

Fosfaataddities om de visproductie te verhogen?

Effecten van fosfatering, mogelijkheden voor onderzoek en kosten-batenanalyse

H.J. Lindeboom¹, A.G. Brinkman¹, H. van Oostenbrugge²,
A.D. Rijnsdorp¹, P. Ruardij³

Rapport C036/07



¹ Wageningen IMARES

² LEI

³ Koninklijk NIOZ

Institute for Marine Resources and Ecosystem Studies

Wageningen **IMARES**

Opdrachtgever: Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
Directie Visserij
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

- Wageningen **IMARES** levert kennis die nodig is voor het duurzaam beschermen, oogsten en ruimte gebruik van zee- en zilte kustgebieden (Marine Living Resource Management).
- Wageningen **IMARES** is daarin de kennispartner voor overheden, bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties voor wie marine living resources van belang zijn.
- Wageningen **IMARES** doet daarvoor strategisch en toegepast ecologisch onderzoek in perspectief van ecologische en economische ontwikkelingen.

Wageningen IMARES is een samenwerkingsverband tussen Wageningen UR en TNO. Wij zijn geregistreerd in het Handelsregister Amsterdam nr. 34135929, BTW nr. NL 811383696B04.



De Directie van Wageningen IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen IMARES; opdrachtgever vrijwaart Wageningen 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 van dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

Inhoudsopgave

	pag.
Kennisvraag	1
Aanpak	1
Samenvatting van het antwoord	1
Inleiding	3
1. Productiviteit van zee-ecosystemen	5
2. Visproductie in zee	7
3. Effecten van eutrofiëring in zee	9
4. Noorse proeven met fosfaataddities	11
5. Fosfaattrends in het verleden	13
6. Algen	15
7. Schelpdieren.....	17
8. Vissen	19
8.1 Jaarklassterkte	19
8.2 Groeisnelheid	19
8.3 Conclusie schol en tong	20
9. Verkenning van vier toevoegingsscenario's	21
9.1 Model-uitkomsten over relatie tussen zoöplanktonproductie in het Nederlandse kustgebied en de fosfaat-input vanuit de Rijn	21
9.1.1 Model.....	21
9.1.2 Simulaties	22
9.1.3 Resultaten	23
9.2 Mogelijke fosfaataddities in de Waddenzee bij Den Oever en Kornwerderzand	24
9.3 Fosfaatlozing vanuit waterzuivering Houtrust, waterschap Delfland	25

10.	Kosten van fosfaatpilots om de productiviteit in de kustzone te verhogen	27
10.1	Inleiding	27
10.2	Fosfaatbronnen	27
10.2.1	TripleSuperfosfaat ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$).....	27
10.2.2	Fosforzuur (H_3PO_4).....	28
10.2.3	Mengsel van kaliumorthofosfaten (KH_2PO_4 , K_2HPO_4 , K_3PO_4)	28
10.2.4	Gebruik van struviet.....	28
10.3	Uitvoering pilots	29
10.3.1	Spuisluizen Afsluitdijk.....	29
10.3.1.1	Beschrijving situatie	29
10.3.1.2	Kosten fosfaatverrijking	29
10.3.2	Scheveningen (AWZI Houtrust en Harnaschpolder)	31
10.3.2.1	Beschrijving Situatie	31
10.3.2.2	Kosten fosfaatverrijking	32
10.3.3	Nieuwe waterweg.....	33
10.3.3.1	Beschrijving Situatie	33
10.3.3.2	Kosten fosfaatverrijking	33
10.4	Discussie	33
11.	Mogelijke effecten van fosfaattoevoegingen.	35
12.	Fosfaatvoorraad is eindig.....	37
13.	Literatuur.....	39
	Bijlage I. Technische toelichting op Waddenzeemodel	43
	Bijlage 2. Berekeningen met het Noordzeemodel	49
	Bijlage 3. Voorgesteld NWO Pilot Project voor Nationaal onderzoeksprogramma Zee- en kustonderzoek .	61
	Verantwoording	63

Kennisvraag

De minister heeft toegezegd aan de Tweede Kamer om de hypothese dat fosfaat toevoegen aan de zee gunstig is voor de productiviteit van het zee-ecosysteem te laten onderzoeken. Het gaat specifiek om de relatie tussen nutriënten (m.n. fosfaat) en visproductie, en de vraag welke mogelijkheden er zijn, of niet zijn, om deze relatie experimenteel in het veld te onderzoeken.

Aanpak

In een korte studie is het volgende uitgezocht: (i) de huidige wetenschappelijke inzichten over de factoren die de productiviteit van het zee-ecosysteem bepalen, (ii) de trend in fosfaatconcentraties in het verleden, (iii) de mogelijke effecten van verhoogde fosfaatconcentraties op algen, schelpdieren en vissen, (iv) de uitkomsten van proeven met fosfaattoevoegingen, (v) modelberekeningen aan fosfaataddities in Noordzee en Waddenzee, (vi) fosfaatlozing vanuit waterzuiveringsinstallaties, (vii) kosten indicatie van fosfaatproeven, (viii) indicatie eindige wereldvoorraad fosfaat.

Samenvatting van het antwoord

Er is geen wetenschappelijke basis voor het bemesten van de Noordzee ten behoeve van een verhoging van de productie van schol en tong. Het effect van een fosfaatbemesting op de platvisproductie is onvoorspelbaar en kan mogelijk tot negatieve effecten leiden in de vorm van zuurstofloosheid en het optreden van plaagalgen. Tevens lijkt fosfaatbemesting van de Noordzee strijdig met de Kaderrichtlijn Water die noodzaakt tot een verdere verlaging van de nutriënten. Het op het juiste moment en op de juiste plaats toevoegen van fosfaat kan mogelijk wel leiden tot een verhoging van de productie van schelpdieren.

Een beperkte praktijkproef, gekoppeld aan laboratorium- en modelstudies kan over de effecten en kosten hiervan meer uitsluitsel geven. Een omvangrijker experiment met lokaal toevoegen van fosfaat in het kustgebied kan inzicht geven in de processen en hiermee kunnen de effecten ervan in de voedselketen onderzocht worden. Middels modelstudies zijn de effecten van fosfaataddities in 3 mogelijke scenario's doorgerekend. Na vaststellen van de benodigde hoeveelheden fosfaat en de daaruit afgeleide mogelijk visopbrengst is hiervan een globale kostenanalyse gemaakt. Dit heeft geleid tot de volgende uitkomsten:

Scenario: toevoeging P bij Hoek van Holland

Om de zooplankton biomassa in het Nederlandse kustgebied (12.800 km²) met 10 % te verhogen dient circa 2900 ton P (per 180 dagen februari-augustus) bij Hoek van Holland te worden toegevoegd. Afhankelijk van de vorm van fosfaat bedragen de kosten daarvan tussen de € 5 en € 17 miljoen, waarbij de goedkope oplossing, het toevoegen van fosforzuur tot ernstige pH-problemen kan leiden, toevoegen van het pH-neutrale kalifosfaat leidt tot het duurdere scenario.

Uitgaande van de aanwezige visbiomassa wordt verwacht dat deze toevoeging ruim 1000 ton extra vis op zou kunnen leveren. In geld uitgedrukt (uitgaande van de vangsten in het kustgebied in 2005) zou dit circa € 3,5 miljoen extra op kunnen leveren.

Scenario: toevoeging P in de Waddenzee

Om de bodemdierbiomassa in de westelijke Waddenzee met 10 % te verhogen dient 174 ton P in de maanden april t/m juli te worden toegevoegd. Er van uitgaande dat een onevenredig grote pH-verandering in de Waddenzee niet toelaatbaar is (wegens mogelijke effecten in een VHR gebied) dient dit fosfaat in de vorm van kalifosfaat te worden toegevoegd. De kosten hiervan bedragen ongeveer € 2 miljoen. De extra mogelijke opbrengst aan schelpdieren bedraagt dan 2000-6000 ton versgewicht. Er moet echter wel eerst een goede broedval komen anders zijn er geen dieren om deze groei te bewerkstelligen.

Scenario: uitzetten P-trap Delfland

Door het uitzetten van de P verwijderende trap kan er circa 1,5 ton P per dag extra naar de kustzone stromen. Als dit 105 dagen (april-juli) wordt volgehouden zou dit kunnen leiden tot een extra visproductie van circa 100 ton (alle soorten totaal). De kosten hiervoor zijn niet groot, maar mogelijk moet er dan ter compensatie in andere jaargetijden meer P verwijderd worden wat wel kosten met zich mee brengt. Een andere optie is het toevoegen van de in het Hoek van Holland scenario genoemde hoeveelheden P. Afhankelijk van de vorm van toevoeging bedragen de kosten daarvan € 4 tot € 17 miljoen. De extra visopbrengst bedraagt dan circa 1000 ton.

Het toevoegen van fosfaat kan ook tot problemen leiden in de kustzone. Zo kunnen toxische algenbloeien ontstaan, of organismen gaan groeien die men liever niet in het mariene milieu heeft, zoals kwallen. Het optreden van ongewenste algenbloeien kan leiden tot nadelige effecten, of tot lokale zuurstofloosheid waardoor bodemorganismen dood kunnen gaan. Extra schuim op het strand of giftige algen in het toeristische hoogseizoen zou tot grote schadeclaims kunnen leiden. Daarnaast is de wereldvoorraad fosfaat eindig, en zal de huidige bekende voorraad over 50 tot 100 jaar uitgeput zijn. Het toevoegen van fosfaat aan zee waarbij het grootste deel in de oceaan verdwijnt draagt niet bij aan een duurzaam gebruik van deze schaarse bron.

De opbrengst van de zee is ook niet alleen afhankelijk van de fosfaataanvoer: de hoge visserijdruk op het gehele bodemsysteem, klimaatverandering en het optreden van regime shifts dragen alle bij aan de optredende ontwikkelingen. Om hierover meer kennis op te doen verdient het aanbeveling integraal onderzoek te doen naar alle aspecten die de productiviteit van onze kustzone nu en in de toekomst beïnvloeden. Het streven is een optimale productie in een duurzaam en gezond ecosysteem. Dergelijk onderzoek zou kunnen plaatsvinden in het door NWO voorgestelde Nationaal Onderzoeksprogramma Zee- en Kustonderzoek (Bijlage 3).

Inleiding

Door de intensivering van de land- en tuinbouw en het gebruik van fosfaten in wasmiddelen is de nutriëntbelasting van het binnenwater na de 2^e wereldoorlog sterk toegenomen. Dit leidde tot problemen met de waterkwaliteit door de excessieve algengroei en het optreden van zuurstofloosheid. Verscheidene milieumaatregelen hebben ertoe geleid dat sinds de tachtiger jaren de nutriëntbelasting van het binnenwater, in het bijzonder die van fosfaat, sterk is afgenomen en de waterkwaliteit sterk is verbeterd.

De nutriëntbelasting bleef niet beperkt tot het binnenwater maar leidde ook in het kustwater tot een verhoging van de nutriëntgehalten. In de afgelopen decennia is er veel onderzoek gedaan naar de effecten van de verhoogde nutriëntgehalten op het zee-ecosysteem. De nadruk in dit onderzoek lag op de mogelijke negatieve effecten zoals een toename van plaagalg en het optreden van zuurstofloosheid (Gerlach, 1990; Hickel et al. 1993; Daskalov 2003; Kemp et al. 2005). Verder is er aandacht geweest voor de mogelijke effecten van eutrofiering op de productie van vis (Lee & Jones 1991; Boddeke & Hagel 1991, 1995; Nielsen & Richardsen 1996; Caddy 2000; Nixon & Buckley 2002; Carlberg 2005).

Er is nog maar weinig aandacht geweest voor de mogelijke negatieve effecten van een verminderde nutriëntbelasting van aquatische ecosystemen op de productiviteit van visbestanden (Boddeke & Hagel 1995). Een duidelijke uitzondering hierop vormt Boddeke die op de jaarvergadering van de ICES en tijdens het "World Fisheries Congress" aandacht vroeg voor dit onderwerp (Boddeke & Hagel 1991, 1995). Sindsdien is hij een vurig pleitbezorger voor fosfaatbemesting om de teruglopende visproductie te verhogen, alhoewel hij in 1971 op de kwalijke gevolgen van overmatig fosfaat op algengroei en zuurstofgehalten in het zoete water wees (Boddeke, 1971), effecten die zich ook op zee kunnen voordoen. In Nederland heeft deze stelling, die sinds 1991 verschillende malen in de publiciteit is gekomen, geresulteerd in kamervragen en uiteindelijk tot deze bureaustudie.

1. Productiviteit van zee-ecosystemen

Aan de basis van de productiviteit van het zee-ecosysteem staat de productie van algen (primaire productie). De primaire productie wordt bepaald door de beschikbaarheid van CO₂, nutriënten (N - stikstof, P - fosfor, Si - silicium, sporenelementen) en licht. In de winter is in het algemeen licht de beperkende factor. Als in het voorjaar de daglengte toeneemt en er voldoende nutriënten aanwezig zijn neemt de primaire productie snel toe. Aan deze planktonbloei komt een einde wanneer één of meerdere nutriënten uitgeput raken. In de zomerperiode wordt de planktonproductie beperkt door een tekort aan nutriënten. In de open zee is stikstof vaak de beperkende factor, terwijl in het kustgebied fosfaatbeperking een rol speelt. In gebieden waar een continue aanvoer van nutriënten is zoals bv in opwellinggebieden en estuaria kan de productie beperkt worden door de mate waarin licht doordringt in de waterkolom als gevolg van grote hoeveelheden zwevende stof in het water (plankton en/of slib). Verschillen in productiviteit zijn toe te schrijven aan verschillen in beschikbaarheid van nutriënten, in de verhouding waarin de nutriënten beschikbaar zijn en in de troebelheid van het water.

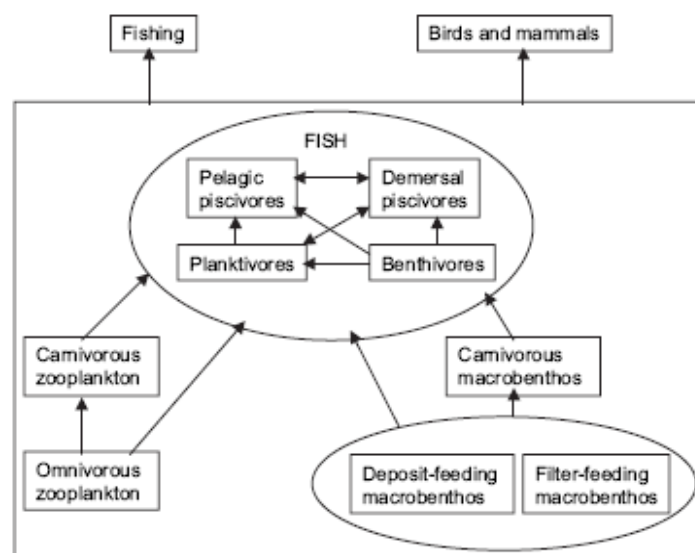
Box 1. Het voedselweb

De primaire productie wordt in de voedselketen doorgegeven in een aantal stappen (*trofische niveaus*). In de 1^e stap zetten de *primaire consumenten* de algenproductie om in zooplankton en filtrerende bodemdieren. Het zooplankton vormt het voedsel voor pelagische vissoorten zoals haring, maar ook voor de larvale stadia van veel andere soorten (*secundaire consumenten*). De secundaire consumenten vormen weer het voedsel voor roofvijanden (*tertiaire consumenten* zoals kabeljauw). Aan de top van het voedselweb staan top-predatoren zoals de zeehond. Naast de bovengenoemde korte voedselketen bestaat er een tweede langere voedselketen (microbiële voedselketen) waarin bacteriën een centrale rol spelen. In de microbiële voedselketen doorloopt de primaire productie een groter aantal stappen voordat het uiteindelijk beschikbaar komt als voedsel voor vis. Omdat bij iedere stap in de voedselketen een aanzienlijk deel van de biomassa verloren gaat zijn ecosystemen die worden gekenmerkt door een korte voedselketen productiever dan systemen met langere ketens. Bovenstaande schets is een sterke simplificatie van de werkelijkheid omdat de soorten hun voedsel uit meerdere trofische niveaus betrekken.

2. Visproductie in zee

Er blijkt een duidelijk positief verband te bestaan tussen de jaarlijkse visvangst en de productie van algen (primaire productie) in een zeegebied (Iverson 1990; Nielsen & Richardson 1996). De primaire productie in open oceaan gebieden bedraagt ongeveer 30 gram koolstof per m² per jaar terwijl deze in opwellingsgebieden en de kustgebieden en estuaria waarden van 400 gram koolstof per m² per jaar kan bereiken. De visvangst in de oceaan ligt rond de 0,01 - 0,2 g koolstof per m² per jaar in de open oceaan en 0,2 - 4 g koolstof per m² per jaar in de opwellingsgebieden en estuaria. In de Noordzeekustzone bedroeg de primaire productie de afgelopen jaren circa 180 gram koolstof per m² per jaar (NIOZ modelberekening) terwijl de visopbrengst circa 0,12 gram koolstof per m² per jaar bedraagt (data Wageningen IMARES voor opbrengst Nederlandse vloot in 2005).

Een wereldwijde vergelijking van de verhouding tussen de primaire productie en de visproductie maakt duidelijk dat in de productieve gebieden een groot deel van de primaire productie nodig is om de visproductie te onderhouden. Volgens berekeningen van Pauly & Christensen (1995) is in deze gebieden meer dan 20% van de primaire productie nodig voor het onderhouden van de visvangst, in vergelijking met circa 2% in open oceaan gebieden, hetgeen naar hun mening de huidige zorg over duurzaamheid en biodiversiteit rechtvaardigt.



Figuur 1. Het voedselweb in de Noordzee met van beneden naar boven de trofische niveaus en links de pelagische voedselketen en rechts de benthische voedselketen. De primaire consumenten (omnivoros zooplankton, deposit-feeding macrobenthos en filter-feeding macrobenthos) maken gebruik van de primaire productie (uit Heath, 2005a).

De positieve relatie tussen visproductie en primaire productie betekent echter niet dat een verhoging of verlaging van de algenproductie automatisch tot een evenredige verandering in de visproductie zal leiden. De productiviteit hangt immers af van de efficiëntie waarmee primaire productie in de voedselketen omhoog wordt getransporteerd. Daarnaast hebben ook andere factoren, zoals visserij en klimaat, invloed op de productiviteit van de visbestanden. Ook is vis niet de enige secundaire of tertiaire producent, een heel scala aan andere organismen (kwallen, krabben, anemonen, zeesterren, etc.) kan profiteren van een stijgende primaire productie. De productie van een visbestand wordt bepaald door haar netto groei (gewichtstoename van de aanwezige vis min verlies door sterfte) en de jaarlijkse aanwas aan jonge vis (rekrutering). Omdat de netto groei van jonge vis

groter is dan van oudere vis bereikt de opbrengst in de visserij een maximum bij een matige visserijdruk (MSY - maximum sustainable yield). Een toename van de visserijdruk zal dus eerst leiden tot een verhoging van de vangst van een soort. Een verdere verhoging zal uiteindelijk resulteren in een afname van de productiviteit van een bestand omdat enerzijds het groeipotentieel niet volledig wordt benut en anderzijds de jaarlijkse aanwas van jonge vis kan worden aangetast. Veranderingen in de productiviteit kunnen ook worden veroorzaakt door een verschuiving in de onderlinge verhouding tussen vissoorten. Zo kan het wegvissen van roofvissen resulteren in een toename van de prooivissen. In de Noordzee is aangetoond dat de visserij de biomassa van de roofvissen heeft gedecimeerd waardoor de kleinere vis(soorten) zijn toegenomen (Daan et al. 2005). Ook de recente toename van Noorse kreeftjes (*Nephrops*) kan een gevolg zijn van de afname van kabeljauw. Het is nog altijd onduidelijk in welke mate de reductie van de haringstand in de zeventiger jaren een rol heeft gespeeld bij de toename van een aantal bodemvisbestanden ('gadoid outburst'). Een door de visserij veroorzaakte verschuiving in de soortsamenvatting van de visgemeenschap kan resulteren in een toename van de visproductie doordat de oogst voornamelijk bestaat uit organismen van een lager trofisch niveau. Dit verschijnsel is in verschillende zeegebieden waargenomen en bekend geworden als 'fishing down marine food webs' (Pauly et al. 1998). Visserij kan echter ook resulteren in een omslag in het ecosysteem (regime shift) waarna zelfs een vermindering van de visserijdruk niet per se leidt tot een herstel van de visbestanden. Zo heeft de kabeljauw bij Newfoundland zich niet hersteld ondanks een sluiting van de visserij sinds het begin van de jaren negentig. In Hempel (1978) wordt al de mogelijkheid beschreven van een verschuiving van een door pelagische (vrij in het water levende) organismen gedomineerd voedselweb naar een door bentische (op de bodem levende) organismen gedomineerd voedselweb. Hempel wees hierbij op het gelijktijdig afnemen van haring en het toenemen van op of nabij de bodem foeragerende soorten in de zeventiger jaren. Mogelijk dat we het afgelopen decennium het omgekeerde hebben gezien, een toename van pelagische soorten en afname van bentische soorten. Of hier ook een relatie zou kunnen zijn met de recent langs de Nederlandse kust waargenomen sterke toename van op pelagische vissen foeragerende vogels en zeezoogdieren is onduidelijk en verdient nader onderzoek. Lindeboom (2002) heeft de hypothese gelanceerd dat een deel van de oorsprong van dit soort shifts te maken kan hebben met invloed van klimaatverschuivingen op de nutriëntencycli. Met name in de stikstofcyclus zit een switch waarbij het al dan niet verwijderen van nitraat via denitrificatie kan leiden tot het extra 'weglekken' van nutriënten uit het systeem, hetgeen uiteindelijk tot lagere biomassa's zou kunnen leiden. En ook in de fosfaatcyclus zit een (anaerobe) terugkoppeling waarbij extra uit de bodem komend fosfaat versterkend kan werken op de uiteindelijke effecten van fosfaattoevoegingen. Of, wanneer en waar deze processen zich in de open Noordzee precies voordoen is onbekend, maar de hydrografie van de Duitse Bocht (Gerlach 1990) maken dit een gebied waar dit soort processen verwacht kan worden

Visproductie wordt verder beïnvloed door de veranderingen in het oceaanklimaat. Een bekend voorbeeld is de veranderingen in de productiviteit van haringachtigen in opwellingsgebieden die samenhangen met de grootschalige omslag in de waterstromen zoals bijvoorbeeld langs de Zuid-Amerikaanse kust (El Niño, ENSO). In het Noord-Atlantische gebied treden langjarige veranderingen in luchtdrukverdeling op (Noord-Atlantische Oscillatie, NAO: Hurrell & Dickson 2004) die een grote invloed hebben op het functioneren van het ecosysteem. Een positieve NAO-index, zoals waargenomen in de jaren negentig, wordt gekenmerkt door een overheersing van westelijke winden, een hogere stormfrequentie, hogere temperaturen en een verandering in het neerslagpatroon. Alhoewel er inmiddels een veelheid aan studies is verschenen waarin statistische verbanden worden gelegd tussen biologische tijdreeksen en de NAO-index is er nog weinig inzicht in de mechanismen die daaraan ten grondslag liggen. Wel is een verschuiving in het zooplankton gerapporteerd (Beaugrand 2004), die mogelijk medeverantwoordelijk is voor de afname in het voortplantingssucces van kabeljauw (Beaugrand et al. 2003). Lindeboom (2002) en Weijerman et al. (2005) wijzen op het optreden van regime shifts, plotselinge grootschalige verschuivingen in het mariene ecosysteem, die zich in 1979 en 1988, en mogelijk in 1998 hebben voorgedaan. Er zijn aanwijzingen dat dit soort shifts door klimaatverschuivingen geïnitieerd kunnen worden, maar ook andere oorzaken, inclusief door de mens geïnduceerde, zijn niet uit te sluiten.

