tiental locaties in de Oosterschelde laat zien dat er verschillende regio's in de Oosterschelde te onderscheiden zijn aan de hand van verblijftijd (Malkin e.a. 2010). Zo is te zien dat door de lange verblijftijd van water en de hoge grazer biomassa in de Noordelijke Tak en de Kom (oost) van de Oosterschelde overbegrazing kan optreden, terwijl primaire productie in het beter doorstroomde westen (Monding) en midden eerder nutriënt-gelimiteerd zijn (Malkin e.a. 2010). Ook stellen Malkin e.a. (2010) dat zwevend stof in het Midden en de Kom primaire productie kunnen beperken, terwijl doorzicht juist beter is geworden in de Noordelijke Tak.

Het effect van toevoeging van nutriënten vanuit het VZM hangt af van of de Oosterschelde nutriënt-gelimiteerd is of niet. Zo zullen algen alleen profijt hebben van het toevoegen van nutriënten als deze

nutriënt-gelimiteerd zijn. Indien algen niet nutriënt-gelimiteerd zijn zal toevoeging van nutriënten alleen leiden tot een verhoging van de opgeloste nutriëntconcentraties. De doorlaatmiddelen uit het VZM zijn gericht op de Noordelijke Tak en de Kom, grazer-gelimiteerde gebieden. Daar zullen de doorlaatmiddelen naast het verhogen van nutriënten concentraties ook de verblijftijd van het water verkorten en zoutgehalte verminderen (bij Zijpe->5% minder chloride in jaar gemiddelde, MER waterkwaliteit VZM 2009). Het is mogelijk dat door het verkorten van de verblijftijd in de Kom en de Noordelijke Tak graasdruk vermindert en het gebruik van nutriënten kan stijgen. Wanneer de doorlaten geen noemenswaardig effect hebben op de graasdruk via de verblijftijd, zal dit ook enkel periodiek effect hebben op de primaire productie en dus op de draagkracht voor schelpdieren. Het lijkt er op voor en na het plaatsen van de 'Katse Heule', de doorlaat in het Veerse Meer die nutriëntrijk water afvoert naar de Oosterschelde, ook geen verschil heeft opgetreden in de groei van mossels daar vlakbij in de Oosterschelde (percelen Zandkreek, figuur 9). Mogelijk heeft overbegrazing verhinderd dat extra draagkracht veroorzaakt kon worden door een toevoer van nutriënten.



Figuur 9: Gemiddeld vleespercentages per jaar van mossels gekweekt op de percelen in de Zandkreek ten opzichte van het overall gemiddelde vleespercentage van de percelen in het compartiment "midden" van de Oosterschelde. Verticale blauwe lijn geeft plaatsing 'Katse Heule' weer. Er is geen significante verandering ($p > 0.05$) zichtbaar voor en na 2004.

De verwachting is echter dat het plaatsen van doorlaten tussen de Oosterschelde en het Volkerak-Zoommeer een positief effect heeft op de groei van oesters en mossels in respectievelijk de Kom en de Noordelijke Tak. Recentelijk is een studie uitgevoerd naar de effecten van een nutriënten-doorlaat door de Oesterdam op de groei van oesters op percelen in de Kom (Poelman e.a. in voorbereiding). Hierbij werd aangenomen dat de nutriënten uit het VZM direct beschikbaar waren voor door schelpdieren eetbare algensoorten die nutriënt-gelimiteerd zijn en daarmee ook voor de groei van oesters. De studie voorspelt dan ook een aanzienlijke toename in de groei van oesters door de toestroom van nutriënten vanuit het VZM. Een kanttekening die gemaakt wordt door Poelman e.a. (in voorbereiding) is dat de algensoorten die het meest profiteren van de nutriënten wel eens die soorten kunnen zijn die niet gegeten worden door oesters, zoals picoplankton, of hinderlijk zijn ten gevolge van plaagalggen met bv. schuimvorming ten gevolg. Er bestaat namelijk geen duidelijke terugkoppeling tussen de groei van picoplankton en de biomassa van schelpdieren, omdat schelpdieren deze niet eten. Aan de andere kant kan de betere doorstroming van de Noordelijke Tak en de Kom de graasdruk op fytoplankton

verminderen, waardoor er minder ruimte is voor picoplankton fytoplankton van de nutriënten toestroom profiteert.