3. Effecten van eutrofiëring in zee

De verrijking van de zee met nutriënten leidt tot verschillende effecten. In verschillende kustgebieden is een toename van de algengroei gerapporteerd die na het afsterven ervan resulteerde in een afname van de zuurstofconcentraties en zelfs tot zuurstofloosheid (Micheli 1999; Diaz, 2001; Daskolov 2003; Eby et al. 2005; Kemp et al. 2005) en een verhoogde sterfte van bodemdieren (Gray et al. 2002). Voor mobiele organismen zoals vis, betekende een verlaging van de zuurstofconcentraties een vertrek naar elders (Pihl et al. 1991; Petersen & Pihl, 1995). In de Oostzee heeft de eutrofiëring geresulteerd in een uitbreiding van de gebieden waarin zuurstofloosheid optreedt (Karlson et al. 2002) en een verslechtering van het leefgebied door de excessieve groei van draadvormige algen in ondiepe baaien (Phil et al. 1999, 2005). Een ander negatief effect heeft betrekking op de toename van plaagalgen. Zo is in de Noordzee de frequentie en duur van de bloei van *Phaeocystis* toegenomen als gevolg van de eutrofiëring (Veldhuis 1987). Ook de toenemende problemen met toxische algen zijn toegeschreven aan eutrofiëring, alhoewel ook hier andere factoren een rol kunnen spelen (Burkholder 1998). De toename van de zuurstofarme (-loze) gebieden in de Oostzee heeft geleid tot een afname van de productie van jonge kabeljauw doordat het geschikte paaigebied in omvang kleiner werd, terwijl de productie van pelagische vis (haring en sprot) toenam als gevolg van de verbeterde voedselomstandigheden voor deze zoöplanktoneters en de verbeterde overleving als gevolg van de afname van de stand van hun grootste roofvijand, de kabeljauw (MacKenzie et al. 2000; Köster et al. 2003).

De studies naar het effect van eutrofiëring op de visproductie leveren geen eenduidig antwoord op de vraag of de visproductie positief wordt beïnvloed door de kunstmatige toevoer van nutriënten. Nielsen & Richardson (1996) toonden aan dat de door de eutrofiëring verhoogde primaire productie samenviel met een toename van de vangst, maar konden geen causaal verband vaststellen. Aan het eind van hun artikel waarschuwen zij er voor dat hun conclusie niet gebruikt kan worden als rechtvaardiging voor het opzettelijk proberen te verhogen van visproductie middels eutrofiëring. In Chesapeake Bay werd echter geen toename van de visproductie waargenomen (Kemp et al. 2005). In de Oostzee bleek de productie van pelagische vis positief te worden beïnvloed door de eutrofiëring, terwijl de productie van kabeljauw negatief werd beïnvloed. In de Zwarte Zee hebben zich grote veranderingen in de productiviteit van het ecosysteem voorgedaan die een gevolg zijn van de combinatie van eutrofiëring en de hoge visserijdruk. Na een stijging in de productiviteit ten gevolge van een combinatie van factoren (gunstig klimaat, eutrofiëring, wegvissen van roofvis) vond er in de jaren zeventig en tachtig een explosie van kwallen plaats die een groot negatief effect hadden op het zoöplankton waaronder de overleving van vislarven (Daskalov 2002, 2003).

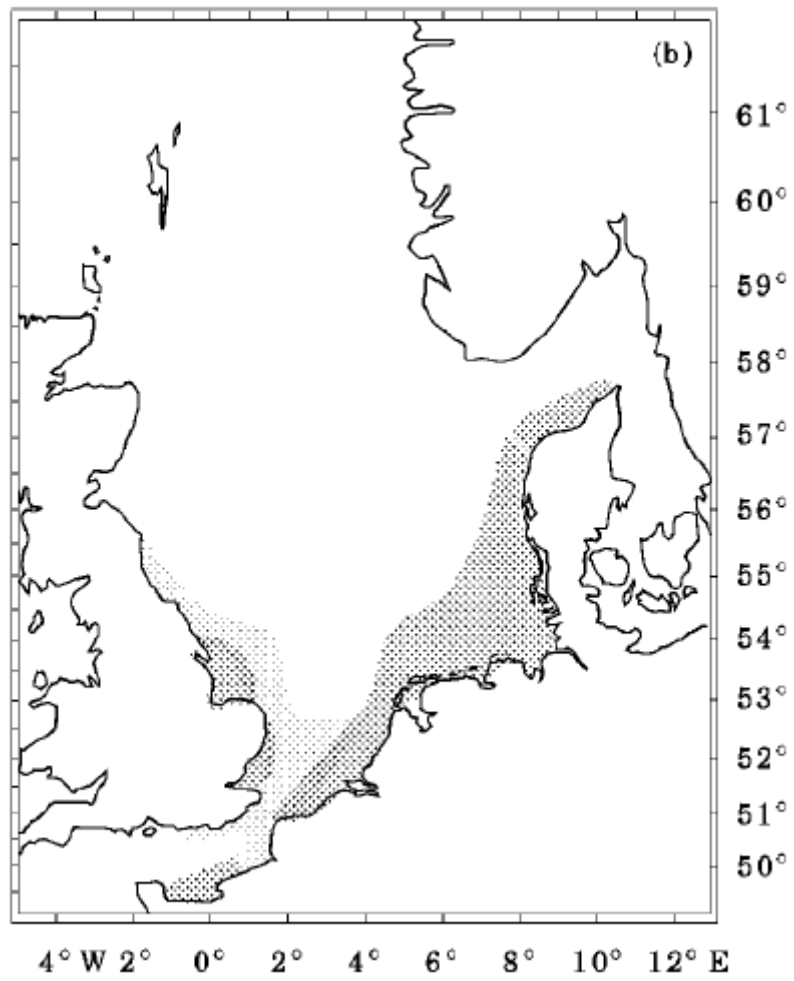
4. Noorse proeven met fosfaataddities

In Noorwegen zijn in het MARICULT-project uitgebreide proeven met nutriëntverrijking in gesloten en semi-open systemen in Noorse kustwateren uitgevoerd (voor details zie Olsen et al. 2001 en Olsen 2002). De belangrijkste resultaten hiervan zijn als volgt. Er werd een positief verband gevonden tussen de aanvoersnelheid van nutriënten en de primaire productie van phytoplankton en ook tussen de nutriëntaanvoer en de secundaire productie, inclusief visproductie op regionaal niveau. Het effect op individuele diersoorten blijkt echter veel minder voorspelbaar, speciaal als dit soorten uit de hogere trofische niveaus betreft. Dit komt onder andere door de activiteit en reactie van ongewervelde predatoren die interacteren met componenten uit het lagere voedselweb. In ander woorden, of addities leiden tot hogere kwalproducties dan wel tot hogere visproducties is volstrekt onvoorspelbaar. De auteurs wijzen er in dat verband op dat het bij het oogsten van de meeste vissoorten, en dat geldt ook voor schol en tong, gaat om 'carnivoren-etende' carnivoren, in een vergelijking met het terrestrische voedselweb ook wel superleeuwen (Pauly) of wolf-etende wolven (Olsen 2002) genoemd. Het mariene voedselweb is veel langer dan het voedselweb op land en de reactie van deze veel hogere trofische niveaus op nutriënttoevoegingen blijft uiterst variabel en onvoorspelbaar. Wat de ene keer wel resultaten geeft hoeft dat een volgende keer absoluut niet te doen. Ook is onderzocht wat het effect is van gedurende langere tijd toevoegen van nutriënten. In de eerste paar weken reageren algenbiomassa en productie vrijwel lineair, maar vervolgens neemt de reactie af en de respons neemt naar alle waarschijnlijkheid niet lineair toe met toenemende belasting. Alles wijst er op dat een biologische verandering in de voedselwebstructuur optreedt die bufferend werkt tegen de negatieve en positieve effecten van verhoogde nutriëntenlozingen.

Negatieve ecologische effecten treden op als de primaire producenten niet efficiënt worden begraaasd door zooplankton of bodemdieren. Boven een bepaalde nutriëntentoevoer raakt het voedselweb verstoord, hetgeen wijst op het bestaan van een kritisch niveau. De hoogte hiervan verschilt per locatie en is in meer gesloten gebieden lager dan in open kustsystemen.

Uit de uitkomsten van MARICULT en uitgebreid literatuuronderzoek komen de onderzoekers tot de volgende conclusies ten aanzien van de mogelijkheden om middels nutriëntenaddities de oogstbare productie van een marien gebied te verhogen:

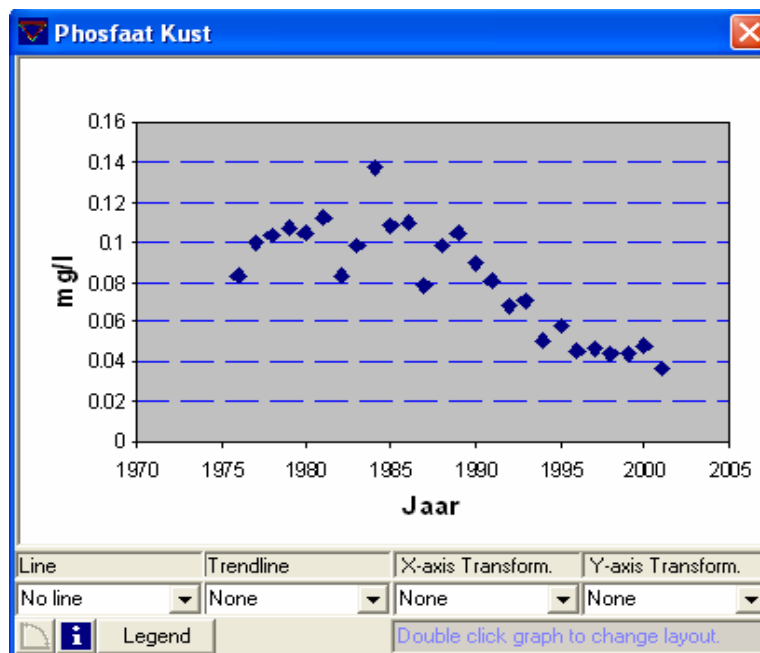
- Nutriëntenaddities leiden tot hogere algenproductie en hogere productie van algeneters. Als deze soorten oogstbaar zijn, of gemaakt kunnen worden, valt het door middel van nutriëntentoevoegingen verhogen van hun oogstbare biomassa te overwegen. Hierbij gaat het om zooplankton of filtrerende schelpdieren zoals mosselen.
- Het effect van nutriëntentoevoegingen op soorten die hoger in de voedselketen staan (secundaire en tertiaire consumenten) is onvoorspelbaar. Daarnaast zal het rendement van een fosfaattoevoeging altijd lager worden naarmate de doelsoort hoger in de voedselketen staat.



Figuur 2. Gebied dat direct beïnvloed wordt door de eutrofiëring vanaf het land (uit Rijnsdorp en van Leeuwen, 1996 naar Zevenboom, 1993).

5. Fosfaattrends in het verleden

Het effect van de eutrofiëring speelt met name in de kustzone die direct onder invloed staat van de instroom van nutriënten vanaf het land (Figuur 2). Op open zee speelt eutrofiëring een minder grote rol. Tussen 1950 en 1980 is de fosfaatafvoer van de Rijn met een factor 10 gestegen. Van Raaphorst & De Jonge (2004) becijferden dat de vracht van totaal fosfor (TP) bij Lobith toenam van minder dan 5 mol/sec voor de jaren vijftig tot 55 mol/sec rond 1980 (Figuur 3 in van Raaphorst & de Jonge, 2004). Na deze piek daalde TP tot ongeveer 15 mol/sec. De afname van de belasting na 1980 met 40 mol/sec komt overeen met een jaarlijkse afname van 40.000 ton P! De toevoer van TP vanuit het IJsselmeer naar de westelijke Waddenzee nam na de piek van 5 mol/sec af tot ongeveer 1 mol/sec (Figuur 6 in Van Raaphorst & De Jonge 2004), corresponderend met een afname van 3900 ton P. De toevoer van N en P naar de Waddenzee vertoont een duidelijk verband met de nutriëntenbelasting via de Rijn (Van Raaphorst & De Jonge 2004). De afname in de Rijn en het IJsselmeer zien we dan ook duidelijk terug in de fosfaatgehalten in het kustwater in de winter (Figuur 3).



Figuur 3. Wintergehalten van fosfaat in het Nederlandse kustgebied (uit EMIGMA, bron: maandelijkse monitoringprogramma Rijkswaterstaat)

Bovenstaande stijging en daling zijn alleen in de kustzone tot circa 20 km uit de kust waargenomen. In de centrale Noordzee doet deze daling zich niet voor en is het laatste decennium zelfs sprake van een lichte stijging (data RWS). De Noordzee is vanouds een rijke zee omdat nutriëntrijk water vanaf de Oceaan via de Noordelijke ingang en het Kanaal de Noordzee in komt. Circa 90% van het fosfaat in de Noordzee komt vanuit de oceaan en circa 10% komt vanaf het land (Lindeboom 2005). Van die 10% is circa de helft afkomstig van bovengenoemde antropogene bronnen. Dus slechts op circa 5% van de totale fosfaataanvoer naar de Noordzee hebben menselijke activiteiten invloed gehad. Dit betekent dan ook dat dit nauwelijks van invloed kan zijn geweest op de productiviteit van de gehele Noordzee. Voor de zuidelijke Noordzee is dit anders omdat de invloed van de rivieren hier veel groter is. In het kustgebied wordt het rivierwater gemengd met het zeewater en noordwaarts getransporteerd. Nutriënten en afgestorven algen die niet lokaal worden benut komen via de Duitse Bocht in het

Skagerrak terecht waar organisch materiaal sedimenteert. In de kustzone is sprake van een aanzienlijke door de mens veroorzaakte fosfaattoevoer en meer dan de helft van het fosfaatmaximum in de tachtiger jaren in de kustzone had een menselijke oorsprong. Uit figuur 3 blijkt dat de concentratie in de kustzone nu sterk gereduceerd is. Volgens het rapport van de Ospar Commission 2003, Nutrients in the Convention area bedroegen de totale anthropogene fosfaatvrachten van Frankrijk, België, Zwitserland, Nederland, Duitsland en Denemarken naar de Noordzee in 1985 150.719 ton en in 2000 54.067 ton. Voortgaande aanscherping van het beleid, en implementatie daarvan, leiden nog steeds tot een doorlopende lichte daling van de fosfaatconcentraties in de kustzone. Ook het gehalte aan stikstof, in de vorm van ammoniak en voornamelijk nitraat, is sterk verhoogd door lozingen. In tegenstelling tot fosfaat is de belasting echter veel minder teruggelopen en is er nu duidelijk sprake van een overmaat aan stikstof in de kustzone. Fosfaat is na de voorjaarsbloei van het fytoplankton gedurende een paar maanden de limiterende factor. Derhalve zal in de huidige situatie alleen fosfaatbemesting tot resultaten (kunnen) leiden en stikstofbemesting niet of nauwelijks.

6. Algen

De toegenomen nutriëntenvrachten na 1950 hebben geleid tot een meetbare toename van algenbiomassa's en -productie in de Nederlandse kustzone (Cadée en Hegeman 1993). Door Veldhuis (1987) is aangetoond dat de alg *Phaeocystis pouchetii* door de sterk fluctuerende nutriënten-concentraties wordt bevoordeeld en mede daardoor een dominante alg in het Nederlandse kustgebied is. Deze alg wordt verantwoordelijk gehouden voor de schuimvorming op het strand. Mogelijk is deze schuimvorming toegenomen door de eutrofiëring, maar data ontbreken om dit echt hard te maken. Klimaat kan hierbij echter ook een rol spelen. Philippart e.a. (2000) kwamen tot de conclusie dat soortverschuivingen in het fytoplankton van de Waddenzee zijn opgetreden rond 1977-1978 en 1989, die gerelateerd waren aan een verschillende nutriëntenstatus in het onderzoeksgebied. Voor 1978 was er een mesotrofe toestand met door fosfaat gelimiteerde groei, tussen 1978 en 1987 was er een eutrofe toestand met door stikstof gelimiteerde groei en vanaf 1988 is er een eutrofe toestand met wederom door fosfaat gelimiteerde groei. In elk van deze perioden waren andere algensoorten dominant. In de Duitse Bocht zijn dit soort verschuivingen ook waargenomen (Hickel et al. 1993), maar daar heeft de hoge fosfaatbelasting tussen 1978 en 1981 ook in grote gebieden geleid tot het optreden van zuurstofloosheid. Hierbij is sterfte opgetreden onder bodemdieren en vissen (Gerlach 1990). Hieruit blijkt dat ook in zeegebieden de fosfaatbelasting dermate hoog kan oplopen dat negatieve effecten kunnen optreden, hetgeen bevestigd wordt door waarnemingen in andere ondiepe kustgebieden.

7. Schelpdieren

In de Waddenzee is door Beukema (1991) vastgesteld dat, tegelijkertijd met de door Cadée & Hegeman (1993) gemeten toename in algenproductie, de biomassa van bodemdieren op het Balgzand tussen 1970 en 1990 toenam. Deze toename wordt toegeschreven aan de toegenomen nutriëntenaanvoer. Echter van een daling van de biomassa van bodemdieren is sinds die tijd nog niet echt sprake, wel zijn er soortverschuivingen waargenomen (Dekker, & Drent, mond. Med). In een recent artikel geven Philippart et al (2007) aan dat in de westelijke Waddenzee na 1985 de totale biomassa aan schelpdieren weliswaar niet sterk veranderd is, maar wel hun activiteit. De graasdruk op algen is tussen 1980 en 2000 ruwweg met een factor 2 afgenomen, waarmee hun resultaten die van Brinkman & Smaal (2003) ondersteunen. Snel filtrerende soorten zoals mosselen zijn afgenomen, en langzaam filtrerende en langzaam groeiende soorten zoals *Mya arenaria* zijn ervoor in de plaats gekomen.

In het EVA-II onderzoek is met behulp van modellen onderzoek gedaan naar het effect van dalende fosfaatconcentraties op de mogelijke schelpdierproductie en biomassa in de westelijke Waddenzee (Brinkman & Smaal, 2003). De conclusies van deze modelstudies luiden:

1. De reductie van nutriëntenvrachten vanaf het midden van de jaren '80 heeft geleid tot een lagere primaire en secundaire productie en een kleiner schelpdierbestand. De gemiddelden in de jaren '90 ten opzichte van de jaren '80 bedragen 56% voor het bestand en 58% voor de secundaire productie.
2. De schelpdierbestanden in de Waddenzee kunnen ook in de toekomst een grote omvang bereiken, maar de maximum omvang zal kleiner zijn dan in de jaren '80.
3. De conditie van de schelpdieren hangt tenminste voor een deel samen met de verhouding tussen de grootte van het werkelijk aanwezige bestand en de maximale omvang van dat bestand. Als het aanwezige bestand de maximale omvang benadert, gaan de schelpdieren met elkaar om het aanwezige voedsel concurreren, en zal hun conditie verminderen.
4. De voedselkwaliteit (het gehalte chlorofyl gedeeld door het gehalte aan zwevende stof) is mede bepalend voor de conditie van de schelpdieren: een hogere kwaliteit resulteert in een betere conditie. Deze relatie is overigens van ondergeschikt belang.
5. In de toekomst zal, mede onder invloed van de effectuering van de Europese Kaderrichtlijn Water, de nutriëntentoevoer verder afnemen, en zal de maximale productiviteit van de Waddenzee verder gereduceerd worden.
6. Het is niet realistisch om opbrengstverwachtingen voor schelpdieren te blijven koesteren die gelijk zijn aan die van 15-20 jaar geleden. Met name in de jaren waarin het verschil tussen het maximaal mogelijke bestand en het actuele schelpdierbestand groot is kan door een zorgvuldig kweekbeleid een deel van dat verschil benut worden. Tegelijk dient beseft te worden dat a) ongeacht de kweekmethode de ruimte voor oogsten gereduceerd is ten opzichte van die welke 20 jaar geleden aanwezig was, en b) het niet zinvol is te proberen die beschikbare ruimte geheel te gebruiken, als gevolg van conclusie 3.

Na publicatie van het EVA-II rapport ontstond er discussie of deze modelmatig berekende verbanden zich ook in werkelijkheid voordoen. Uit onderzoek vanaf de NIOZ-steiger in het Marsdiep bij Texel bleek dat met name een verlaagd doorzicht, en dus lichtbeperking, heeft geleid tot een afname van de algenproductie aldaar. De recente publicatie van Philippart et al. (2007) ondersteunt evenwel de analyses uit de EVA-II studie. Anderen betoogden dat de goede individuele groei van mosselen niet op voedselgebrek wijst (Dankers, pers.com.). De aansturing van algengroei is een complex proces waarbij veranderende nutriëntenconcentraties en -verhoudingen, veranderende slibconcentraties en veranderende algendominantie, bijvoorbeeld bij regime shifts, gezamenlijk tot het waargenomen resultaat leiden (Philippart et al. 2000; Lindeboom 2005). De productie van schelpdieren wordt

onder meer bepaald door hoeveelheid en kwaliteit van het voedsel en concurrentie met andere organismen waaronder nu ook een paar snel toegenomen exoten als Japanse Oester en Amerikaanse Zwaardschede (*Ensis*). Of de veranderingen in fosfaatbelasting in de westelijke Waddenzee ook werkelijk tot veranderde opbrengsten van oogstbare schelpdieren hebben geleid is vooralsnog niet met zekerheid te zeggen.

8. Vissen

Om de mogelijke effecten van de eutrofiëring op de voor de Nederlandse visserij belangrijke vissoorten te kunnen evalueren is het van belang na te gaan welke levensstadia gebruik maken van de door eutrofiëring beïnvloede gebieden.

De Nederlandse visserij is gespecialiseerd op platvis, met name tong en schol. Voor de tong is het door eutrofiëring beïnvloede gebied belangrijk als paaigebied, opgroeigebied en deels als voedselgebied voor de volwassen levensstadia. Voor schol is het gebied vooral belangrijk als opgroeigebied voor de jeugdstadia. Als de eutrofiëring een effect heeft op de productiviteit van deze twee voor Nederland belangrijke platvissoorten dan verwachten we dat het effect voor tong tot uitdrukking komt in een relatie met de rekrutering (jaarklassterkte) en met de groeisnelheid van zowel de jonge als de volwassen stadia. Voor schol verwachten we geen relatie met de rekrutering en de groei van de volwassen stadia, maar wel een relatie met de groei van juveniele vis.

8.1 Jaarklassterkte

Er bestaat een significante relatie tussen de jaarklassterkte en de watertemperatuur tijdens of voorafgaand aan de voortplantingsperiode, zowel bij schol als bij tong. Na een strenge winter blijkt er een grotere kans op een sterke jaarklas te zijn dan na een gematigde of warme winter. Deze relatie wordt deels verklaard door een lagere sterfte in het pelagische ei- en larvenstadium. In welke mate de synchronisatie van de seizoenstoename van voedsel en de ontwikkeling van roofvijanden een rol spelen is niet onderzocht. Evenmin is onderzocht of, en zo ja hoe, eutrofiëring deze processen beïnvloedt. Voor geen van beide soorten bleek de jaarklassterkte (zoals geschat in de jaarlijkse toestandbeoordeling van de ICES) significant gecorreleerd te zijn met de fosfaatvrucht van de Rijn.

8.2 Groeisnelheid

De groeisnelheid van tong en schol is in de jaren zeventig duidelijk toegenomen. Rijnsdorp & Van Beek (1991) toonden aan dat de groeiversnelling beperkt bleef tot de leeftijdsgroepen die geconcentreerd zijn in de zuidoostelijke Noordzee en niet optrad binnen de leeftijdsgroepen die zich in de centrale Noordzee ophouden. Ze concludeerden daaruit dat de voedselbeschikbaarheid in de zuidoostelijke Noordzee moest zijn toegenomen. De toename in voedsel zou kunnen worden veroorzaakt door de eutrofiëring maar ook door de opkomst van de boomkorvisserij en de daarbij optredende omwoeling van de bodem (Rijnsdorp & Van Leeuwen, 1996; Millner & Whiting, 1996). Recent onderzoek heeft aangetoond dat de bodemvisserij inderdaad de productiviteit van de bodemdieren beïnvloedt maar heeft geen sluitend antwoord gegeven op de effecten op het voedsel voor schol en tong (Kaiser et al. 2000; Jennings et al. 2001; Schratzberger et al. 2002). Naast voedselbeschikbaarheid heeft ook de voedselconcurrentie een rol gespeeld, met name wanneer er een sterke jaarklasse geboren was (Millner & Whiting, 1996; Rijnsdorp & Van Leeuwen, 1996).

In de loop van de jaren negentig werd duidelijk dat de trend is omgebogen en de groeisnelheid momenteel afneemt. Deze afname bleef niet beperkt tot de Noordzee maar deed zich ook voor in andere zeegebieden (Millner et al. 1996). Recente analyses van de groei van schol in de Noordzee bevestigen het eerder gevonden statistische verband tussen de groeisnelheid en een eutrofiëringsparameter (Rijnsdorp et al. 2004). Voor tong bleek echter vooral de temperatuur de lengte aan het einde van het 1^e jaar te beïnvloeden (Teal et al. in voorbereiding).

Naast de verandering in groeisnelheid is in de jaren negentig een verandering opgetreden in de verspreiding van jonge schol, waarbij de jeugdstadia zich in dieper water zijn gaan ophouden dan voorheen. Dit verschijnsel is nog

niet verklaard, maar kan samenhangen met veranderingen in de voedselbeschikbaarheid binnen de zuidoostelijke Noordzee, een toename in de zomertemperatuur boven de tolerantiegrens voor jonge schol, of veranderingen in het voorkomen van roofvijanden (Daan et al. 2005; Van Keeken et al. 2007). Opvallend is dat eenzelfde verschijnsel zich ook in andere zeegebieden heeft voorgedaan, zoals bv de Ierse Zee.

8.3 Conclusie schol en tong

De beschikbare gegevens ondersteunen gedeeltelijk de hypothese dat de toevoer van fosfaat een productieverhoging van schol en tong tot gevolg heeft gehad. Omdat ook andere factoren zoals veranderingen in temperatuur, verspreiding van de boomkorvisserij, veranderingen in de samenstelling van de visgemeenschap en de (mogelijk sprongsgewijze en grootschalige) veranderingen in het ecosysteem invloed gehad kunnen hebben, is het onmogelijk om een betrouwbare voorspelling te doen hoe fosfaatbemesting de groeisnelheid van schol en tong zou kunnen beïnvloeden.

9. Verkenning van vier toevoegingsscenario's

De vraag is nu hoeveel fosfaat er bij een proef zou moeten toegevoegd, wat de kosten hiervan zijn en wat mogelijke effecten en opbrengsten zijn. Het gaat daarbij om de hoeveelheid fosfaat die zou moeten worden toegevoegd aan respectievelijk Noordzee en Waddenzee om een significante verhoging van de vis- of schelpdierproductie te verkrijgen, en om twee scenario's waarbij met relatief kleine ingrepen een extra toevoer van fosfaat aan de kustzone bewerkstelligd kan worden.

De 4 scenario's betreffen:

1. Toevoegen van fosfaat aan de Noordzee door een fosfaatadditie in de Nieuwe Waterweg, modelmatige berekening van de hoeveelheid benodigde fosfaat om 10 % verhoging van de secundaire productie in de Nederlandse kustzone te verkrijgen.
2. Toevoegen van fosfaat aan de Waddenzee bij Den Oever, modelmatige berekeningen van de hoeveelheid fosfaat die nodig is om 10% verhoging van de schelpdierproductie te verkrijgen.
3. Verder verkennen wat de mogelijkheden zijn om de fosfaatverwijderende trap bij de zuiveringinstallatie bij Houtrust uit te zetten en hoe groot dan de extra fosfaattoevoer naar het kustwater is.
4. Verder verkennen van de mogelijkheden de zoetwatertoevoer naar het Nederlandse kustgebied zodanig te reguleren dat extra fosfaat in de kustzone terecht komt.

Bij een eerste verkenning viel scenario 4 af. Ten eerste wordt de zoetwaterafvoer in hoofdzaak gereguleerd om een optimaal zoetwaterregime in het rivierengebied te bewerkstelligen en zijn hier weinig vrijheden om dit dusdanig te veranderen dat de fosfaatstromen significant anders zouden worden. Ten tweede zou om enigszins aan significante hoeveelheden fosfaat te komen zoveel rivierwater moeten worden omgeleid dat dit geen werkbare en realistische mogelijkheden oplevert. Ten derde zou het dan eerder leiden tot een extra fosfaataanvoer richting IJsselmeer, wat daar door de waterbeheerders waarschijnlijk niet gewenst is en mogelijk leidt tot extra fosfaatretentie in dit gebied en niet tot meer fosfaat in het kustgebied. Ten vierde is het door verschillende retenties in verschillende gebieden onvoorspelbaar of de genomen maatregelen in eerste instantie leiden tot verhoging of juist verlaging van de fosfaattoevoer naar de kust. Dit scenario is niet verder uitgewerkt. In de volgende hoofdstukken worden wel de overige drie scenario's nader uitgewerkt.

Daarna is een berekening gemaakt van de potentiële kosten die gemaakt moeten worden om fosfaat aan de Nieuwe Waterweg of aan de Waddenzee toe te voegen.

9.1 Model-uitkomsten over relatie tussen zoöplanktonproductie in het Nederlandse kustgebied en de fosfaat-input vanuit de Rijn

9.1.1 Model

Het model dat voor deze toepassing gebruikt is bestaat uit een hydrodynamisch model (GETM) en een biologisch model BFM. Zie verder de web-sites voor deze modellen voor (mathematische) beschrijving van de modellen en de literatuur (GETM: www.bolding-burchard.com; BFM: www.bo.ingv.it/bfm).

Het hydrodynamische model berekent het watertransport tussen punten op een 10-kilometergrid. De grootte van het transport wordt bepaald op grond van de meteorologische sturing (wind, bewolking, luchttemperatuur en luchtvochtigheid) en het getij.

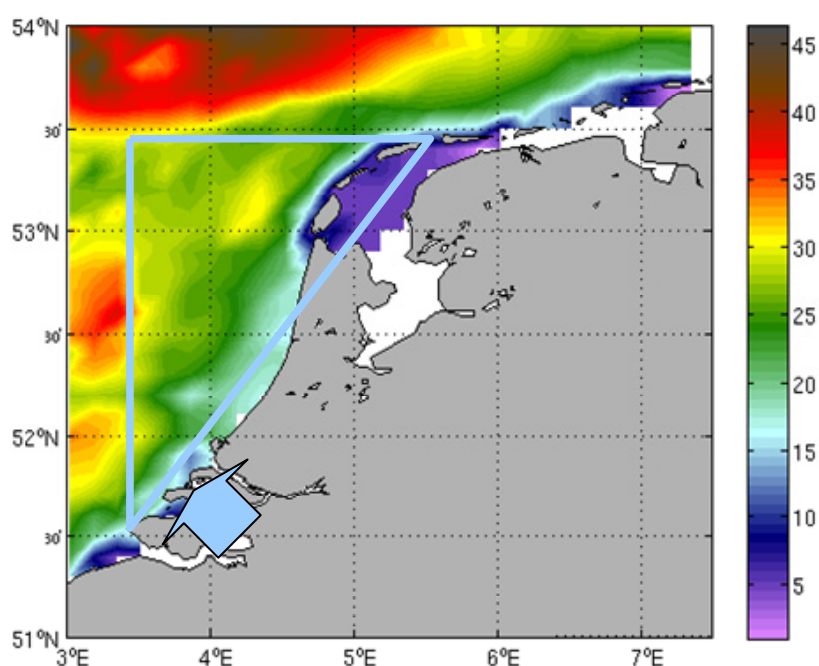
Het BFM-model is algemeen van opzet en wordt behalve voor de Noordzee ook toegepast in combinatie met een hydrodynamisch model voor de Middellandse Zee en in een wereldmodel.

Het BFM-model bevat 4 stofstromen: koolstof en de voedingsstoffen fosfor, stikstof en silicium. Het model pretendeert de belangrijkste processen te beschrijven in de waterkolom en in het sediment. Daartoe is een

relatief groot aantal toestandsvariabelen gedefinieerd, waartussen de bio-chemische processen plaatsvinden, zoals: nutriëntopname, primaire productie (=koolstoffixatie) en begrazing. Veel aandacht is besteed aan de modellering van de microbiële kringloop.

Het Noordzeemodel omvat de Noordzee tot 60° NB en het Kanaal en grenst zowel aan de noordkant als aan de westkant aan de Atlantische Oceaan. Voor deze open grenzen zijn randvoorwaarden opgegeven voor de voedingsstoffen. Voor alle (belangrijke) rivieren in het gebied zijn afvoer van water en voedingsstoffen in het model ingevoerd.

9.1.2 Simulaties



Figuur 4. Het kustgebied is gedefinieerd als het als het "natte" gebied op deze kaart. Het nabije kustgebied is het gebied binnen de blauwe lijn. De fosfaat-input vindt plaats nabij de pijl

Het hele model is gebruikt voor deze toepassing. De simulatieruns zijn uitgevoerd voor een periode van februari tot en met juni 1997. Dit is de periode waarin de hoogste primaire en secundaire productie plaatsvindt. Omdat de relatie tussen voedselopname door (pelagische) vis en beschikbaar voedsel (nog) niet goed bekend is, is besloten om de netto productie van de belangrijkste voedselbron (zoöplankton) als een maat voor de visproductie te gebruiken. Aangenomen wordt dat een toename van de netto zoöplanktonproductie zal leiden tot een evenredige toename van de visproductie .

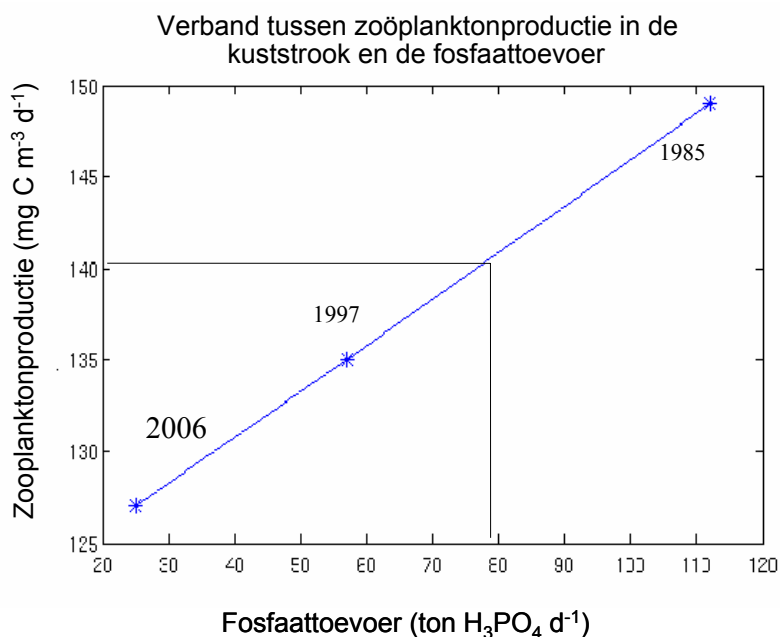
Voor het bekijken van de resultaten hebben we ons beperkt tot de kustzone. Er zijn 2 gebieden gekozen , één van 31.700 km² en een nabije kustzone van 12.800 km².

De 3 runs verschillen onderling alleen in fosfaatinput vanuit de Rijn. Er is gekozen voor een run met de 2006 fosfaatinput, met de 1985 fosfaatinput (3,87 x 2006 fosfaatinput) en met de 1997 fosfaatinput (2,05 x 2006 fosfaatinput).

9.1.3 Resultaten

De resultaten (Figuur 5) laten zien:

- Productietoename van 10,5% in het kustgebied als in 2006 per dag 87 ton H_3PO_4 extra uit de Rijn aangevoerd wordt.
- Productietoename van 19% in het nabije kustgebied als in 2006 per dag 87 ton H_3PO_4 extra uit de Rijn aangevoerd wordt.
- Voor een productieverhoging van 10% zal in het nabije kustgebied 50 ton H_3PO_4 per dag extra aangevoerd moeten worden. Voor een periode van 180 dagen komt dit neer op 9000 ton H_3PO_4 of 2900 ton P. Met dit laatste getal zijn de mogelijke kosten berekend.



Figuur 5. Verband tussen fosfaattoevoer en zoöplanktonproductie in de Nederlandse kuststrook.

Wat zou dit voor de opbrengst aan vis kunnen betekenen? Grift et al. (2001) berekenen dat de visvangst door de boomkorvisserij binnen de 12-mijlszone van de Hollandse kust gemiddeld 8 kg per ha per jaar bedraagt (sectie 4.2), zijnde 800 kg per km² per jaar. Als in een gebied van 12.800 km² door toevoeging van 2900 ton P de hoeveelheid vis met 10 % stijgt, zoals hiervoor aangegeven, dan levert dit dus in de vangsten 1024 ton extra vis op. Dit getal is gebaseerd op alle vissen die in een gebied worden gevangen. De opbrengst aan commercieel interessante platvissen zal hier dus een deel van zijn (op basis van de vangstgegevens voor 2005 circa 40% schol en tong).

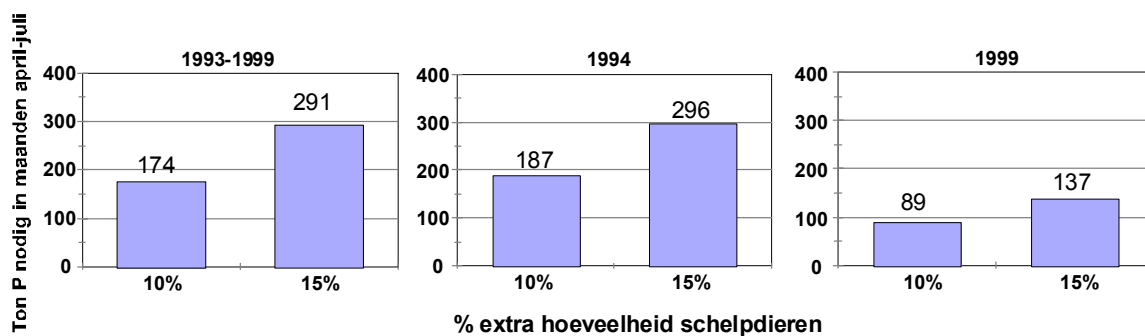
9.2 Mogelijke fosfaataddities in de Waddenzee bij Den Oever en Kornwerderzand

Met behulp van het ecosysteemmodel EcoWasp is uitgerekend wat de effecten zijn van extra fosfaatdosering bij de spuisluisen in de Afsluitdijk op het maximaal mogelijke gehalte aan schelpdieren in de Waddenzee.

Hiertoe zijn allereerst simulaties uitgevoerd voor de periode 1976-1999, waarvoor voldoende data beschikbaar zijn voor een verantwoorde simulatie en waarbij de werkelijke fosfaattoevoer aangehouden is.

Vervolgens is een aantal simulaties uitgevoerd waarbij, ingaande 1993, extra fosfaat is toegevoegd aan de spui van IJsselmeerwater in de maanden april, mei, juni en juli. In deze maanden is de algengroei voor een belangrijk deel beperkt door fosfaattekort.

In de volgende grafieken (Figuur 6a) is aangegeven hoeveel extra fosfaat (P) er nodig zou zijn om 10% respectievelijk 15% meer schelpdieren te krijgen in de westelijke Waddenzee, vergeleken met de oorspronkelijke situatie. Er zijn drie grafieken: een voor 1994, een voor 1999 en een voor het gemiddelde over de periode 1993-1999.



Figuur 6a. Hoeveel ton extra fosfaat is nodig in de maanden april-juli om 10 cq 15% extra schelpdieren in westelijke Waddenzee te kunnen voeden. Uitkomsten van computersimulaties. In deze simulaties is de toevoeging begonnen in april 1993 en ze gaat door tot en met het laatste jaar (1999).

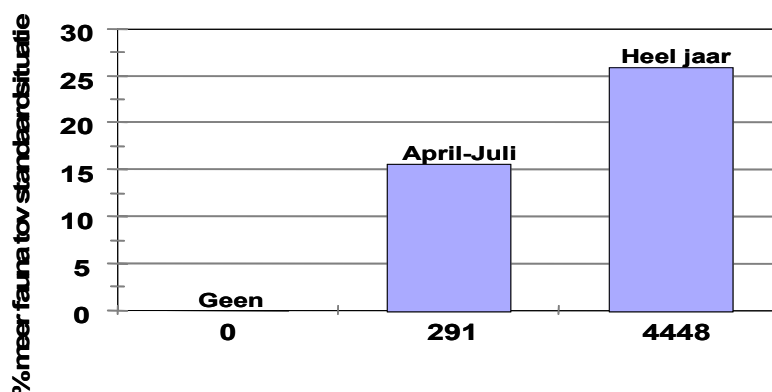
Uit deze modelberekeningen blijkt dat er 174 ton P in vier maanden bij Den Oever plus Kornwerderzand in zee moet worden gebracht om de schelpdierproductie met 10% te verhogen.

Belangrijke punten van aandacht zijn:

- Een eventuele toename van schelpdieren heeft tijd nodig. Daarom is het effect in 1999 sterker dan in 1994. Dat betekent dat een aantal jaren extra dosering nodig is voordat een extra oogst mogelijk zou zijn.
- Extra oogst van schelpdieren vermindert het effect.
- In de beginjaren '80 was de schelpdierstand veel hoger; dit is omdat toen óók de P-gehalten in de Noordzee veel hoger waren. De resultaten geven dus alleen aan wat het effect kan zijn indien bij de Afsluitdijk een additie plaats vindt.

Wat is de grens die bereikt kan worden bij hogere doseringen? De simulaties geven aan dat tot ongeveer 400 ton P extra in de periode april-juli het schelpdierbestand ongeveer evenredig toeneemt. Bij nog hogere doseringen neemt het effect af, en een maximaal bereikbaar effect van 50% meer schelpdieren wordt gevonden bij meer dan een verdubbeling van de fosfaatvrucht; dit komt overeen met een jaarlijkse extra lozing van 1500 tot 2000 ton P in de maanden april-juli.

Is het nuttig een heel jaar door te lozen of alleen in de maanden april-juli? In Figuur 6b is aangegeven wat het effect is wanneer volgens eenzelfde regime continu geloosd wordt. In het voorbeeld wordt de hoeveelheid opgelost fosfaat 8 maal zo hoog gemaakt door de toevoegingen.



Figuur 6b. Percentage meer fauna in westelijke Waddenzee ten opzichte van de standaardsituatie indien alleen gedurende de periode april-juli 8 maal zoveel opgelost fosfaat toegevoerd wordt, dan wel het gehele jaar door. De getallen op de X-as geven de totale extra vracht per jaar weer.

Tot slot is de vraag wat dit aan extra biomassa oogstbare bodemdieren (inclusief mosselen) op zou kunnen leveren.

De redenering gaat dan als volgt: Er komt 175 ton extra P de Waddenzee binnen, verdeeld over Den Oever en Kornwerderzand (verhouding ongeveer 3:2), dat levert 10% extra maximale biomassa bodemdieren op. De berekende maximale biomassawaarde is ongeveer 40.000 ton asvrij-drooggewicht (AFDW) in de Westelijke Waddenzee, dus die 10% betreft 4000 ton extra.

Maar, in werkelijkheid is de schelpdierbiomassa lager. De mossel+kokkelbiomassa in de afgelopen 30 jaar is steeds ruwweg 20-25% van die maximale waarde geweest. Als men ziet wát er geoogst wordt, dan is dat ongeveer 2.5 à 5% van die maximale biomassa.

Momenteel onttrekken de vissers jaarlijks 20-60 miljoen kg versgewicht uit het systeem. Dat is 1-3 miljoen kg AFDW, ofwel 1000-3000 ton AFDW. Als dáár die 10% bijkomt, dan praten we over 100 - 300 ton AFDW extra, ofwel 500-1500 ton vlees ofwel 2000-6000 ton vers.

De efficiëntie t.o.v. de P input is dan $(1.0-1.5)/175 * 100 = 0.5-1.5\%$ op P-basis; en $2.5-7.5*$ de extra P-input levert extra vangbare biomassa uitgedrukt in vleesgewicht, en 10 tot 20* de extra P-input uitgedrukt in vers schelpdiergewicht.