Zowel in de Kom als in de Noordelijke Tak van de Oosterschelde kan de combinatie tussen hoge grazer biomassa en periodiek lage nutriëntenconcentraties (rechts van de blauwe verticale lijn in figuur 4) ervoor zorgen dat de doorlaten uit het VZM resulteren in een picoplanktonbloei, en niet een verhoging van een bruikbare draagkracht voor schelpdieren (bv. rode lijn in figuur 4). Alleen als eetbare algen werkelijk voordeel genieten van de doorlaten (door bv. betere doorstroming en meer nutriënten), leiden deze tot een verhoging van de draagkracht en daarmee de individuele groei van grazers.

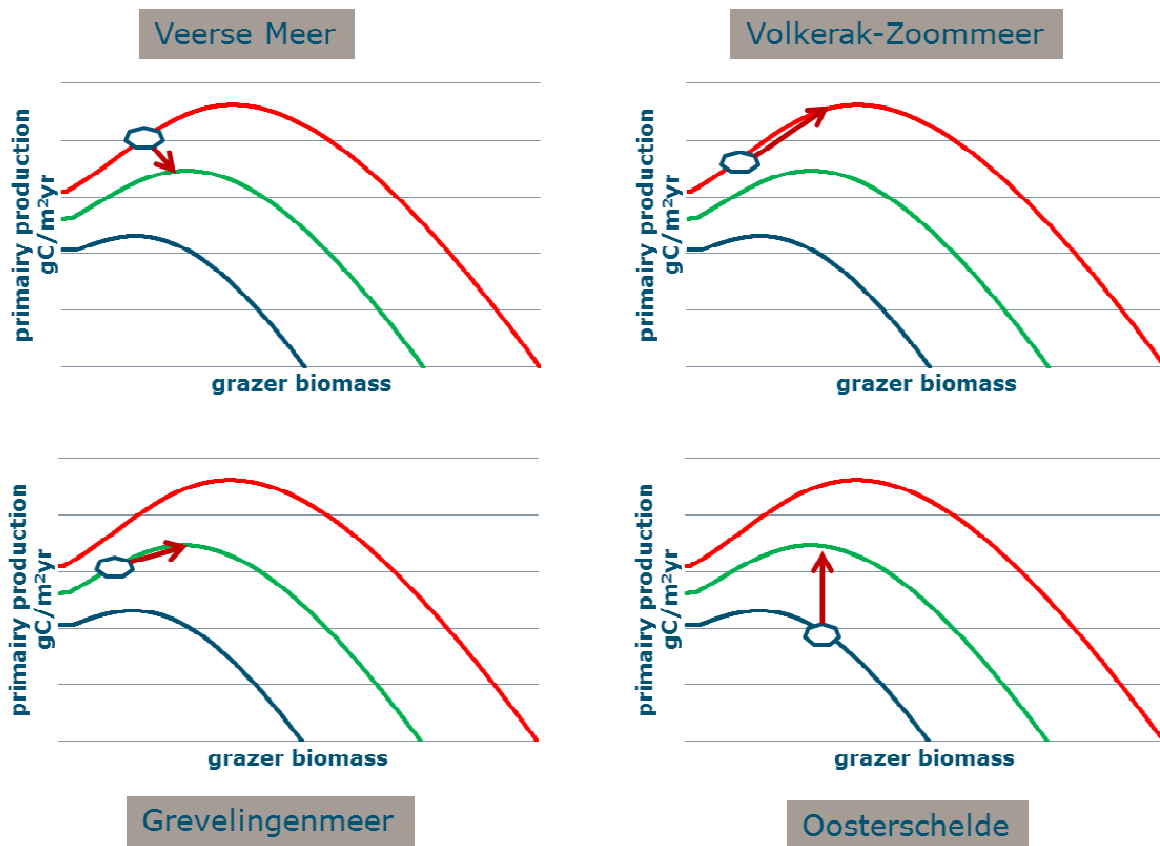
In de Monding en het Midden van de Oosterschelde is nutriëntenlimitatie van groter belang dan limitatie door grazers voor primaire productie omdat de doorstroming daar aanzienlijk hoger is dan in het oosten en noorden (Malkin e.a. 2010). Daarmee zal een verhoging van nutriëntenconcentraties meer invloed hebben op primaire productie. Echter, of de draagkracht voor schelpdieren in deze gebieden ook werkelijk profiteert van de nutriënten toestroom is volledig afhankelijk van of die toestroom werkelijk in die gebieden terechtkomt, en dit hangt weer af van de graasdruk in de Noordelijke Tak en de Kom.