9.3 Fosfaatlozing vanuit waterzuivering Houtrust, waterschap Delfland

Een korte verkenning in het vorige rapport gaf aan dat het mogelijk is de fosfaatverwijderende trap van de waterzuivering bij Houtrust (Den Haag) uit te zetten waardoor er netto meer fosfaat uit de 2,5 km lange pijplijn in zee komt.

Nu is verder verkend wat hiervan de mogelijkheden zijn en om hoeveel fosfaat het gaat.

De heer Been van Waterschap Delfland heeft ons hierover de volgende gegevens verstrekt. Het influent van de zuiveringsinstallatie bevat circa 2 ton fosfaat (als H_3PO_4) per dag. Het effluent bevat circa 0,5 ton per dag. Dus wordt met behulp van het toevoegen van ijzerhoudende zouten dagelijks 1,5 ton fosfaat verwijderd. Het uitzetten van deze stap, wat technisch geen probleem is, leidt tot een toename van de fosfaatlozing met circa 1,5 ton. In werkelijkheid zal het iets lager zijn omdat naar verwachting het uitvlokkende materiaal in dat geval iets meer fosfaat zal bevatten. Toch lijkt het technisch goed mogelijk dagelijks circa 1,5 ton fosfaat extra naar zee te laten gaan. (Wel gaf de heer Been aan dat dit in strijd is met Delflands vergunning en tot boetes zou leiden.) Het extra lozen van fosfaat heeft alleen zin in maanden dat fosfaat de beperkende factor is. Voor de berekeningen gaan we er van uit dat we 3 of 4 maanden (april, mei, juni en eventueel juli) 1,5 ton per dag extra naar zee laten gaan.

Wat betekent dit voor de potentiële visopbrengst? Als we drie maanden (90 dagen) 1,5 ton H_3PO_4 /dag via de uitlaat van Houtrust naar zee laten gaan, gaat er totaal 43.6 ton P naar zee. Uitgaande van een percentage van 1% P in algen zou dit kunnen leiden tot 4363 ton (drooggewicht) extra algen in de kustzone. Uitgaande van de klassieke omzetzfactor van 10 tussen trofische niveaus zou dit circa 436 ton zooplankton kunnen opleveren, wat vervolgens 43 ton carnivoren kan geven. Met een drooggewicht van 20% zou dit 218 ton carnivoren opleveren. Echter tong en schol zitten eigenlijk nog hoger in de voedselketen, circa trofisch niveau 3,5 waardoor de maximaal verwachte opbrengst aan dit soort vissen circa 87 ton zou bedragen (voor de berekening zie bijlage 3). Er is geen enkele garantie dat dit inderdaad commercieel interessante vissen zijn; zoals hier voor aangegeven is het aannemelijk dat de reeds aanwezige vissen iets harder zullen gaan groeien.

Als we 4 maanden de fosfaatverwijderende trap uitzetten zou de potentiële toename van trofisch niveau 3,5 circa 116 ton bedragen.

Het lozen van extra fosfaat is strijdig met het huidige (inter)nationale beleid, en lijkt geen eenvoudige optie. Wat men echter zou kunnen overwegen is om 's winters net zoveel fosfaat extra uit het effluent te halen als men er in voorjaar en zomer in laat zitten. Als men bijvoorbeeld 3 maanden 1,5 ton extra laat zitten en er in de andere 9 maanden dagelijks 0,5 ton uithaalt is de netto belasting van de Noordzee gelijk gebleven, maar de fosfaat belasting naar een productievere periode verlegd. Overleg met de heer Been leert dat dit een technisch werkbare oplossing kan zijn. Wel denkt hij dat het dan nodig is ook andere waterschappen hierbij te betrekken omdat het voor Delfland niet makkelijk is om de resterende 0,5 ton per dag er efficiënt uit te krijgen.

Uitgaande van bovenstaande berekeningen blijkt dat als we de opbrengst van trofisch niveau 3,5 met 10.000 ton zouden willen verhogen hiervoor 5000 ton P nodig is.

Is een toename van circa 100 ton in het kustgebied te meten?

Figuur 3.3 in Grift et al. (2001) geeft aan dat de visvangst in een garnalen surveykor (DFS) in het NL kustgebied gemiddeld 1 kg per 1000 m² bedraagt (september-oktober) = 10kg/ha = 1000 kg/km².

Als de verwachte verhoging van 100.000 kg zich in een gebied van 100 km² voordoet dan vindt er een verdubbeling van de biomassa plaats. Door de ongelijke verspreiding en het zwemgedrag van vissen zal dit niet aantoonbaar zijn. Gezien de getijdewerking zal de biomassaverhoging zich over een groter gebied uitspreiden en daarmee verdunnen onder de te verwachte detectiegrens.

Misschien is er een gradiënt in de productie-indicatoren te verwachten vanaf de uitstroomopening. Of dit meetbaar is in het voorkomen van vis valt vooraf niet te voorspellen.

10. Kosten van fosfaatpilots om de productiviteit in de kustzone te verhogen

10.1 Inleiding

Het LEI heeft een inventarisatie van de kosten van mogelijk uit te voeren pilots voor fosfaatadditie gemaakt. Het volgende deel van de notitie is het resultaat van deze inventarisatie. Hierbij is nagegaan wat de globale kosten zouden zijn van implementatie van een proef om de benodigde hoeveelheden fosfaat, berekend in de voorgaande hoofdstukken in zee te brengen. Benadrukt moet worden dat het hier gaat om ruwe schattingen van de kosten. Met name de kosten voor de technische uitwerking zijn eerste indicaties en kunnen mogelijk sterk afwijken, afhankelijk van de specifieke situatie.

Dankwoord: Dit deel van de notitie is tot stand gekomen met medewerking van de volgende instanties/personen: Amsterdam Fertiliser BV, Amsterdam, Nu3 BV, Vlaardingen, Hoogheemraadschap Delfland, Waterschap Brabantse Delta, Dr.ir. P.A. Barneveld (Leerstoelgroep Fysische Chemie en Kolloïdkunde, Wageningen UR)

10.2 Fosfaatbronnen

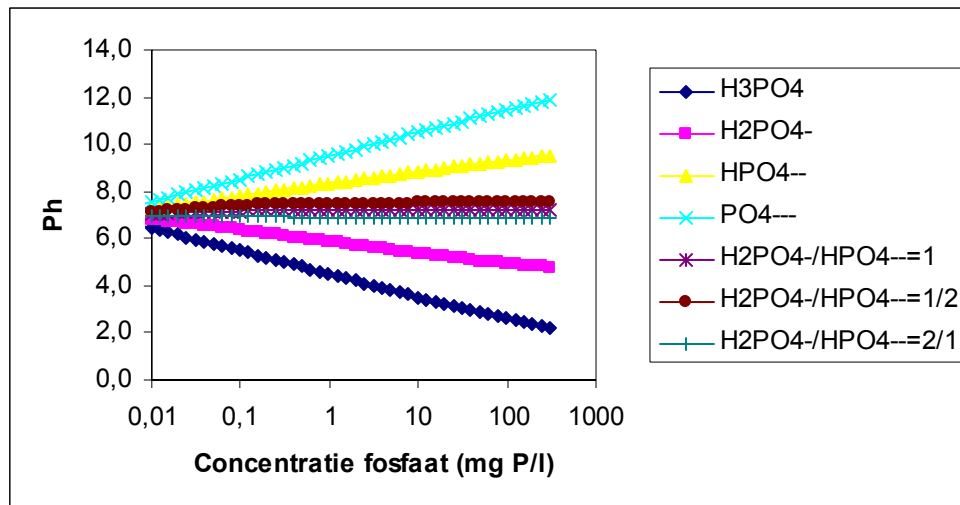
Om extra fosfaat aan het water toe te voegen zijn meerdere vormen van fosfaat beschikbaar en praktisch toepasbaar:

Fosforzuur (H_3PO_4) en triplesuperfosfaat ($Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$) en een mengsel van verschillende vormen van kaliumfosfaat. Al deze vormen van fosfaat worden in Nederland geproduceerd en zijn in voldoende mate beschikbaar voor een proef in deze omvang. Hieronder worden de 3 producten afzonderlijk besproken.

10.2.1 TripleSuperfosfaat ($Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$)

Triplesuperfosfaat is de belangrijkste vorm van fosfaat die wordt gebruikt als kunstmest in de landbouw. Met een P-gehalte van meer dan 20% is dit één van de meest geconcentreerde vormen van fosfaat, die ook goed oplosbaar is in water. De materiaalkosten per kg P bedragen ongeveer 1,00 Euro en zijn afhankelijk van de wereldmarktprijzen. Hierbij komt nog zo'n 0,07 Euro transportkosten, maar gezien de grote hoeveelheden ligt de prijs mogelijk lager (10-15%). Wel is de verwachting dat de prijzen van fosfaat dit jaar over het algemeen met zo'n 20% gaan stijgen.

Triplesuperfosfaat wordt geleverd als korrels en moet dus worden opgelost. Hoewel het goed oplost, is 3-4 % van deze vorm niet oplosbaar. Gezien de grote hoeveelheden die moeten worden opgelost kan dit problemen veroorzaken bij de verspreiding. Daarnaast bevat deze vorm van fosfaat allerlei verontreinigingen zoals metaalzouten, die daarmee ook in het ecosysteem komen. Maar het belangrijkste bezwaar tegen deze vorm van fosfaat is waarschijnlijk het zure karakter. Figuur 1 geeft het effect weer van oplossing van verschillende vormen van P op de pH van gedestilleerd water. Dit effect wordt deels gebufferd door met name de opgeloste carbonaten in het rivier/zeewater, maar figuur 1 dient met name als illustratie voor het zuur/base effect.



Figuur 7. Effect van oplossen van verschillende vormen van fosfaat op de pH van gedestilleerd water.

Per geval zal hierna worden besproken wat de effecten zijn van gebruik van triplesuperfosfaat op de pH.

10.2.2 Fosforzuur (H_3PO_4)

Een andere optie is fosforzuur (H_3PO_4). Fosforzuur is beschikbaar in vele vormen en concentraties. De meest geschikte vorm voor deze toepassing is waarschijnlijk 4D-zuur, een oplossing van 70% fosforzuur die niet helemaal zuiver is en wat verontreinigingen bevat. De kosten hiervan liggen per kg P ook rond 1,00 Euro met ongeveer 0,10 Euro transportkosten. Evenals voor triplesuperfosfaat geldt ook voor fosforzuur dat gezien de grote hoeveelheden de huidige prijs mogelijk lager ligt, maar dat de prijzen naar verwachting zullen stijgen. Deze vorm van fosfaat is makkelijker in het water te brengen dan triplesuperfosfaat, maar vanwege het sterk zure karakter van fosforzuur is dit geen reële optie.

10.2.3 Mengsel van kaliumorthofosfaten (KH_2PO_4 , K_2HPO_4 , K_3PO_4)

Met name om de hierboven beschreven problemen met pH-daling en verontreinigingen te voorkomen is hier ook een derde vorm van fosfaat genoemd, namelijk een mengsel van mono-, di en trikaliumorthofosfaat (KH_2PO_4 , K_2HPO_4 , K_3PO_4). Deze fosfaatmeststoffen worden veel in de tuinbouw gebruikt waar met veel hogere kwaliteit meststoffen wordt gewerkt dan in de rest van de landbouw. Omdat de twee stoffen in combinatie worden toegevoegd is het mengsel pH-neutraal, onafhankelijk van de concentratie. De hoge zuiverheid van de stoffen maakt de oplosbaarheid zeer goed (100%) zodat er geen problemen ontstaan met restproducten. De kosten van dit product liggen wel fors hoger dan van de twee eerder genoemde producten: in vaste vorm kost het mengsel 5,20 Euro per kg P en in opgeloste vorm 5,40 Euro. Hierbij komen dan nog de transportkosten.

10.2.4 Gebruik van struviet

Een alternatief kan het gebruik van struviet (NH_4MgPO_4) vormen (comm. RD Schuiling, Univ Utrecht). Dit mineraal wordt verkregen door aan fosfaathoudende vloeistoffen MgO toe te voegen. Het ammonium in deze verbinding kan door kalium of andere alkali-ionen vervangen worden indien de concentraties daarvan hoog zijn. Een procedé betreft de struvietvorming uit kalvergier (Schuiling & Andrade (1999), of uit afvalwater (Booker et al. 1999).

Struviet zelf is vrij slecht oplosbaar (ongeveer 20 mg l⁻¹; Handbook of Chemistry & Physics), waardoor het erg geschikt is om langdurig kleine hoeveelheden fosfaat af te geven, maar weinig geschikt indien het materiaal opgelost verspreid moet worden. Industrieel is het materiaal (nog) niet verkrijgbaar; er is een aantal zuiveringsinstallaties in Nederland waar fosfaatverwijdering volgens dit procedé plaats vindt, maar de hoeveelheden die nodig zouden zijn om grootschalig P aan het kustwater toe te voegen levert dit nog niet op.

10.3 Uitvoering pilots

10.3.1 Spuisluizen Afsluitdijk

10.3.1.1 Beschrijving situatie

Uit de resultaten van de ecologische simulatie blijkt dat 175 ton en 291 ton P nodig is om de productie van schelpdieren te verhogen met respectievelijk 10 en 15% per jaar. Deze hoeveelheid moet gedurende vier maanden (april-juli) in het systeem worden gebracht. De 'makkelijkste' manier om dit uit te voeren is door het fosfaat toe te voegen aan het water dat vanuit het IJsselmeer in de Waddenzee wordt gespuid. Dit gebeurt op 2 spuilocaties (Den Oever en Kornwerderzand) waar respectievelijk 15 en 10 spuisluizen zijn van 12 m breed en 4 m diep. Per jaar is het gemiddelde debiet hier 500 m³/s, maar omdat er alleen met afgaand tij wordt gespuid ligt het werkelijke debiet tijdens spuien tussen 1000 en 1500 m³/s.

10.3.1.2 Kosten fosfaatverrijking

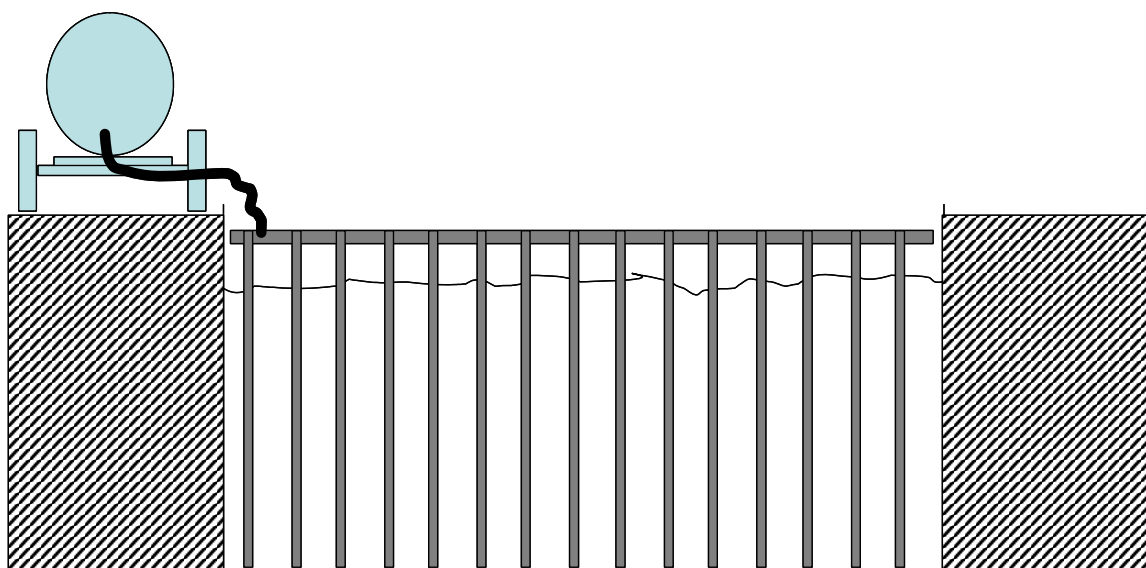
Voor de toevoeging van de benodigde hoeveelheid fosfaat aan de Waddenzee moet per etmaal 1,5 en 2,4 ton P worden toegevoegd in het water dat door de sluisen stroomt (43.000.000 m³) wat overeenkomt met een gemiddeld P-gehalte van 0,034 en 0,056 mg/l bij complete menging. Tabel 1 geeft weer wat de concentraties van de verschillende stoffen in het uitstromend water zijn wanneer het fosfaat geheel met water gemengd wordt en het effect op de pH.

Tabel 1. Materiaal- en transportkosten van verschillende vormen van fosfaat en effect op de pH.

	Fosforzuur	Triplesuperfosfaat	Kalifosfaat, vast	Kalifosfaat, oplossing
10% verhoging				
Materiaalkosten (kEuro)	183	177	910	945
Transportkosten (kEuro)	10	13	43	57
pH van oplossing	5,9	6,7	7	7
15% verhoging				
Materiaalkosten (kEuro)	304	294	1.513	1.571
Transportkosten (kEuro)	17	22	72	96
pH van oplossing	5,7	6,6	7	7

Uit tabel 1 kan worden afgeleid dat toevoeging van zowel fosforzuur als triplesuperfosfaat leidt tot een afname van de pH van het doorstromende water. Lokaal kan deze afname sterker zijn doordat incomplete menging

optreedt. Daarnaast zal er ook een toename zijn van de concentratie van allerlei metaalzouten. Hoewel de kosten dus fors lager zijn dan van het alternatief lijkt het dat deze beide bronnen van fosfaat dus weinig geschikt zijn om hier te gebruiken. De derde vorm van fosfaat is mogelijk wel geschikt, omdat het compleet oplost en geen effect heeft op de pH. Afhankelijk van de vorm die gekozen wordt variëren de kosten voor de grondstof tussen 1.513 en 1.571 kEuro. Daarnaast is tussen de 72 en 96 kEuro nodig om het fosfaat naar de sluisen te transporteren. Op de locatie zelf moet het fosfaat goed gemengd worden met het water. Als gestreefd wordt naar complete menging kan een installatie zoals getekend in figuur 1 gebruikt worden. In/voor de sluisopening wordt een metalen hekwerk aangebracht. Hieraan wordt een systeem van buizen aangebracht waardoor het opgeloste fosfaat kan worden vermengd met het doorstromende water. De breedte van de openingen is afhankelijk van de gewenste mate van vermenging. Een mogelijk nadeel van deze methode is dat het hekwerk verstopt kan raken met drijfvuil dat vanuit het IJsselmeer door de sluisen komt. Daarnaast moet ook voorkomen worden dat de openingen dichtslibben door aangroeiend materiaal. Hiervoor dienen dus maatregelen genomen te worden. Naast de hekwerken en de buissystemen is er voor deze vorm van verspreiding van het fosfaat ook per sluis een tank met pomp om de oplossing in het water te brengen. Daarnaast is personeel nodig om de apparatuur te bedienen. De totale kosten van deze manier van verspreiding zijn moeilijk in te schatten maar een eerste schatting is tussen 0,8 en 1,3 miljoen Euro.



Figuur 8. Situatietekening van de verspreiding van fosfaat over het water van 1 spuisluis.

Gezien de lokale situatie is het waarschijnlijk ook mogelijk om het fosfaat in vaste vorm van bovenaf in het water te strooien, bijvoorbeeld met behulp van kunstmeststrooiers. Hierbij lost het fosfaat alleen op in de bovenste waterlagen, maar gezien de grote hoeveelheid water die door de sluisen gaat is dit mogelijk geen probleem. Bij oplossing van al het fosfaat in de bovenste 0,4 meter is het P gehalte 1 mg/l. Om deze manier van verspreiden uit te kunnen voeren zijn veel minder kosten nodig dan voor bovenstaande manier: De totale kosten van het inhuren van een kunstmeststrooier (inclusief arbeid) gedurende de hele periode van 4 maanden zijn 40.000 Euro. Voor het totaal van 25 sluisen is dit dus 1,0 miljoen euro. Omdat echter niet voor elke kunstmeststrooier een bestuurder aanwezig hoeft te zijn, kunnen de arbeidskosten waarschijnlijk flink worden gereduceerd en daarmee ook het totale budget. Daarnaast zijn ook de kosten van het product en het vervoer lager. Het totale budget voor de twee scenario's bij gebruik van kalifosfaat is weergegeven in tabel 2

Tabel 2. Overzicht van de kosten in de twee scenario's bij gebruik van het mengsel van kalifosfaat (in kEuro).

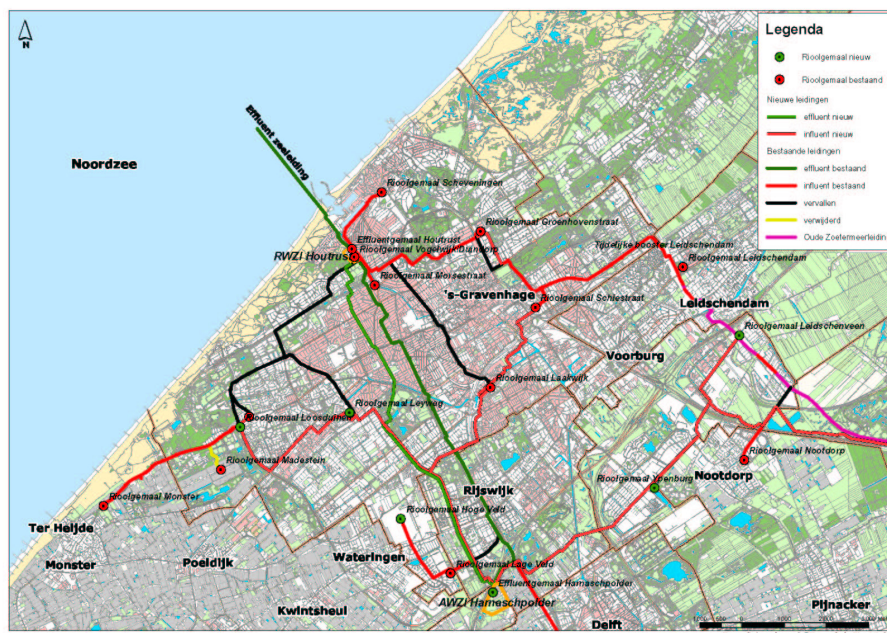
Vorm kalifosfaat	Productie +10%		Productie +15%	
	vast	oplossing	vast	oplossing
Materiaal	910	945	1.513	1.571
Transport	43	57	72	96
Vermenging	1.000	1.100	1.000	1.100
Totaal	1.953	2.102	2.585	2.767

10.3.2 Scheveningen (AWZI Houtrust en Harnaschpolder)

10.3.2.1 Beschrijving Situatie

Figuur 9 geeft een overzicht van de vuil- en schoonwaterleidingen in de Haagse regio. Gemiddeld wordt in deze regio 240.000 m³/dag gezuiverd rioolwater via een leiding in zee gestort, 2,5 km uit de kust van Scheveningen. Het debiet varieert in de tijd en ligt tussen 2 en 11 m³/s (gemiddeld 3 m³/s). Door de Noordoostelijke stroming in het kustwater wordt het geloosde water verspreid over de hele kustzone. Dit biedt dus de mogelijkheid om het water in de kustzone te verrijken met fosfaat. Het geloosde water wordt in 2 zuiveringsinstallaties gezuiverd: afvalwaterzuiveringsinstallatie (AWZI) Harnaschpolder (75%) en AWZI Houtrust (25%).