4 Conclusies

Door het herstel van de verbindingen tussen de verschillende bekkens en de Noordzee wordt ten eerste de doorstroom van alle bekkens vergroot. Dit vermindert de kans op temperatuur-stratificatie in de zomer en daardoor zuurstof deficiëntie op de bodem. Het vergroot ook de doorvoer van nutriënten (Baptist e.a. 2007) en voedsel voor groei van algen en grazers. Hoewel in het Grevelingenmeer en VZM de nutriënten concentraties niet danig zullen veranderen door de maatregelen hier omschreven, zal de extra doorstroom wel voor een betere beschikbaarheid van nutriënten kunnen zorgen en zo groei van algen en grazers positief beïnvloeden. Zoals weergegeven in figuur 9 wordt daarom verwacht dat de maatregelen een positief effect hebben op de benutting van draagkracht in het Grevelingenmeer en het VZM door grazers. Omdat er meer voedsel en meer areaal beschikbaar zal zijn kan de biomassa grazers groeien. Ook plaatselijk in de Oosterschelde (nabij de doorlaten: Noordelijke Tak en de Kom) zal de toegenomen doorstroom een effect hebben op nutriëntenbeschikbaarheid. In de Oosterschelde is er daarnaast wel de verwachting dat nutriëntenconcentraties (plaatselijk) kunnen verhogen door het plaatsen van de doorlaten. Echter, daar waar grazer biomassa hoog is en draagkracht over-geëxploiteerd zal het voor schelpdieren minder geschikte fytoplankton (picoplankton) eerder kunnen profiteren van toegenomen nutriënten (beschikbaarheid). Er is dus een kans dat de maatregelen op de korte termijn niet leiden tot de toename van individuele groei in grazers, maar tot een toename in picofytoplankton bloei. Omdat picofytoplankton niet eetbaar is zal de toename in totale primaire productie niet leiden tot een groei van grazer (=schelpdier) biomassa (figuur 9). Deze conclusies nuanceren de aanname door het Delta Programma Zuidwestelijke Delta (Deltaprogramma 2012) dat de beschikbaarheid van nutriënten leidt tot een hogere draagkracht voor schelpdierproductie en ecologie. Met andere woorden de gestelde doelen van het Deltaprogramma 2012 om ecologie en economie ook in de Oosterschelde te stimuleren met o.a. de zoetwaterdoorlaat vanuit het VZM te vergroten lijken onhaalbaar zonder maatregelen die zich richten op het verminderen van de grazer biomassa.

De maatregelen zoals voorgesteld hebben de grootste impact op het Volkerak-Zoommeer, dat verandert van zoet naar zout. Dit betekent een sterke toename van draagkracht voor zoutwater-grazers en er zal een toename van biomassa plaatsvinden. Omdat het VZM een eutroof systeem blijft zal de optimale biomassa grazers hoog zijn. Er wordt daarom gedacht aan potenties voor mossel- en oestercultuur, zoals dat plaatsvindt in de Oosterschelde (Wijsman & Kleissen 2012). Het economische potentieel van deze extra ruimte voor schelpdierkweek kan in het Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta (Deltaprogramma 2012) gebruikt worden als argument om de verbindingen tussen bekkens te herstellen. Met mosselcultuur wordt over een bepaalde kweekduur een grote biomassa grazers toegevoegd aan het systeem en op gezette tijden geoogst. De dynamiek in biomassa die kweek veroorzaakt kan de toename van wilde grazers beïnvloeden. Zo is het mogelijk dat door kweek de opkomst van sommige wilde soorten worden vertraagd en bij overexploitatie ook worden tegengewerkt doordat kweekmosselen voedsel wegvangen voor wilde grazers. Anderzijds kunnen gekweekte soorten dienen als broedstock voor een wilde populatie.