In de huidige situatie wordt het fosfaat uit het effluent chemisch verwijderd, en deze stap kan gemakkelijk worden uitgeschakeld. In de nabije toekomst wordt deze stap echter vervangen voor biologische zuivering, die niet kan worden uitgezet. In totaal wordt met deze stappen circa 1,5 ton P per dag uit het water verwijderd.



Figuur 9: Overzichtkaart Afvalwaterzuivering in Haagse regio. De schoonwater-leidingen die het gezuiverde water van de afvalwaterzuiveringsinstallatie (AWZI) Harnaschpolder naar AWZI Houtrust brengen zijn in groen weergegeven (bron: <http://www.hhdelfland.nl>).

10.3.2.2 Kosten fosfaatverrijking

Een eerste stap in de verrijking van het kustwater is het uitschakelen van de fosfaatverwijdering in van deze zuiveringsinstallaties. In de huidige situatie is dat technisch geen probleem en leidt tot een toename van de fosfaatlozing met 1.5 ton per dag. In werkelijkheid zal het iets lager (ongeveer 1.2 ton P) zijn omdat naar verwachting het uitvlokkend materiaal in dat geval iets meer fosfaat zal bevatten.

Hoewel dit de goedkoopste methode zou zijn, blijkt uit ecologische modelberekeningen dat het uitzetten van de fosfaatstap op zich geen oplossing biedt om de benodigde hoeveelheid fosfaat in de kustzone te brengen om een significante verhoging van de platvisstand te bereiken. Bovendien is dit in de nabije toekomst zeer waarschijnlijk niet meer mogelijk omdat wordt over gegaan van chemische zuivering naar biologische zuivering die niet simpelweg kan worden uitgezet.

Uitgaande van de ecologische modelberekeningen blijkt dat als we de opbrengst van trofisch niveau 3,5 met 10% ton zouden willen verhogen hiervoor 2900 ton P moet worden toegevoegd aan het effluent van de AWZIs. Voor de toevoeging van de benodigde hoeveelheid fosfaat aan de kustzone in zes maanden tijd moet per etmaal 16 ton P worden opgelost in het water dat door de AWZIs gezuiverd wordt (240.000m³) wat overeenkomt met een gemiddeld P-gehalte van 67 mg/l bij volledige menging. Dit zijn evenwel gehalten waarbij neerslag van o.m. calciumfosfaat zal plaatsvinden. Tabel 3 geeft weer wat de materiaal- en transportkosten van de verschillende vormen van fosfaat zijn en wat het effect op de pH van het effluent is wanneer het fosfaat gelijkmatig over het gehele effluent verdeeld wordt.

Tabel 3. *Materiaal- en transportkosten van verschillende vormen van fosfaat en effect op de pH van het effluent.*

	Fosforzuur	Triplesuperfosfaat	Kalifosfaat, vast	Kalifosfaat, oplossing
Materiaalkosten (kEuro)	3.031	2.929	15.080	15.660
Transportkosten (kEuro)	165	217	446	638
pH van oplossing	2,8	5,0	7	7

Uit tabel 3 kan worden afgeleid dat in deze situatie toevoeging van fosforzuur en (in mindere mate) triplesuperfosfaat leidt tot een grote afname van de pH van het effluent. Het is daarom zeer twijfelachtig of deze bronnen van fosfaat geschikt zijn om hier te gebruiken. De derde vorm van fosfaat is mogelijk wel geschikt, omdat het compleet oplost en geen effect heeft op de pH, echter neerslaan van P-zouten maakt dit geen praktische oplossing. Afhankelijk van de vorm die gekozen wordt variëren de kosten voor de grondstof tussen 15.080 en 15.660 kEuro. Daarnaast is tussen de 446 en 638 kEuro nodig om het fosfaat naar de lozingspunten te transporteren.

Op de locatie zelf moet het fosfaat goed gemengd worden met het water. Dit is waarschijnlijk mogelijk door het fosfaat als oplossing toe te voegen aan de uitloop van de bezinktanks (in de goot). Dit vergt weinig technische aanpassingen omdat hier al menging van het water optreedt. Hierbij kan worden gekozen voor een vast patroon van toevoegen, dat geen rekening houdt met het patroon in debiet, of een debietafhankelijke hoeveelheid die wordt toegevoegd. Deze laatste optie is duurder, maar de extra kosten zijn waarschijnlijk niet hoog (in de orde van een paar kEuro). Toevoeging van fosfaat volgens een vast patroon zal mogelijk leiden tot een verhoging van de resulterende concentraties met een factor 2 (minimale debiet is grofweg de helft van het gemiddelde debiet). Hierbij verdient de opgeloste vorm van kalifosfaat de voorkeur, omdat menging met het effluent sneller optreedt en omdat de dosering nauwkeuriger is. Om het opgeloste fosfaat toe te voegen aan het effluent is per locatie een

tank met pomp nodig en een persoon die dit in de gaten houdt. De totale hiervoor worden geschat op: 400 kEur
Dit brengt het totaal van de kosten voor deze pilot op ongeveer 16,0 – 16,7 miljoen Euro.

Ook in het geval van fosforzuur zijn deze extra kosten noodzakelijk, waardoor de totale kosten bij toevoegen van fosforzuur op 3,5 miljoen Euro komen.

Bij deze pilot moet echter wel worden opgemerkt dat in alle gevallen de fosfaatconcentraties (en Ca- cq K- concentraties) in het effluent zeer hoog zijn en dat dit zeer waarschijnlijk schadelijke effecten heeft op de lokale flora en fauna (toxische effecten, blauwalgenbloei etc).

10.3.3 Nieuwe waterweg

10.3.3.1 Beschrijving Situatie

Een groot deel van het rivierwater van de Rijn en de Maas komt door de Nieuwe Waterweg in de Noordzee. Daarmee is deze waterweg de grootste toeleverancier van zoetwater voor de Noordzee in Nederland met een gemiddeld jaarlijks debiet van 1500 tot 2000 m³/s. Het debiet varieert met de seizoenen en met de neerslag in de stroomgebieden van de rivieren.

10.3.3.2 Kosten fosfaatverrijking

Om de productie in de kustzone met 10% te vergroten is op deze locatie dezelfde hoeveelheid P nodig. De kosten van fosfaat en transport zijn dan ook hetzelfde als in het geval van Scheveningen. De kosten van verspreiding van het fosfaat over het water zullen echter variëren, afhankelijk van de manier van toedienen. Gelijmatige verdeling van het fosfaat over de hele waterkolom (leidend tot een P-gehalte van 0,1 mg/l) is niet mogelijk door het drukke scheepvaartverkeer. Daarom zal moeten worden gekozen om het fosfaat in een deel van het water op te lossen. Het grootste deel van het water wordt bereikt door (1) een buizensysteem op de bodem te leggen en van daaruit het opgeloste fosfaat in het water te spuiten, of (2) een vergelijkbaar systeem als voor de verdeling van de spuisluizen in de Afsluitdijk te installeren aan beide zijden van de waterweg. In beide gevallen zal het hierbij gaan om investeringen die waarschijnlijk miljoenen Euro's kosten. Een goedkoper alternatief is om het vast kalifosfaat met behulp van op pontons gemonteerde kunstmeststrooiers over het oppervlakte te verspreiden. Uitgaande van het gebruik van twee kunstmeststrooiers met een totale werkbreedte van 84 meter en een maximale capaciteit van 320 kg/min kan de benodigde hoeveelheid kalifosfaat (75 ton per dag) in minimaal 2 uur over het water worden verspreid. Als de verspreiding van het fosfaat wordt afgestemd op de stroomsnelheid en verspreid over de dag plaats vindt, het fosfaat gelijkmatig oplost in de bovenste 0,5 meter van het water en bij een gemiddelde uitstroom leidt dit tot maximale P concentraties van rond de 2-5 mg/l. De totale kosten van de verspreiding van het fosfaat blijven op deze manier beperkt tot ongeveer 250 kEuro (twee kunstmeststrooiers plus pontons en aan en afritten en arbeid gedurende 6 maanden). Het is echter zeer de vraag of Rijkswaterstaat toestemming geeft voor zulke constructies in de druk bevaren Nieuwe Waterweg. De totale kosten van de implementatie van deze pilot liggen dan in de orde grootte van 5-17 miljoen Euro.

10.4 Discussie

Hiervoor is een globale inschatting van de kosten van verschillende invullingen van een proef gegeven. De kosten van de technische implementatie van de proeven zijn een eerste indicatie en moeten verder uitgewerkt worden in het geval voor een bepaalde invulling wordt gekozen.

In deze notitie wordt naast de kosten van de uitvoering van de proef alleen aandacht gegeven aan de directe effecten van toevoeging van de verschillende vormen van fosfaat op de pH, en dit nog aan de hand van simpele

aannames. In de verdere uitwerking van de proef zal verder moeten worden ingegaan op de technische details van de vermenging van de meststoffen en het water met behulp van expertise in het veld van de hydrodynamica om ongewenst hoge concentraties van de meststoffen te voorkomen. Daarnaast zal ook een goede inventarisatie moeten worden gemaakt naar andere (lokale) effecten van de toevoeging van het fosfaat zoals het ontstaan van een blauwalgenbloei of de mogelijk toxische effecten van de hoge concentraties fosfaat en Ca en/of K.

11. Mogelijke effecten van fosfaattoevoegingen.

Fosfaat toevoegen zal alleen tot resultaten leiden als men dit in een periode doet dat fosfaat limiterend is voor de primaire productie. Het op het juiste moment (april-juli) toevoegen van fosfaat aan het mariene ecosysteem leidt waarschijnlijk tot een verhoging van de algenproductie in dat jaargetijde. Rekening houdend met de verblijftijd in de Nederlandse kustzone van circa drie maanden, zou al ongeveer drie maanden voor begin van de gelimiteerde periode met P-toevoeging moeten worden begonnen. In andere jaargetijden heeft het toevoegen van extra fosfaat waarschijnlijk geen effect. Het is mogelijk dat fosfaattoevoeging leidt tot een verschuiving in algensoorten waarbij de mogelijkheid van het optreden van plaagalgen niet valt uit te sluiten. Met name in het toeristenseizoen zou extra schuimvorming op de stranden tot problemen kunnen leiden. Een toename in het voorkomen van giftige algen kan nadelig zijn voor de schelpdiervisserij, aquacultuur en mogelijk voor de sportvisserij.

Een toename in de hoeveelheid algen kan primair leiden tot een hogere productie van herbivoren (planteneters zoals zooplankton en mosselen). Of dit zich vervolgens doorvertaalt naar carnivoren, en naar welke carnivoren, is uiterst onzeker en kan afhankelijk van de omstandigheden heel anders uitpakken dan de bedoeling was. Omdat boomkorvisserij met name is gericht op de vangst van tong en schol, en het effect van fosfaattoevoeging aan het Nederlandse kustwater op de oogstbare biomassa van deze hoog in de voedselketen staande soorten (secundaire-tertiaire consumenten) totaal onvoorspelbaar is, is het uiterst twijfelachtig of fosfaattoevoegingen de rentabiliteit voor de sector zullen verhogen. Door de lage conversie-efficiëntie tussen de trofische stappen zal een aanzienlijke hoeveelheid P nodig zijn voor een productieverhoging waarvan slechts een gering deel in de vis terecht zal komen en de rest zich elders in het systeem zal ophopen. Door het transport van de watermassa's langs de kust kan een deel van het overschot, in andere meer gevoelige gebieden zoals de Duitse Bocht terecht komen en lokaal tot een verhoogde kans op zuurstofloosheid kunnen leiden.

Indien men fosfaat niet vanaf de kust toevoegt maar in open zee, blijft het effect op de hogere trofische niveaus even onvoorspelbaar, en wordt de kans op giftige algenbloeien niet minder, hoewel de kans op problemen in de kustzone wel kleiner wordt. Het in open zee lozen van fosfaat heeft geen enkele relatie met de situatie in de tachtiger jaren en het aangeven van mogelijke effecten is niet op voorhand mogelijk.

12. Fosfaatvoorraad is eindig.

Naar aanleiding van de berichtgeving in de pers zijn wij er van diverse kanten op gewezen dat de fosfaatvoorraden in de wereld eindig zijn en dat het absoluut geen duurzame aanpak is om fosfaat in zee te brengen.

Naar aanleiding van deze opmerkingen hebben wij een kort literatuuronderzoek gedaan naar dit aspect. Belangrijke bron is hierbij het proefschrift van B. Gumbo getiteld "Short-cutting the phosphorus cycle in urban ecosystems" (Delft, 2005). Refererend naar Steen (1998) geeft Gumbo aan dat de verwachte voorraden afhankelijk van het mondiale groeiscenario nog 60 tot 130 jaar kunnen voorzien in de mondiale fosfaatbehoefte. Zelf werkt hij dit ook uit en komt op een verwachte uitputting in 50 tot 100 jaar. Bij een toename van de mondiale consumptie van 3% per jaar zou de economisch winbare hoeveelheid in 2055 op zijn. Op dit moment daalt de consumptie in de westerse landen maar stijgt deze in landen als India en China sterk, leidend tot een netto toename van de mondiale vraag.

Ook wijst Gumbo er op dat gebruik van fosfaat op land nog kan leiden tot mogelijke recycling van het gebruikte fosfaat, maar dat gebruik in open water systemen leidt tot verlies van dit fosfaat, waarna het niet herwinbaar is. In de discussie met Zuiveringschap Delfland werd dit zelfde punt door de heer Been ook naar voren gebracht. Hij verwachtte een stijging van de fosfaatprijs en gaf aan dat waterschappen serieus bezig zijn de fosfaatcyclus zoveel mogelijk gesloten te krijgen om tot duurzaamheid te komen. Lozen in zee zou dit proces doorkruisen. Concluderend: de winbare fosfaatvoorraden in de wereld zijn eindig en zullen in 50 tot 100 jaar uitgeput zijn. Er zijn mogelijkheden om de humane kringloop beter te sluiten en tot efficiënt hergebruik te komen. Lozen in zee leidt tot verlies van fosfaat en levert geen bijdrage aan een duurzaam gebruik van deze eindige hulpbron.

13. Literatuur

- Alheit, J., C. Mollman, J. Dutz, G. Kornilovs, P. Loewe, V. Mohrholz, and N. Wasmund. 2005. Synchronous ecological regime shifts in the central Baltic and the North Sea in the late 1980s. *ICES Journal of Marine Science* 62:1205-1215
- Beaugrand, G. 2004. The North Sea regime shift: evidence, causes, mechanisms and consequences. *Progress in Oceanography* 60:245-262.
- Beaugrand, G., K. M. Brander, J. A. Lindley, S. Souissi, and P. C. Reid. 2003. Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. *Nature* 426:661-664.
- Beukema J.J. 1991. Changes in composition of bottom fauna of a tidal-flat area during a period of eutrophication. *Mar. Biol.* 111:292-301.
- Beukema, J.J., Essink K., Michaelis H. 1996. The geographic scale of synchronized fluctuation patterns in zoobenthos populations as a key to underlying factors: climatic or man-induced. *ICES Journal of Marine Science* 53: 964-971.
- Boddeke, R. (1971) *Vissen & vissen. Ervaringen van een visserijbioloog en sportvisser.* Elsevier/ Amsterdam-Brussel. Tweede druk 1974. pp 239.
- Boddeke R., en Hagel, P. 1991. Eutrophication of the Dutch coastal zone, a blessing in disguise. *ICES CM* 1991/E:7.
- Boddeke, R. and P. Hagel 1995. Eutrophication, fisheries, and productivity of the North Sea continental zone. Condition of the world's aquatic habitats. *Proceedings of the world fisheries congress, theme 1.* N. B. Armantrout and R. J. Wolotira. New Delhi, Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd.: 290-315.
- Booker NA, Priestley AJ & Frase IH. 1999. Struvite formation in wastewater treatment plants: opportunities for nutrient recovery. *Environmental Technology* 20: 777-782
- Brinkman, A.G. & Smaal A.C. 2003 *Onttrekking en natuurlijke productie van schelpdieren in de Nederlandse Waddenzee in de periode 1976-1999.* Alterra-rapport 888, ISSN 1566-7197.
- Caddy, J. F. (2000). "Marine catchment basin effects versus impacts of fisheries on semi-enclosed seas." *Ices Journal Of Marine Science* 57(3): 628-640.
- Cadée, G.C. & J. Hegeman 1993. Persisting high levels of primary production at declining phosphate concentrations in the Dutch coastal area (Marsdiep). *Neth. J. Sea Res.* 31: 147-152.
- Carlberg, A. (2005). "The SUCOZOMA program: Results and challenges." *Ambio* 34(2): 62-64.
- Daan, N., H. Gislason, J. Pope, J. Rice (2005). Changes in the North Sea fish community: evidence of indirect effects of fishing? *ICES Journal of Marine Science* 62: 177-188.
- Daskalov, G. M. 2002. "Overfishing drives atrophic cascade in the Black Sea." *Marine Ecology-Progress Series* 225: 53-63.
- Daskalov, G. M. 2003. "Long-term changes in fish abundance and environmental indices in the Black Sea." *Marine Ecology-Progress Series* 255: 259-270.
- De Roos AM, Persson L (2002) Size-dependent life-history traits promote catastrophic collapses of top predators. *Proc Nat Acad Science* 99: 12907-12912
- Eby, L. A., L. B. Crowder, et al. (2005). "Habitat degradation from intermittent hypoxia: impacts on demersal fishes." *Marine Ecology-Progress Series* 291: 249-261.
- Gerlach S.A., 1990. Nitrogen, phosphorus, plankton and oxygen deficiency in the German Bight and in Kiel Bay. *Kieler Meeresforschungen, Sonderheft Nr. 7*, pp 1-341.
- Gray, J. S., R. S. S. Wu, et al. (2002). "Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment." *Marine Ecology-Progress Series* 238: 249-279.
- Grift, RE Welleman HC Rijnsdorp AD van der Veer HW 2001 *De visgemeenschap en visserij in het Nederlandse kustgebied en de Westelijke Waddenzee.* RIVO C047/01.
- Gumbo, B. (2005). Short-cutting the phosphorus cycle in urban ecosystems. PhD Dissertation, Delft University of Technology. Published by Taylor & Francis Group plc, London, UK. Pp: 316.
- Heath, M. R. (2005). "Changes in the structure and function of the North Sea fish foodweb, 1973-2000, and the impacts of fishing and climate (vol 62, pg 847, 2005)." *Ices Journal Of Marine Science* 62(6): 1202-1202.

- Heath, M. R. (2005). "Regional variability in the trophic requirements of shelf sea fisheries in the Northeast Atlantic, 1973-2000." *Ices Journal Of Marine Science* 62(7): 1233-1244.
- Hempel G. 1978. North Sea fisheries and fish stocks – A review of recent changes. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int Explor Mer* 173:145-167.
- Hickel W., Mangelsdorf P. & Berg J. 1993. The human impact in the German Bight: Eutrophication during three decades (1962-1991). *Helgol. Meeresunters.* 47:243-263.
- Hurrell, J. W., and R. R. Dickson. 2004. Climate variability over the North Atlantic. Pages 15-32 in N. C. Stenseth, G. Ottersen, J. W. Hurrell, and A. Belgrano, editors. *Marine Ecosystems and Climate Variation*. Oxford University Press, Oxford, UK
- Iverson, R. L. (1990). "Control of marine fish production." *Limnology and Oceanography* 35: 1593-1604.
- Jennings, S., Dinmore, T.A., Duplisea, D.E., Warr, K.J., Lancaster, J.E., 2001. Trawling disturbance can modify benthic production processes. *J. Anim. Ecol.* 70, 459-475
- Kaiser, M.J., Ramsay, K., Richardson, C.A., Spence, F.E., Brand, A.R., 2000. Chronic fishing disturbance has changed shelf sea benthic community structure. *J. Anim. Ecol.* 69, 494-503
- Karlson, K., R. Rosenberg, et al. (2002). Temporal and spatial large-scale effects of eutrophication and oxygen deficiency on benthic fauna in Scandinavian and Baltic waters - A review. *Oceanography and Marine Biology*, Vol 40. 40: 427-489.
- Kemp, W. M., W. R. Boynton, et al. (2005). "Eutrophication of Chesapeake Bay: historical trends and ecological interactions." *Marine Ecology-Progress Series* 303: 1-29.
- Köster, F.W., Hinrichsen, H.-H., Schnack, D., St. John, M. A., MacKenzie, B. R., Tomkiewicz, J., Möllmann, C., Kraus, G., Plikshs, M., Makarchouk, A., and Eero, A. 2003. Recruitment of Baltic cod and sprat stocks: identification of critical life stages and incorporation of environmental variability into stock-recruitment relationships. *Sci. Mar.* 67 (Suppl.1): 129-154.
- Köster, F.W., Möllmann, C., Neuenfeldt, S., Vinther, M., St. John, M.A., Tomkiewicz, J., Voss, R., Hinrichsen, H.H., Kraus, G., and Schnack, D. 2003a. Fish stock development in the Central Baltic Sea (1976-2000) in relation to variability in the physical environment. *ICES Mar. Sci. Symp.* 219: 294-306.
- Lee, G. F. and R. A. Jones (1991). "Effects Of Eutrophication On Fisheries." *Reviews In Aquatic Sciences* 5(3-4): 287-305.
- Lindeboom, H.J. (2005) Comparison of Effects of Fishing with Effects of Natural Events and Non-Fishing Anthropogenic Impacts on Benthic Habitats. In: *Benthic Habitats and the Effects of Fishing* (Eds. P.W. Barnes & J.P.Thomas) American Fisheries Society Symposium 41: 609-619
- Lindeboom, H.J. 2002. Changes in Coastal Zone Ecosystems. In: *Climate development and history of the North Atlantic realm*. (Eds. G. Wefer, W.H. Berger, K.-E. Behre, E. Jansen). Springer, Berlin.: 447-455.
- MacKenzie, B. R., H. H. Hinrichsen, et al. (2000). "Quantifying environmental heterogeneity: habitat size necessary for successful development of cod *Gadus morhua* eggs in the Baltic Sea." *Marine Ecology-Progress Series* 193: 143-156.
- MacKenzie, B. R., Hinrichsen, H.-H., Plikshs, M., Wieland, K., Zezera, A. 2000. Quantifying environmental heterogeneity: estimating the size of habitat for successful cod *Gadus morhua* egg development in the Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series* 193: 143-156
- MacKenzie, B.R. and Köster, F.W. 2004. Fish production and climate: sprat in the Baltic Sea. *Ecology* 85(3): 784-794.
- Micheli, F. (1999). "Eutrophication, fisheries, and consumer-resource dynamics in marine pelagic ecosystems." *Science* 285(5432): 1396-1398.
- Millner, R.S., Flatman, S., Rijnsdorp, A.D., Beek, F.A. van, Clerck, R.de, Damm, U., Tetard, A. and Forest, A. 1996. Comparison of long-term trends in growth of sole and plaice populations. *ICES Journal of Marine Science* 53: 1196-1198
- Millner, RS, Whiting, CL 1996. Effects of fishing and environmental variation on long-term changes in growth and population abundance of sole in the North Sea from 1940 to the present. *ICES Journal of Marine Science* 53: 1185-1195
- Nielsen, E. and K. Richardson (1996). "Can changes in fisheries yield in the Kattegat (1952-1992) be linked to changes in primary production?" *Ices Journal of Marine Science* 53: 988-994.
- Nixon, S. W. and B. A. Buckley (2002). "'A strikingly rich zone' - Nutrient enrichment and secondary production in coastal marine ecosystems." *Estuaries* 25(4B): 782-796.
- Olsen, Y., T Bøckmann, T.Bokn, S.Bremdal, E.Hoell, V.øiestad, H.R.Skjoldal, E.Svendsen and O.Vadstein. (2001) MARICULT research Programme (1996-2000). Final Scientific and Management Report from the Steering Committee. ESBN: 82-996202-0-1.

- Olsen, Y. (2002). MARICULT Research Programme: background, status and main conclusions. *Hydrobiologia* 484: 1-10.
- Pauly, D. and V. Christensen (1995). "Primary production required to sustain global fisheries." *Nature* 374: 255-257.
- Pauly, D., V. Christensen, et al. (1998). "Fishing down marine food webs." *Science* 279: 860-863.
- Petersen, J. K. and L. Pihl (1995). "Responses to hypoxia of plaice, *Pleuronectes platessa*, and dab, *Limanda limanda*, in the South-East Kattegat - Distribution and growth." *Environmental Biology of Fishes* 43(3): 311-321.
- Philippart, C.J.M., G.C. Cadée, W. van Raaphorst & R. Riegman. (2000). Long-term phytoplankton-nutrient interactions in a shallow coastal sea: Algal community structure, nutrient budgets, and denitrification potential. *Limnol. Oceanogr.* 45: 131-144.
- Philippart CM, Beukema JJ, Cadée GC, Dekker R, Goedhart PW, Van Iperen JM, Leopold MF & Herman PMJ. 2007. Impacts of nutrient reduction on coastal communities. *Ecosystems*. DOI:10.1007/s10021-006-9006-7
- Pihl, L., S. P. Baden, et al. (1991). "Effects of periodic hypoxia on distribution of demersal fish and crustaceans." *Marine Biology* 108(3): 349-360.
- Pihl, L., J. Modin, et al. (2005). "Relating plaice (*Pleuronectes platessa*) recruitment to deteriorating habitat quality: effects of macroalgal blooms in coastal nursery grounds." *Canadian Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences* 62(5): 1184-1193.
- Pihl, L., A. Svenson, et al. (1999). "Distribution of green algal mats throughout shallow soft bottoms of the Swedish Skagerrak archipelago in relation to nutrient sources and wave exposure." *Journal of Sea Research* 41(4): 281-294.
- Reitan, K. I., G. Oie, et al. (2002). "Response on scallop culture to enhanced nutrient supply by experimental fertilisation of a landlocked bay." *Hydrobiologia* 484(1-3): 111-120
- Rijnsdorp, A.D. and Millner, R.S. 1996. Trends in population dynamics and exploitation of North Sea plaice (*Pleuronectes platessa* L.) since the late 1800s. *ICES Journal of Marine Science* 53: 1170-1184.
- Rijnsdorp, A.D. and van Leeuwen, P.I. 1996. Changes in growth of North Sea plaice since 1950 in relation to density, eutrophication, beam-trawl effort, and temperature. *ICES Journal of Marine Science* 53: 1199-1213.
- Rijnsdorp, A.D. en Van Beek, F.A. 1991. Changes in growth of North sea plaice and sole. *Neth. J. Sea Res.* 27: 441-457.
- Rijnsdorp, A.D., Van Keeken, O.A., Bolle, L.J. 2004. Changes in productivity of the southeastern North Sea as reflected in the growth of plaice and sole. *ICES CM2004/K:13*
- Rijnsdorp, A.D., van Leeuwen, P.I., Daan, N. and Heessen, H.J.L. 1996. Changes in abundance of demersal fish species in the North Sea between 1906-1909 and 1990-1995. *ICES Journal of Marine Science* 53: 1054-1062.
- Rijnsdorp, A.D., Vingerhoed, B. 2001. Feeding of plaice, *Pleuronectes platessa*, and sole *Solea solea* in relation to the effects of bottom trawling. *Journal of Sea Research*, 45: 219-230
- Scheffer, M. and S. Carpenter (2003). "Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation." *Trends in Ecology and Evolution* 18(12): 648-656
- Schratzberger, M., Dinmore, T.A., Jennings, S., 2002. Impacts of trawling on the diversity, biomass and structure of meiofauna assemblages. *Mar. Biol.* 140, 83-93
- Schuiling RD & Andrade A. 1999. Recovery of struvite from calf manure. *Environmental Technology* 20: 765-768
- Steen, P. (1998). Phosphorus recovery in the 21st century: Management of a non-renewable resource. *Phosphorus and Potassium Journal*, Issue No. 217.
- Teal, L.R., De Leeuw, J.J., Rijnsdorp, A.D. 2006. Effects of climate change on growth of 0-group sole and plaice. *Aangeboden Van Keeken, O.A., Van Hoppe, M., Griff, R.E., Rijnsdorp, A.D. 2007. The implications of changes in the spatial distribution of juveniles for the management of North Sea plaice (*Pleuronectes platessa*). Journal of Sea Research. In press.*
- Van Raaphorst W & De Jonge VN. 2004. Reconstruction of the total N and P inputs from the IJsselmeer into the western Wadden Sea between 1935-1998. *J. Sea Res.* 51 (2004): 109-131.
- Veldhuis, M.J.W. (1987) The eco-physiology of the colonial alga *Phaeocystis pouchetii*. PhD thesis, Rijks Universiteit Groningen. pp127.
- Weijerman, M., H. Lindeboom, A. Zuur. (2005). Regime shifts in marine ecosystems of the North Sea and Wadden Sea. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 298: 21-39.
- Wu, R. S. S. (2002). "Hypoxia: from molecular responses to ecosystem responses." *Marine Pollution Bulletin* 45(1-12): 35-45.
- Zevenboom, W. 1993. Assessment of eutrophication and its effects in marine waters. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Supplement 1*: 141-170

Bijlage I.

Technische toelichting op Waddenzeemodel

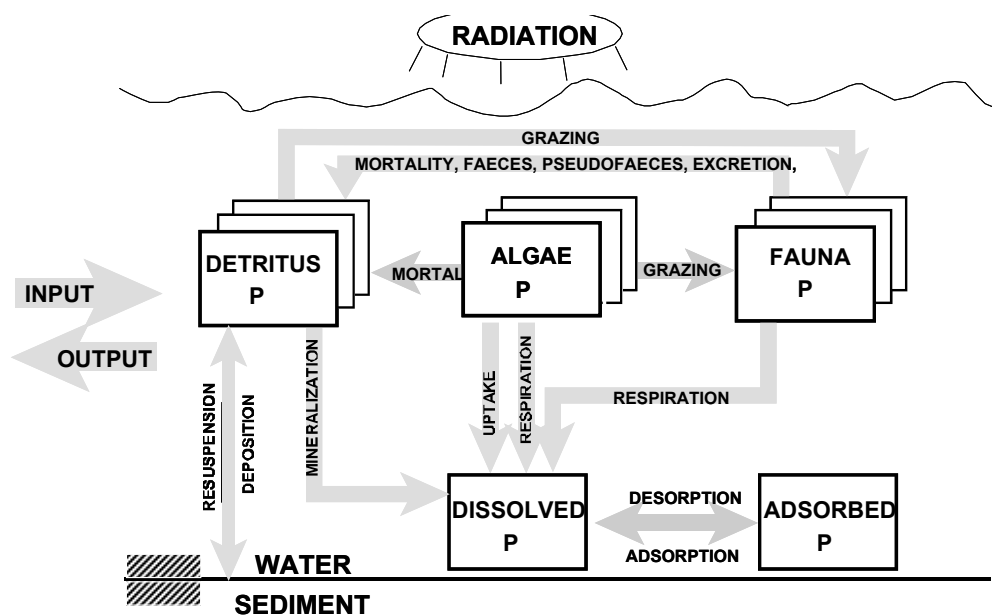
A.G. Brinkman, IMARES

I.1 Het model

Het gebruikte model is EcoWasp. Dit wordt hier niet in detail beschreven; daartoe wordt verwezen naar Brinkman & Smit (1993), Brinkman (1993), Brinkman & Smaal (2003), Brinkman (2005).

Globaal omschreven betreft het een stofstroommodel voor de westelijke Waddenzee, waarbij toevoer van nutriënten en particulier materiaal vanuit het IJsselmeer en de Noordzee de sturende factoren zijn, naast watertemperatuur en zonne-instraling. Het onderzoeksgebied zelf is in een aantal water compartimenten (water plus bodem) opgedeeld, waarbij ook onderscheid wordt gemaakt tussen droogvallende en diepe delen. Tussen de compartimenten vindt advectioneel en dispersief transport plaats.

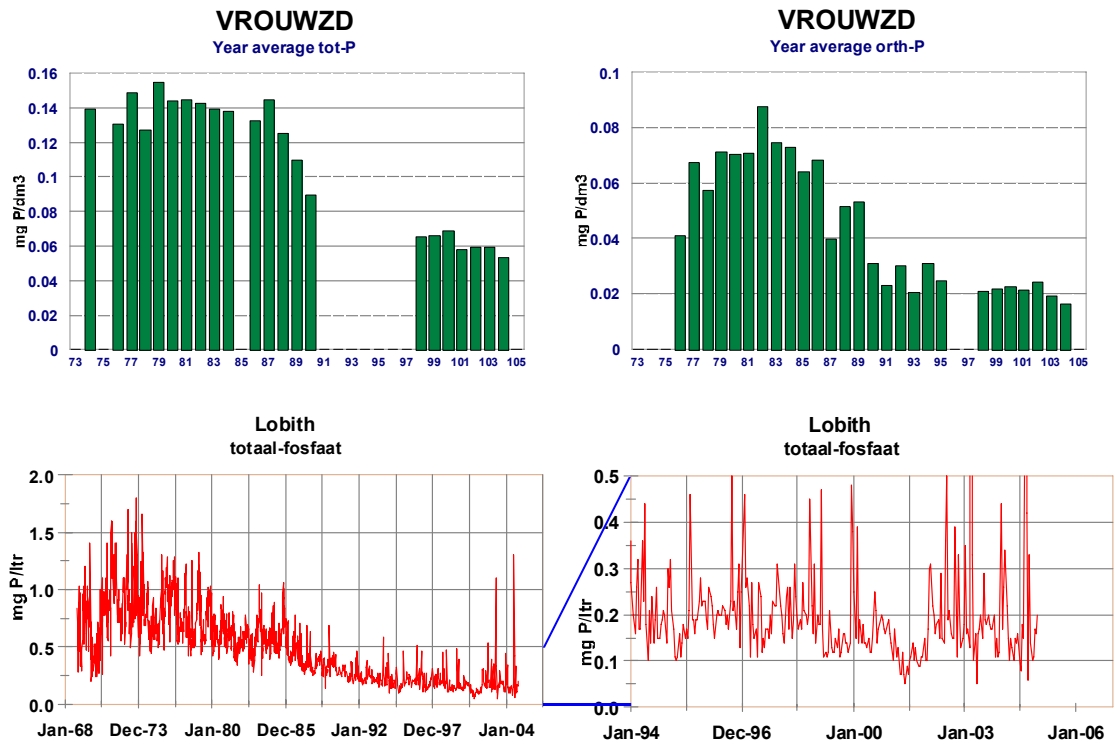
In elk van de compartimenten (zowel water als bodem) vinden de processen (Figuur 1) plaats: algen gebruiken nutriënten en licht om te groeien, schelpdieren filteren de algen uit het water, en na afsterven komen door remineralisatie nutriënten weer beschikbaar voor algengroei. De bodem werkt hierbij als opslagmedium voor nutriënt en organisch materiaal, en vormt aldus als buffer.



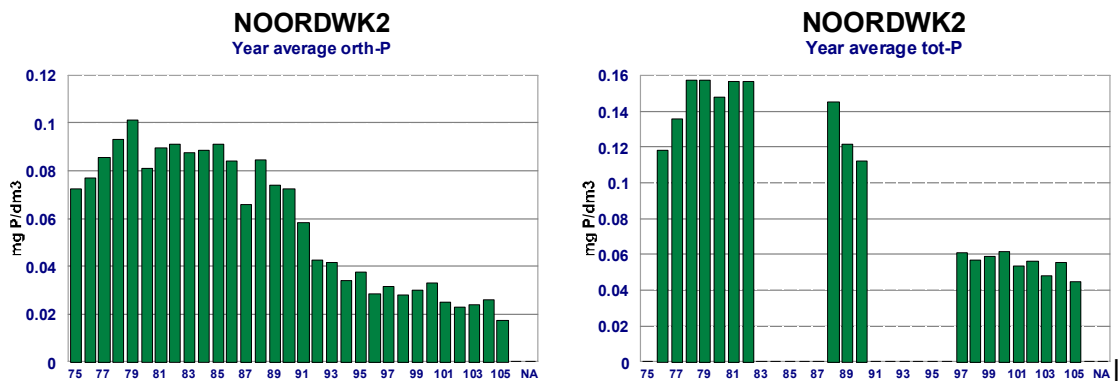
Figuur 1. Schematisch overzicht processen EcoWasp model.

I.2 Input-data

Sturende grootheden zijn de concentraties nutriënt in de toevoer naar de Waddenzee. In Figuur 2 is een aantal waarden gegeven voor respectievelijk IJsselmeer en Noordzee.



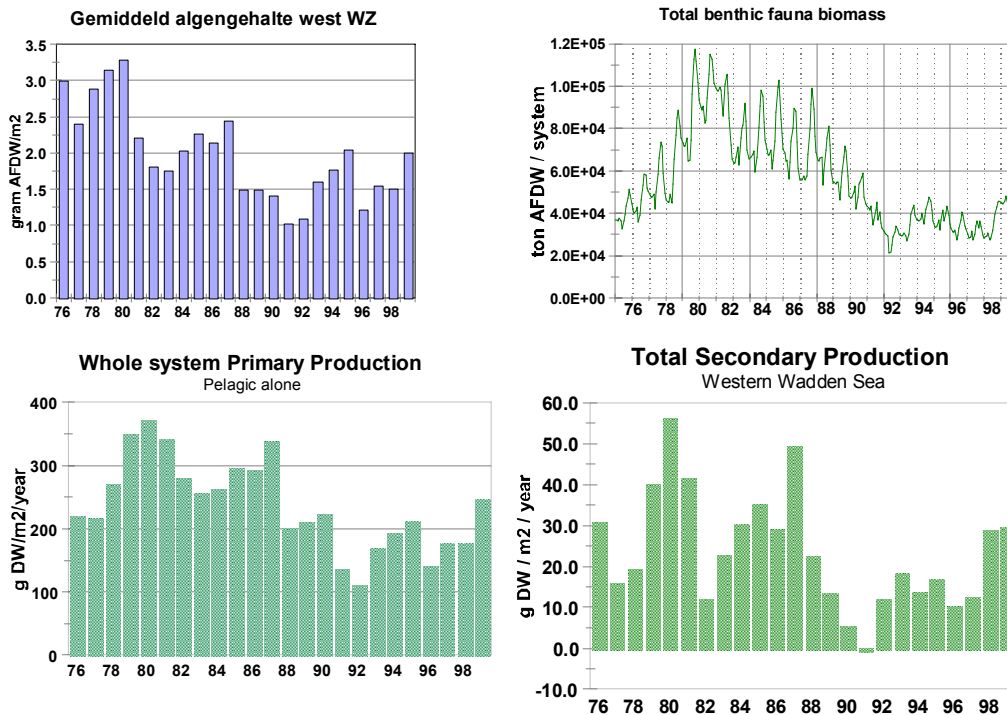
Figuur 2. Totaal fosfaat bij Lobith en totaal-fosfaat plus ortho-fosfaat bij Vrouwenzand (centraal IJsselmeer). Voor Lobith (onderste twee grafieken) is de rechter grafiek een uitvergroting van de linker voor de periode 1994-2005, waaruit duidelijk wordt dat na 1996 de afvoer van totaal-fosfaat niet veel meer veranderd is.



Figuur 3. Totaal fosfaat plus ortho-fosfaat bij Noordwijk (NZ kustzone, 2 km uit de kust). Ook na 1999 daalt de [P] nog enigszins.

I.3 Standaardscenario NYO

Er is een run gedaan met de inputdata zoals ze zijn, voor de periode 1976-1999. Berekende waarden voor chlorofyl-a, de maximaal mogelijke hoeveelheid schelpdieren in de westelijke Waddenzee en de secundaire productie zijn gegeven in Figuur 4.



Figuur 4. Enkele uitkomsten van de standaard simulatie (ongewijzigde omstandigheden voor de periode 1976-1999). Het gemiddelde algengehalte is in gram asvrij drooggewicht (AFDW) per m^3 . De benthische fauna biomassa is in ton AFDW voor het gehele systeem. Primaire productie in $g\ AFDW\ m^{-2}\ a^{-1}$, evenals de totale secundaire productie. Duidelijk is dat de primaire productie een factor 6 à 8 hoger ligt dan de secundaire. De laatste is ook onderhevig aan grotere fluctuaties.

I.4 Overzicht van scenario's

Er zijn 90 scenario's doorgerekend, waarbij steeds de toevoer van opgelost fosfaat is veranderd **vanaf het moment van 1 januari 1993**. Er zijn vier verschillende methoden gebruikt om de [P] te wijzigen:

- gedurende het gehele jaar is de [opgelost-P] aan de randen met een factor verhoogd
- gedurende de periode april t/m juli is de [opgelost-P] aan de randen met een factor verhoogd
- gedurende de periode april t/m juli is de [opgelost-P] aan de randen op een bepaalde waarde vastgezet
- gedurende de periode april t/m juli is aan de randen een zekere [opgelost-P] aan de waarden toegevoegd

De *randen* betreffen bij de eerste twee groepen scenario's zowel het IJsselmeer als de Noordzee, en bij de laatste twee alleen het IJsselmeer.

In onderstaande tabel is aangegeven welke scenario's gedraaid zijn.

Tabel 1. Scenario-overzicht.

Gehele jaar veranderd									
Factor	1.1	1.2	1.5	2	4	8	15	30	50
Marsdiep	N11	N12	N15	N20	N40	N80	NA5	NC0	NE0
Noordzee	S11	S12	S15	S20	S40	S80	SA5	SC0	SE0
Den Oever	O11	O12	O15	O20	O40	O80	OA5	OC0	OE0
IJsselmeer	X11	X12	X15	X20	X40	X80	XA5	XC0	XE0
Alleen veranderd in periode april tot en met juli									
Factor	1.1	1.2	1.5	2	4	8	15	30	50
Marsdiep	M11	M12	M15	M20	M40	M80	MA5	MC0	ME0
Noordzee	Z11	Z12	Z15	Z20	Z40	Z80	ZA5	ZC0	ZE0
Den Oever	D11	D12	D15	D20	D40	D80	DA5	DC0	DE0
IJsselmeer	Y11	Y12	Y15	Y20	Y40	Y80	YA5	YC0	YE0
Vaste waarde aangenomen voor randconcentratie									
[P] mol m⁻³	5E-04	6.50E-04	1^E-03	1.50E-03	2E-03	3E-03	5E-03	1E-02	2E-02
IJsselmeer	F54	F64	F13	FG4	F23	F33	F53	F12	F22
Vaste toevoeging aan randconcentratie									
[P] mol m⁻³	5E-04	6.50E-04	1^E-03	1.50E-03	2E-03	3E-03	5E-03	1E-02	2E-02
IJsselmeer	A54	A64	A13	AG4	A23	A33	A53	A12	A22

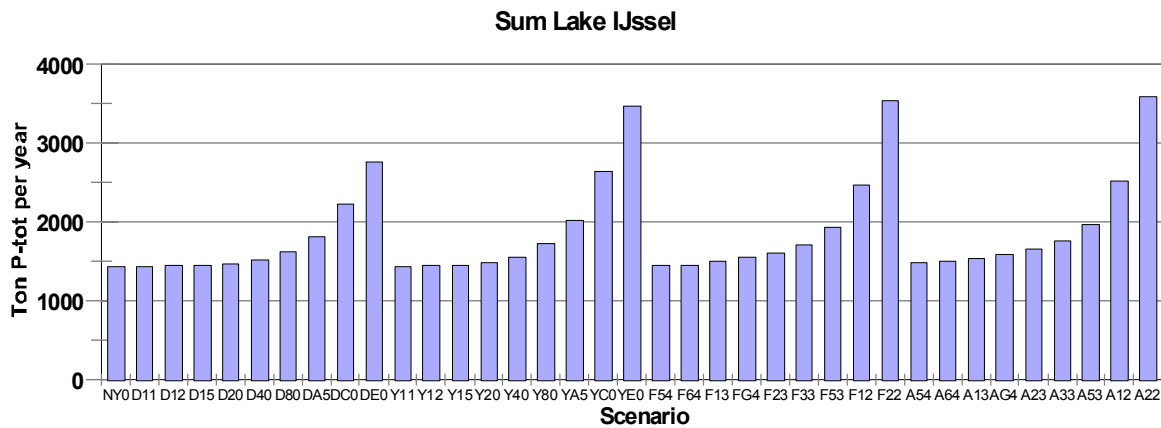
I.5 Presentatie en discussie van resultaten

Die scenario's waarbij gedurende een heel jaar de [P] in het toevoerwater is vermenigvuldigd met een bepaalde factor blijken nogal onrealistisch. De reden is ten eerste dat het weinig zinvol lijkt om gedurende het winterseizoen, wanneer de [P] toch al relatief hoog zijn, veel fosfaat toe te voegen, te meer omdat er dan nauwelijks primaire productie plaatsvindt. Ten tweede resulteren deze scenario's in extreem hoge [P] –waarden wanneer de vermenigvuldigingsfactor groot is.