Het in dit rapport gebruikte conceptuele model is net als elk model een versimpeling van de werkelijkheid. Zo stelt het dat primaire productie afhangt van lichtinval, nutriënten-beschikbaarheid, algendichtheid, diepte en nutriënten-teruglevering door begrazing (zie bijlage A). Ook stellen we door de toepassing van dit model op elk bekken van de Zuidwestelijke Delta dat elk van deze bekkens bij benadering goed gemengde waterkolommen hebben. Als er in werkelijkheid gebieden van aanzienlijke grootte binnen een bekken zijn die niet goed gemengd zijn of waarbij bv. het zoutgehalte bepalend is voor de primaire productie, kan het gebruikte conceptuele model de kwantitatieve en wellicht ook de kwalitatieve veranderingen in het bekken niet goed beschrijven of voorspellen.



Figuur 9: Samenvatting van bevindingen per bekken. Lijnen als in figuur 4. Cirkels stellen autonome situatie (na verzilting in VZM) voor, rode pijlen ontwikkeling van primaire productie en biomassa grazers.

5 Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 57846-2009-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2012. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Milieu over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 27 maart 2013 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

Referenties

- Baptist, M.J., De Mesel, I., Stuyt, L.C.P.M., Henkes, R., De Molenaar, H., Wijsman, J.W.M., Dankers, N., Kimmel, V.,** 2007. Herstel van estuariene dynamiek in de zuidwestelijke Delta. IMARES, C119/07, 172 p.
- Boderie, P., S. Groot, R. Hulsbergen, H. Los, E. Meijers,** 2007. Resultaten scenario-berekeningen met het 2D en 3D-blauwalgenmodel voor het Volkerak, Krammer en Zoommeer; Planstudie waterkwaliteit Volkerak-Zoommeer. Deltares rapport Q4015.
- Craeymeersch, J. en I. de Vries,** 2007. Waterkwaliteit en ecologie Veerse Meer: het tij is gekeerd. Eerste evaluatie van de veranderingen na de ingebruikname van de 'Katse Heule'. Rapport RIKZ/2007.008.
- Cranford P.J., R. Anderson, P. Archambault, T. Balch, S.S. Bates, G. Bugden, M.D. Callier, C. Carver, L.A. Comeau, B. Hargrave, W.G. Harrison, E. Horne, P.E. Kepkay, W.K.W. Li, A. Mallet, M. Ouellette en P. Strain,** 2006 Indicators and thresholds for use in assessing shellfish aquaculture impacts on fish habitat. *Canadian Science Advisory Secretariat Research Document 2006/034*, 116p
- Cranford, P., B. Hargrave, B., en W. Li,** 2009. No mussel is an island. ICES Insight 46: 44-48.
- Deltaprogramma,** 2012. Zuidwestelijke Delta 2013; Mogelijke strategieën. Versie 2.0, 16-04-2012.
- Herman, P.M.J. & H. Scholten,** 1990. Can suspension feeders stabilise estuarine ecosystems? In : M . Barnes & R.N. Gibson (eds), Trophic Relations in the Marine Environment, in the series : Proc. 24th Europ. Mar. Biol. Symp. Aberdeen University Press, Aberdeen : 104-116 .Geurts van Kessel, 2007.
- Hoeksema, H.J.,** 2002. Grevelingenmeer; van kwetsbaar naar weerbaar? Rapport RIKZ/2002.033.
- Malkin, S.Y., J.C. Kromkamp en P.M. Herman,** 2010. Primary production in the Oosterschelde: an analysis of historical data, size distribution and effect of grazing pressure. *NIOO-CEME rapport*
- Martini, E., and B. K. van Wesenbeeck.** 2012. Climate change effects on restoration of estuarine dynamics within the Delta region. Modelling effects of sea level rise and increased connectivity. Deltares rapport.
- Milieu Effect Rapportage waterkwaliteit Volkerak-Zoommeer** 2009. RWS.
- Poelman, M, J. Wijsman, T. Schellekens, A. Blanco, T. Troost, H. Karman,** in voorbereiding. IMARES/Deltares/LEI-Rapport.
- Prins, T.C., A.C. Smaal,** 1994. The role of the blue mussel *Mytilus edulis* in the cycling of the nutrients in the Oosterschelde estuary (The Netherlands), P.H. Nienhuis, A.C. Smaal (Eds.), The Oosterschelde estuary (The Netherlands): case study of a changing ecosystem, Hydrobiologia
- Schaub, B, D. van Oevelen, W. Sijm, M. Rietveld, P. Herman, H. Hummel,** 2002: Veranderingen in de Samenstelling van het Macrobenthos van het Grevelingenmeer (periode 1990-2000) en mogelijke Oorzaken. NIOO- Rapport nr. 2002-01.
- Smaal, A.C., M.R. van Stralen, E. Schuiling,** 2001. The interaction between shellfish culture and ecosystem processes. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 58, pp. 991-1002.
- Smaal, A.C., T. Schellekens, M.R. van Stralen, J. Kromkamp & P. Herman,** in voorbereiding. The carrying capacity of the Oosterschelde estuary (sw Delta, NL) for bivalve filter feeders.
- Turlings, L. en R. Nieuwkamer,** 2009. Verkenning Grevelingen water en getij, Witteveen + Bos.
- van de Haterd, R.J.W., W. Lengkeek, S. Bouma, M.T. Collombon,** 2010. Herinstructie getij in de Grevelingen en effecten op natuur in intergetijdengebieden. Rapport Bureau Waardenburg bv.
- Waterbase,**
http://www.rijkswaterstaat.nl/water/scheepvaartberichten_waterdata/historische_waterdata/waterbase/index.aspx
- Wetsteyn, L.P.M.J. & J.C. Kromkamp,** 1994 . Turbidity, nutrients and phytoplankton primary production in the Oosterschelde (The Netherlands) before, during and after a large-scale coastal engineering project (1980-1990) . Hydrobiologia 282/283 : 61-78.
- Wetsteijn, L.P.M.J.,** 2010. Actualisatie bekkenrapport Grevelingenmeer. Rapport RWS-Waterdienst. Concept.
- Wijsman, J.,** 2002. Stratificatie en zuurstofdeficiëntie in het Grevelingenmeer. Rapport RIKZ/AB/2002.819X.
- Wijsman, J., F. Kleissen,** 2012. Potenties van een zout Volkerak-Zoommeer voor mossel-en oester cultuur. IMARES rapport C180/11.

Verantwoording

Rapportnummer : C070/12
Projectnummer : 4308302004

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van IMARES.

Akkoord: Dr. J.W.M. Wijsman
Senior onderzoeker Delta

Handtekening: 

Datum: 26 juni 2012

Akkoord: B.D. Dauwe
Afdelingshoofd Delta

Handtekening: 

Datum: 26 juni 2012

6 Bijlagen

6.1 Bijlage A: Conceptueel model

In het conceptuele model gebruikt om de figuren 4 en 9 te maken is verondersteld dat primaire productie (p , $g C/dag$) afhangt van de diepte van de waterkolom (z , $meter$), de lichtuitdoving (a , m^{-1}) van inkomend licht (I_{in} , $J/m^2 dag$), een half-waarde constante voor lichtuitdoving H ($J/m^2 dag$), en het maximum productieniveau van algen (p_{act} , $g C/dag$) (Huisman & Weissing, 1994). In dit model is verder verondersteld dat p_{act} een functie is van de maximale productie p_{max} en de terug levering van nutriënten door begrazing door grazers ($d * G$). In figuur 4 is verondersteld dat de nutriëntenbeschikbaarheid p_{max} beïnvloedt, zodanig dat bij hoge nutriëntenbeschikbaarheid het maximum productieniveau ook hoog is. De algenbiomassa A ($g C/m^2$) wordt bepaald door de primaire productie p , onderhoudskosten T ($/dag$), en begrazing door biomassa grazers G ($g C/m^2$) met een bepaalde begrazingssnelheid d ($/dag$). De algenbiomassa vermenigvuldigt met K ($m^2/g C$), de lichtuitdovingsconstante voor algen, bepaald samen met de totale lichtuitdoving van water (K_b , -) de lichtuitdoving a (Huisman & Weissing, 1994).

$$\frac{dA}{dt} = (p - T - d * G) * A$$

met

$$p = \frac{p_{act}}{a * z} * \ln \frac{H + I_{in}}{H + I_{in} * e^{(-a * z)}}$$

$$p_{act} = p_{max} * \left(1 + \frac{d * G}{H_g + d * G}\right)$$

en

$$a = K * A + K_b$$

In figuur 4 is vervolgens $p * A$ uitgezet tegen G met lineair toenemende p_{max} .

Referentie

Huisman, J. & F. Weissing, 1994. Light-limited growth and competition for light in well-mixed aquatic environments; an elementary model. Ecology Vol. 75, nr 2.