Ook de Noordzee-scenario's zijn voor de praktijk minder relevant omdat daar de sturingsmogelijkheden veel geringer zijn dan voor de IJsselmeer-scenario's. Daarom vormen bij de presentatie van de resultaten de IJsselmeer-scenario's de hoofdmoot, en dienen de overige resultaten als illustratie van andere (en minder relevante) opties. Alleen resultaten voor de periode 1993-1999 zijn gegeven. Hierbij moet opgemerkt worden dat de effecten de neiging hebben met enige vertraging door te werken: in het jaar 1999 zijn de effecten groter dan in 1994.

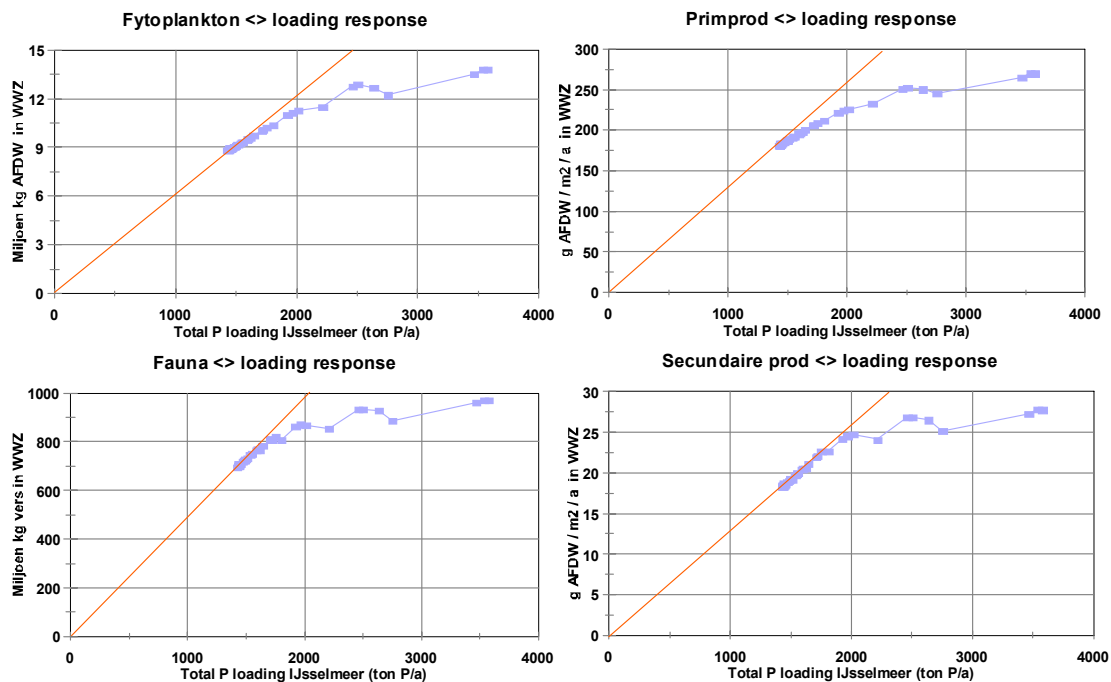
I.6 Resultaten

In Figuur 5 is een overzicht gegeven variatie in fosfaattoevoer voor de verschillende IJsselmeer-scenario's (zie ook tabel 1). De veranderde P-toevoer vond steeds plaats in de maanden april-juli, en in de jaren 1993-1999. De jaren 1976-1992 bleven dus steeds ongewijzigd.



Figuur 5. Totaal-P belasting (ton P per jaar) voor de verschillende scenario's.

In Figuur 6 is aangegeven wat de gevolgen zijn van de verschillende scenario's voor algengehalte, schelpdierbestand, primaire en secundaire productie. Deze gevolgen gelden dus voor de periode 1993-1999 alleen. Gemiddeld voor deze periode is een lichte stijging van de fosfaattoevoer gunstig voor de groeimogelijkheden van schelpdieren; een sterke stijging heeft op den duur weinig effect. De reden is dat in de huidige situatie ongeveer 25% van het toegevoerde totaal-fosfaat (vanuit het IJsselmeer) ook in de Waddenzee achter blijft. Bij een kleine toevoeging van ortho-fosfaat is het retentiepercentage van die extra hoeveelheid ongeveer 25-30%. Naarmate de extra toevoeging toeneemt, neemt het retentiepercentage af; en bij een toevoer van $2.2 \cdot 10^{-3} \text{ mol P m}^{-3}$ (70 mg P m^{-3}) is dat gedaald tot ongeveer 9%. De overige 91% komt in de Noordzeekustzone terecht.



Figuur 6. Dosis-effect relaties voor fytoplankton en schelpdieren, en primaire en secundaire productie. De X-as geeft de totale P-belasting weer over het gehele jaar; de toename van belasting ten opzichte van de standaardtoestand (scenario NYO) vindt uitsluitende plaats in de vier maanden april-juli. De rode lijn geeft een lineaire relatie weer.

I.7 Slot

Er zijn twee onderwerpen die commentaar vragen:

- Kloppen de waarden die hier berekend zijn voor de standaardtoestand ongeveer met die uit het Noordzeemodel van Ruurdij?
- Is de dosis-effectrelatie verklaarbaar?

De eerste vraag kan positief beantwoord worden: de secundaire productie die uit het Noordzeemodel volgt voor de Waddenzee is van de orde van 15-20 g AFDW m² a⁻¹, en dat is vergelijkbaar met die uit Figuur 4.

Voor de tweede vraag volgt een analoog antwoord: het Noordzeemodel berekent weliswaar een kleiner effect, maar daar is het verspreidingsgebied van toegevoegd fosfaat ook aanzienlijk groter. Ondanks de vrij geringe retentie in de Waddenzee gedraagt dat systeem zich toch meer gesloten dan de Noordzeekustzone, wat het lineaire effect verklaart.

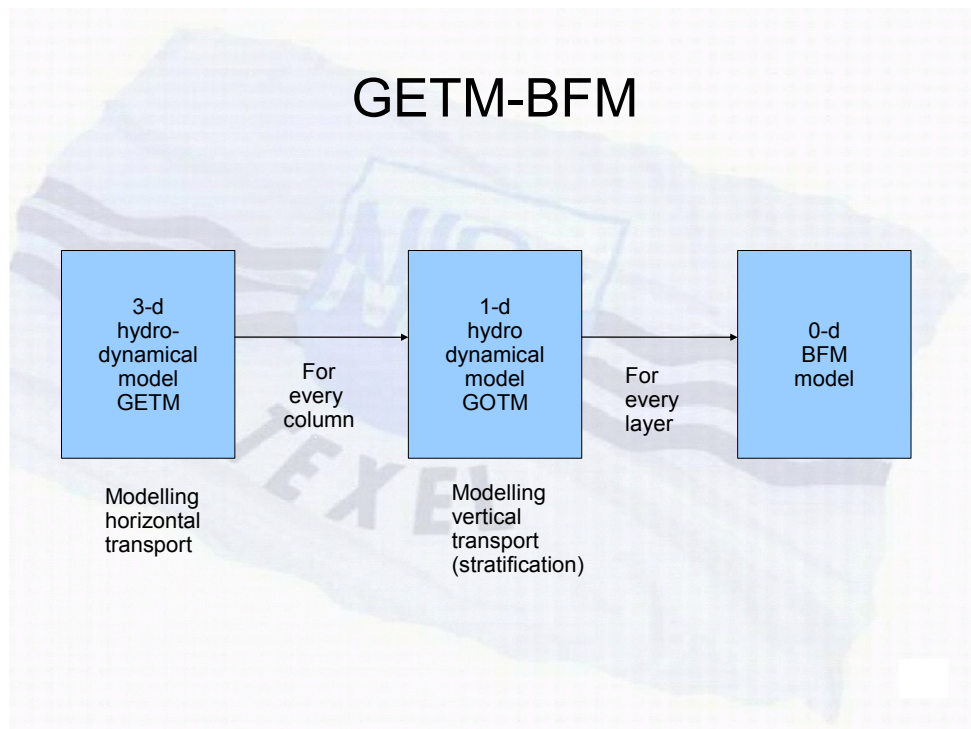
I.8 Referenties

- Brinkman AG, 1993. Biological processes in the EcoWasp ecosystem model. IBN Research Report 93/6. Institute for Forestry and Nature Research, Wageningen, 111 pp.
- Brinkman, A.G. and Smit, J.P.C., 1993. Pore water profiles in the EcoWasp ecosystem model. IBN Research Report 93/2. Institute for Forestry and Nature Research, Wageningen, 62 pp.
- Brinkman AG & Smaal AC. 2003 Onttrekking en natuurlijke productie van schelpdieren in de Nederlandse Waddenzee in de periode 1976-1999. Alterra/RIVO. Alterra-rapport 888, 247 pp.

Bijlage 2.

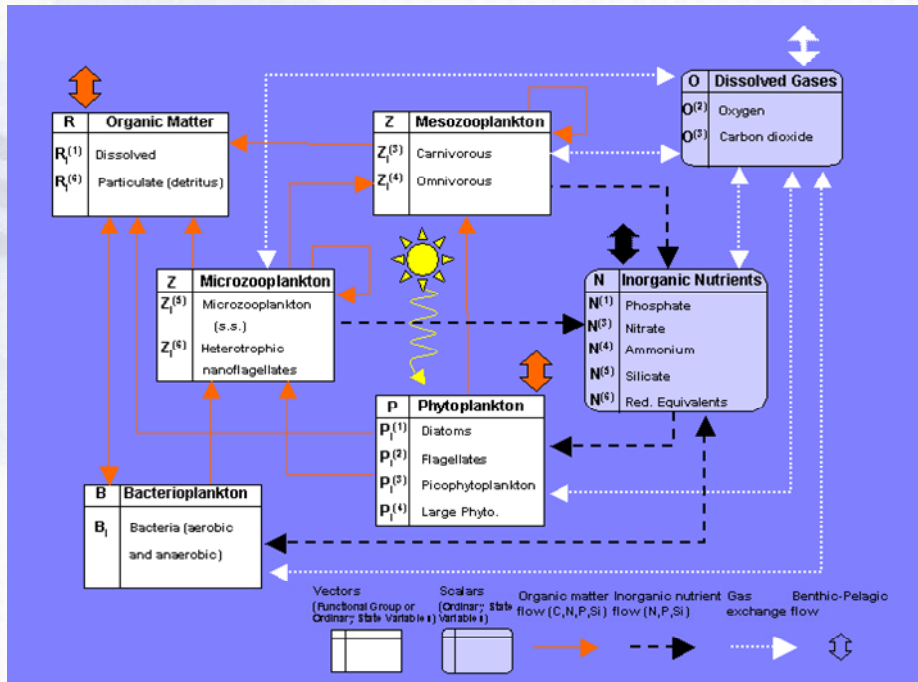
Berekeningen met het Noordzeemodel

P Ruardij, NIOZ

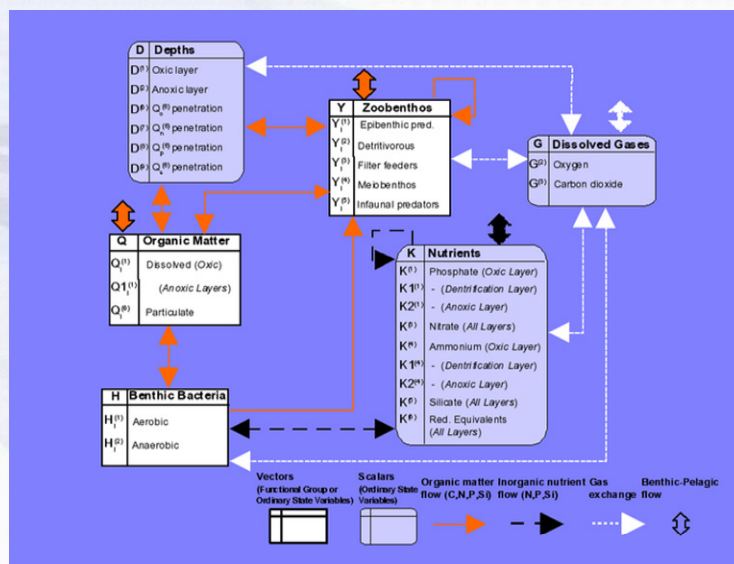


- ### GETM-BFM
- GETM: 3d-hydrodynamical model
 - Nauwkeurigheid: 6 nautisch-mijl-grid (10 by 10 kilometer)
 - 25 verticale lagen
 - 111*87 *25 grid (droge+natte) punten.
 - Model berekingen op cluster:
 - 8 gekoppelde PC's
 - Een modelrun voor 1 jaar duurt 12 uur.

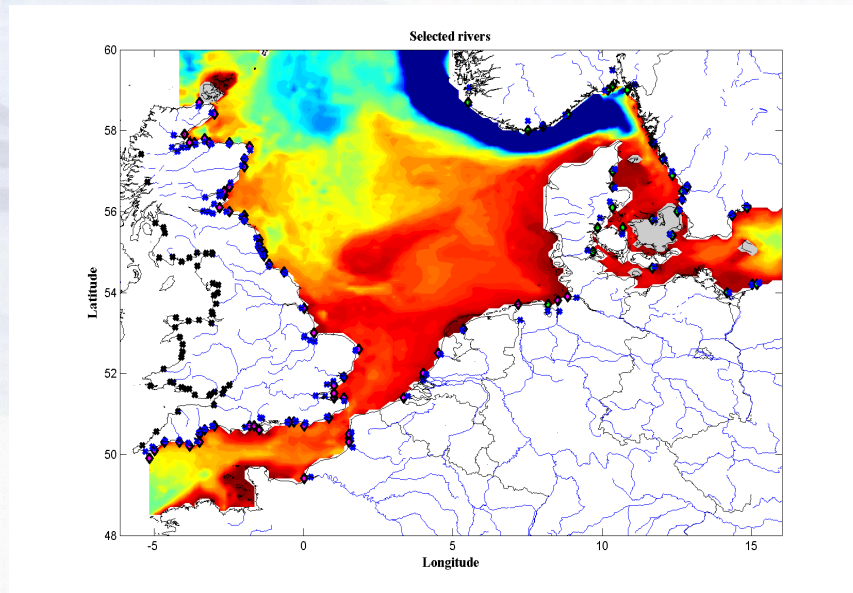
Pelagisch model



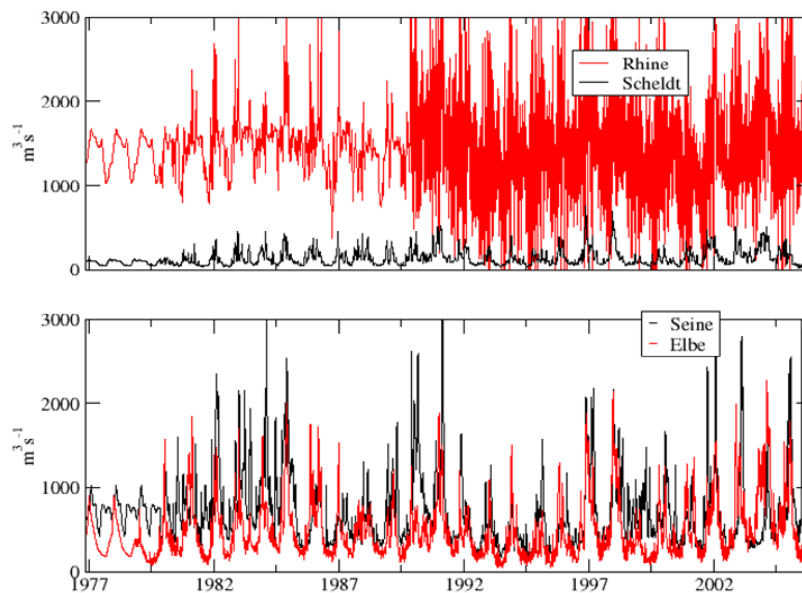
Benthisch model



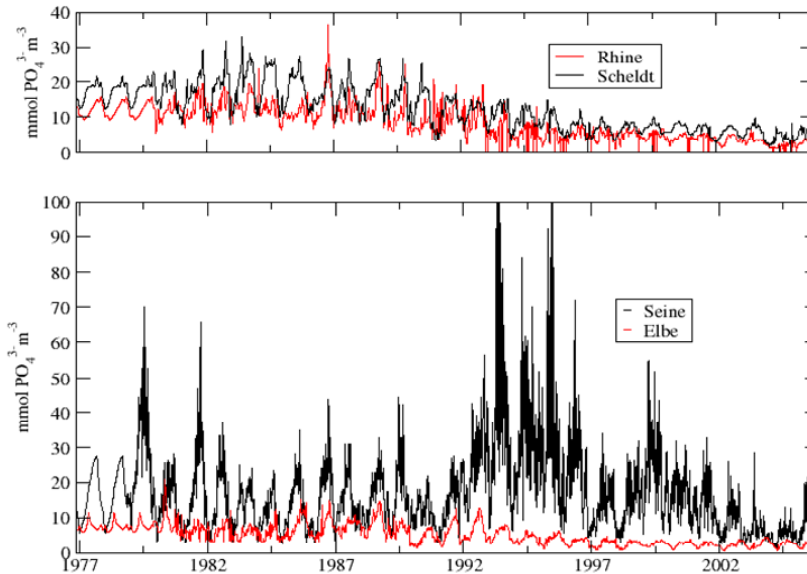
Rivieren in model :



Rivier Input: waterafvoeren



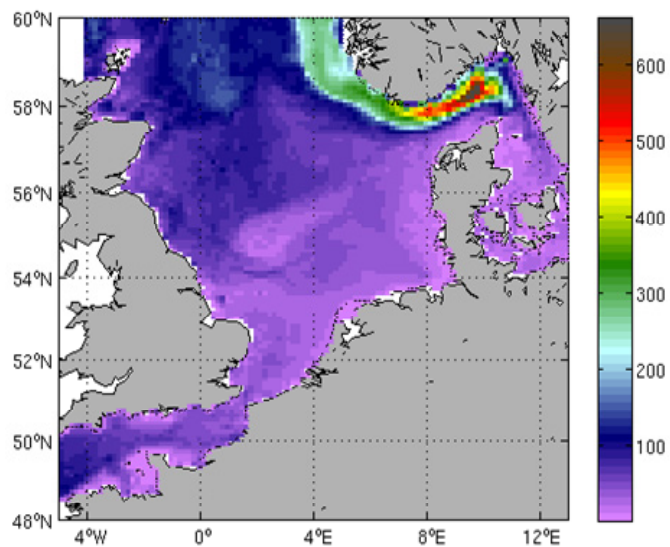
Rivier Input: fosfaat



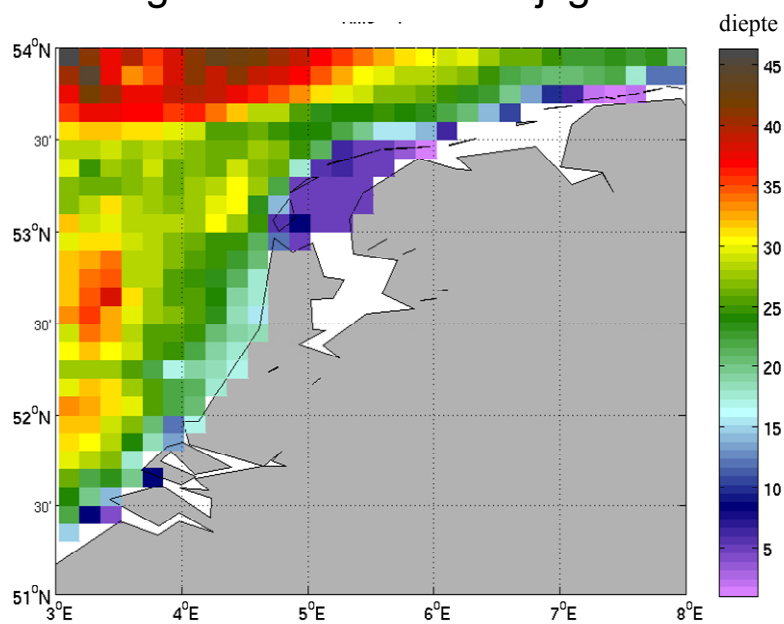
Standard run:

- De “standard run” is uitgevoerd voor de periode februari-juni in 1998:
 - alle forcing (meteorologische, grenscondities en riviervrachten) zijn gebaseerd op gemeten data in 1998
 - Er wordt vanuit gegaan dat veranderingen in de nutrient loadings in de rivieren de grootste impact hebben in deze periode.
 - Initiële waarden zijn afgeleid van een 13 maand-run voorafgaand aan de periode januari 1997-februari 1998
- De resultaten van deze simulatie-run zijn vergeleken met 2 gevoeligheidsanalyse runs:
 - Een run met 45% van de fosfaat loading in 1998. (= de 2006-loading) .
 - Een run met 197% van de fosfaat loading in 1998, (= het jaar met de hoogst waargenomen fosfaat loading)

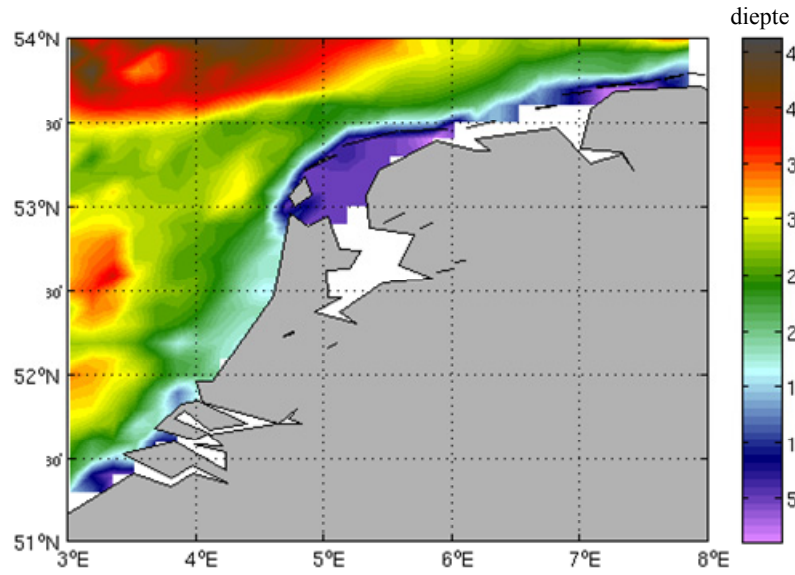
Modelgebied:



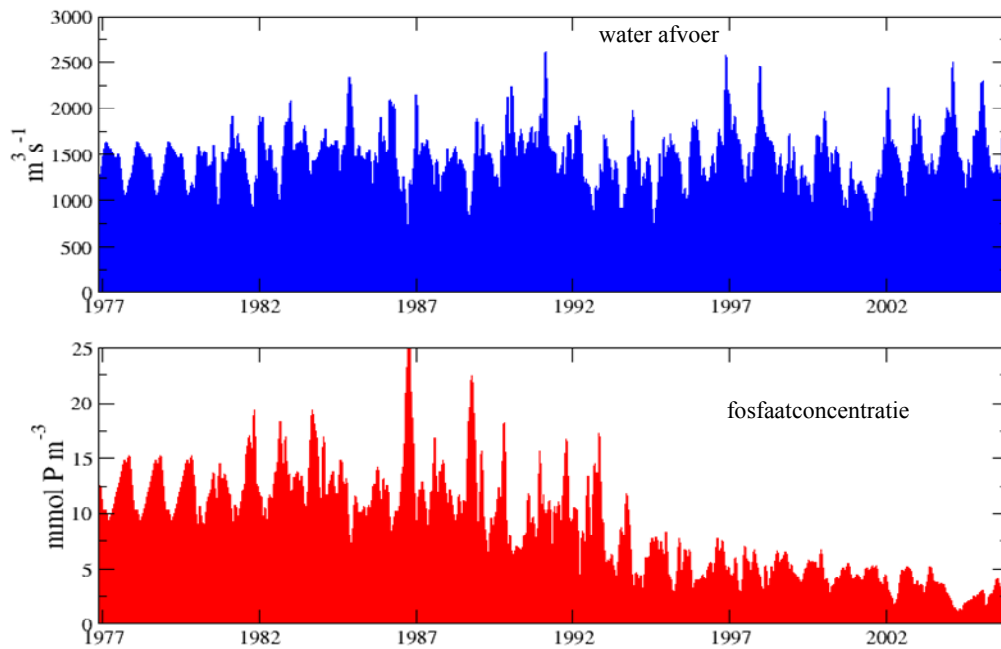
Onderzoeksgebied: 6 nautical mijl grid



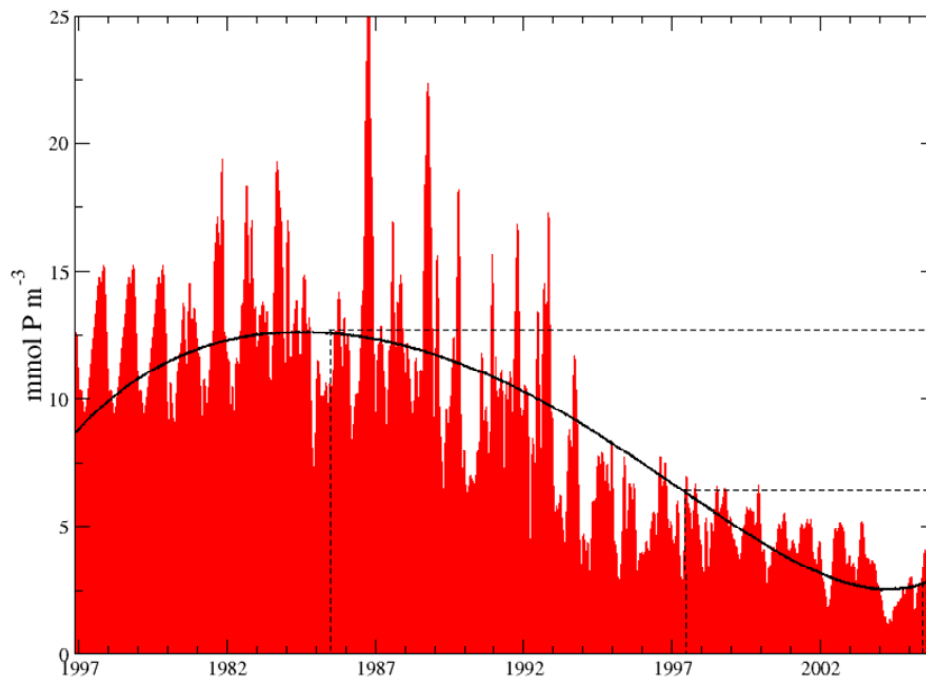
Onderzoeksgebied: geïnterpoleerd



Rijn:



Vergelijk 1985, 1997, 2006

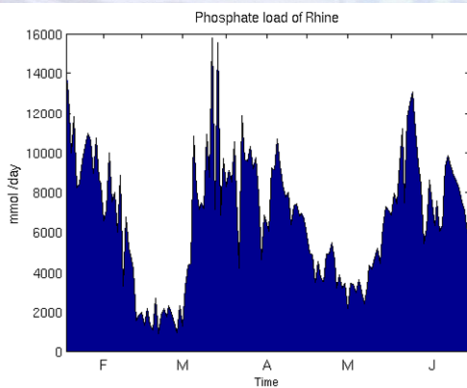


PO_4^{3-} input:

582 kmol $\text{PO}_4^{3-}[\text{P}]$ per dag
 =18 ton $\text{PO}_4^{3-}[\text{P}]$ per dag
 =57 ton $\text{PO}_4^{3-}[\text{H}_3\text{PO}_4]$ per dag

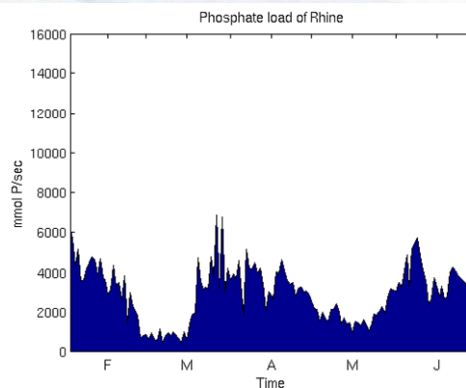
PO_4^{3-} input:

253 kmol $\text{PO}_4^{3-}[\text{P}]$ per dag
 =7.8 ton $\text{PO}_4^{3-}[\text{P}]$ per dag
 =25 ton $\text{PO}_4^{3-}[\text{H}_3\text{PO}_4]$ per dag



Standaard run

Simulatieperiode:
 Februari-Juni 1997

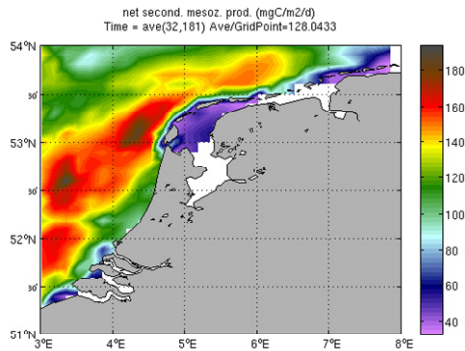


Een run met 2006-fosfaat input
 van de Rijn.

Simulatieperiode:
 Februari-Juni 1997

Standaard run

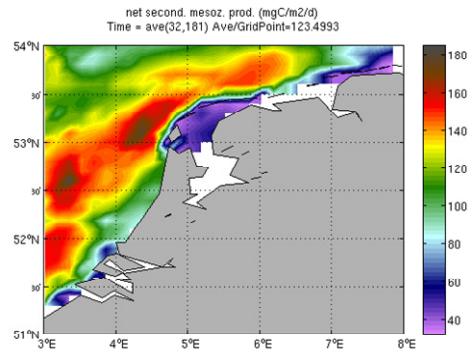
Simulatieperiode:
Februari-Juni 1997



Secondaire zooplanktonproductie:
128 mg C/m²/d
(gemiddelde over het (natte) gebied)

Run met 2006 fosfaat input
van de Rijn

Simulatieperiode:
Februari-Juni 1997

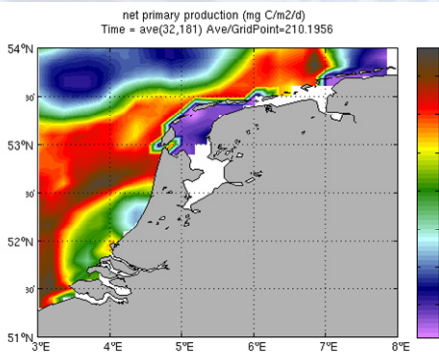


Secondaire zooplanktonproductie:
123.5 mg C/m²/d
(gemiddelde over het (natte) gebied)

Is er een vergelijkbaar verschil voor primare productie ?JA

Standaard run

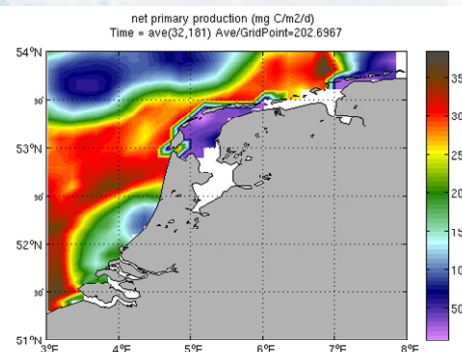
Simulatieperiode:
Februari-Juni 1997



Primaire productie: 210 mg C/m²/d
(gemiddelde over het (natte) gebied)

Run met 2006 fosfaat input
van de Rijn

Simulatieperiode:
Februari-Juni 1997



Primaire productie: 202 mg C/m²/d
(gemiddelde over het (natte) gebied)

Onderzoeks gebied te groot?

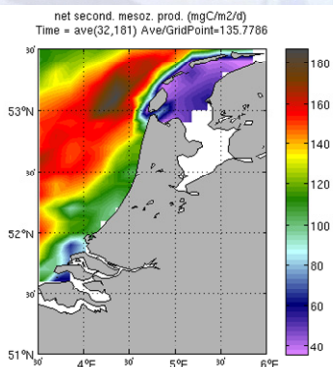
Is er voor een kleiner gebied wel een 10% verschil tussen de 2 runs?NEE

Standaard run

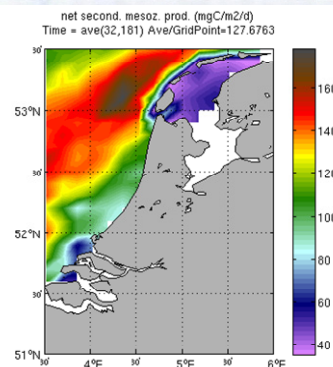
Simulatieperiode:
februari-june 1997

Run with 2006 fosfaat input
in de Rijn

Simulatieperiode:
februari-Juni 1997



Secondaire productie: 135 mg C/m2/d
(gemiddelde over het (natte) gebied)



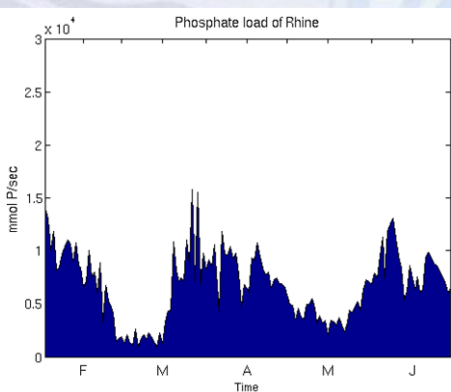
Secondaire productie: 127 mg C/m2/d
(gemiddelde over het (natte) gebied)

PO₄³⁻ input:

582 kmol PO₄³⁻[P] per dag
=18 ton PO₄³⁻[P] per dag
=57 ton PO₄³⁻[H₃PO₄] per dag

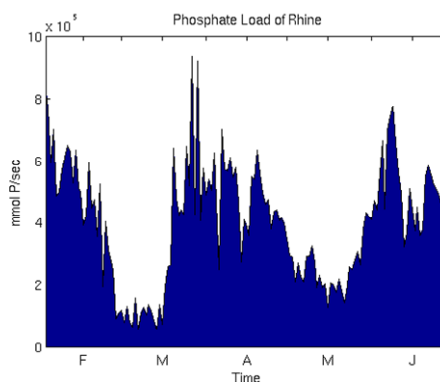
PO₄³⁻ input:

1146 kmol PO₄³⁻[P] per dag
=36 ton PO₄³⁻[P] per dag
=112 ton PO₄³⁻[H₃PO₄] per dag



Standaard run

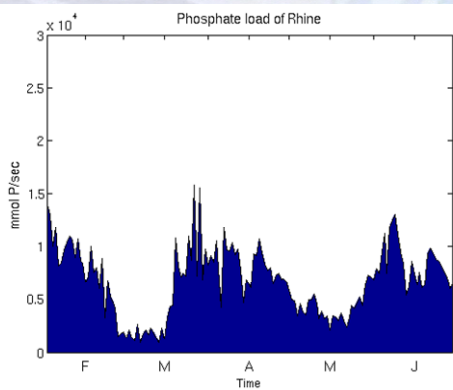
Simulatieperiode:
februari-juni 1997



Run met 1985 fosfaat input
van de Rijn
Simulatieperiode:
februari-juni 1997

PO₄³⁻ input:

582 kmol PO₄³⁻[P] per dag
=18 ton PO₄³⁻[P] per dag
=57 ton PO₄³⁻[H₃PO₄] per dag

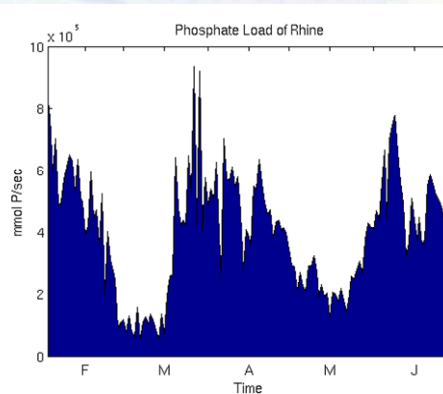


Standaard run

Simulatieperiode:
februari-juni 1997

PO₄³⁻ input:

1146 kmol PO₄³⁻[P] per dag
=36 ton PO₄³⁻[P] per dag
=112 ton PO₄³⁻[H₃PO₄] per dag



Run met 1985 fosfaat input
van de Rijn

Simulatieperiode:
februari-juni 1997

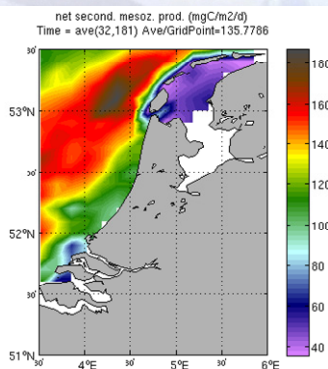
*Is er voor een kleiner gebied wel een verschil
van 10 % tussen de runs?JA*

Standard run

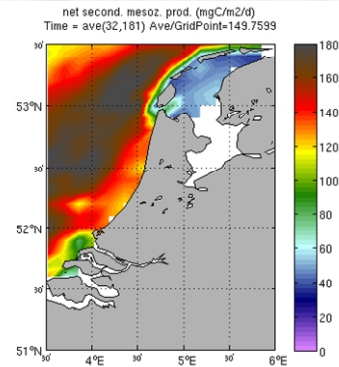
Simulatieperiode:
februari-juni 1997

Run with 1985 fosfaat input
van de Rijn.

Simulatieperiode:
februari-Juni 1997

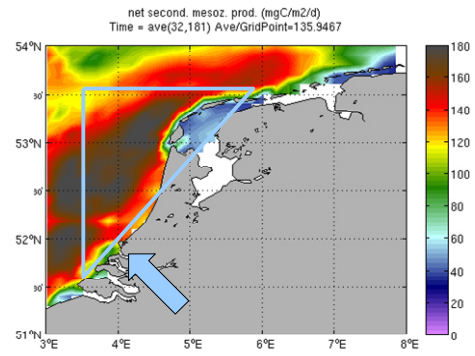
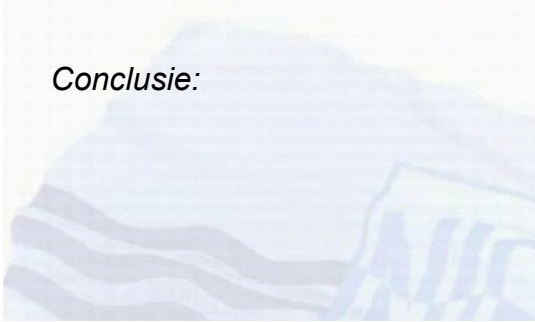


Secondaire productie: 135 mg C/m²/d
(gemiddelde over het (natte) gebied)

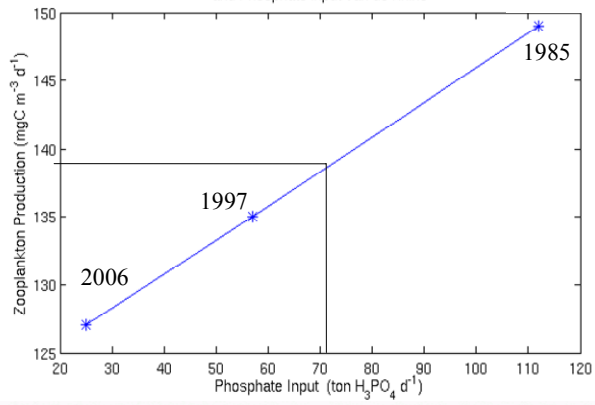


Secondaire productie: 149 mg C/m²/d
(gemiddelde over het (natte) gebied)

Conclusie:



Relation between Zooplankton production in kuststrook and Phosphate input van de Rhine



Bijlage 3.

Voorgesteld NWO Pilot Project voor Nationaal onderzoeksprogramma Zee- en kustonderzoek

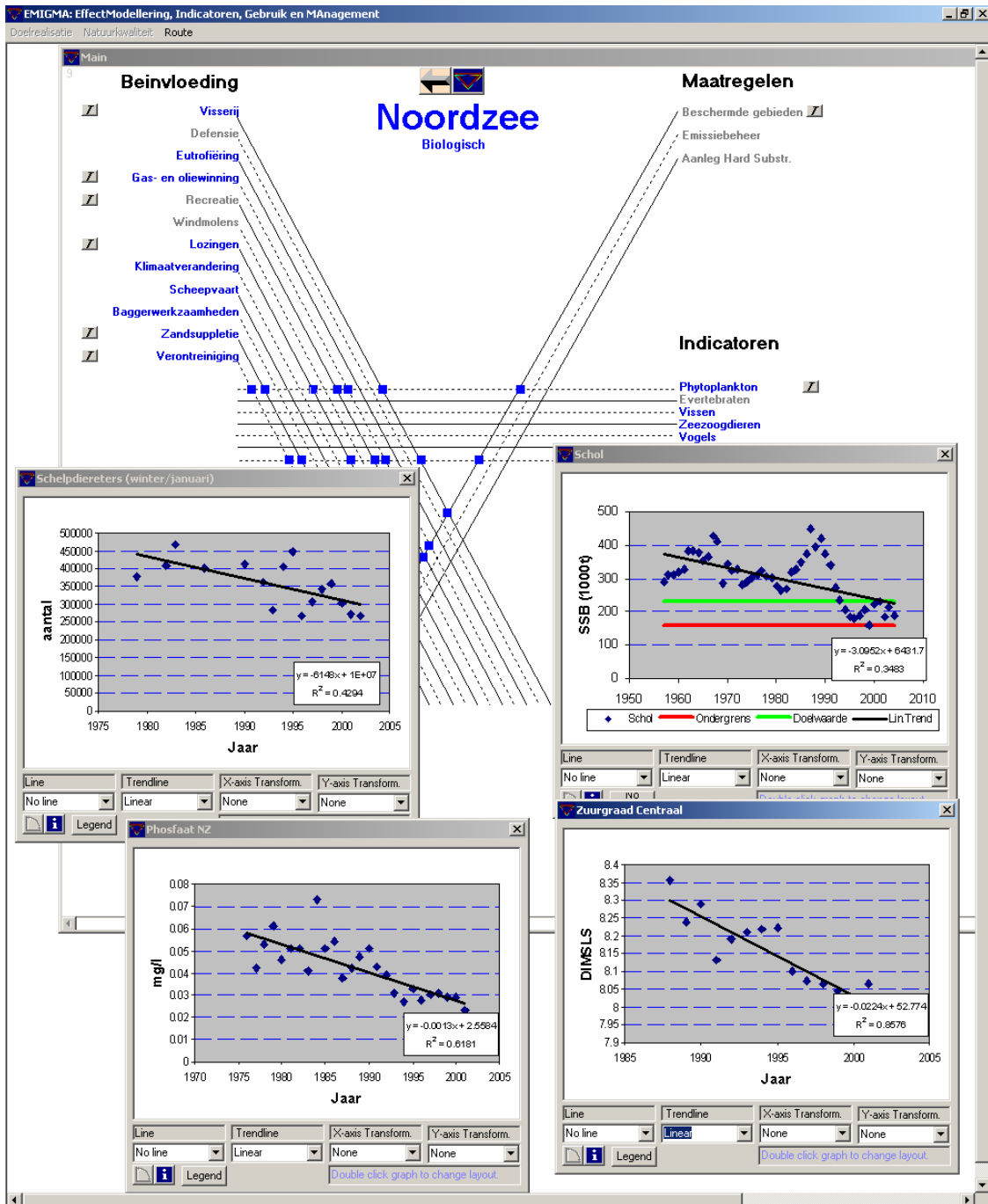
Dalende draagkracht: wetenschappelijke verklaringen en maatschappelijke consequenties

Om in 2006 zo snel mogelijk een start met actuele projecten te kunnen maken en ervaring op te doen met de voorgestelde MTI structuur wordt voorgesteld een pilot project op te starten gewijd aan een zeer actueel onderwerp in de Nederlandse kustwateren, waarvoor alleen antwoorden zijn te geven middels een integrale aanpak en waaraan alle aan het MTI geconformeerde instituten kunnen bijdragen. De keuze is daarbij gevallen op de mogelijk veranderende draagkracht van het Nederlandse mariene systeem, de oorzaken hiervan en de consequenties voor beheer en gebruik.

Het laatste decennium is er een duidelijk dalende trend waargenomen van diverse vissoorten in Waddenzee en Noordzee en van bijvoorbeeld schelpdieren en schelpdieretende vogels in de Waddenzee (zie Figuur). Daartegenover staat een snel groeiend aantal zeezoogdieren. Dit leidt tot grote problemen voor de visserij en diverse NGOs maken zich zorgen over afnemende natuurwaarden. En moeten we wel aan grootschalige aquacultuur beginnen als de draagkracht lijkt te dalen? En wat gebeurt er met de draagkracht voor vogels als een invasieve soort als de Japanse oester ons toch al dalende mosselbestand in Oosterschelde en Waddenzee verdringt. Voor het toekomstig omgaan met visserij, natuur en waterkwaliteit is het van groot belang zo snel mogelijk te achterhalen wat er in onze kustzone aan de hand is en hoe we hier beheersmatig op kunnen of moeten reageren. Om dat verantwoord te kunnen doen is een wetenschappelijk onderbouwd verklaring voor de waargenomen fenomenen noodzakelijk. Daarbij zijn meerdere mogelijkheden: er is een dalend fosfaatgehalte in de kustzone waargenomen en een daling van de pH in het gehele zeegebied, waarschijnlijk gedeeltelijk gekoppeld aan het stijgende CO₂ gehalte. Er zijn aanwijzingen dat de algen primaire productie daalt, maar of dit komt door veranderende nutriënten- of slibgehalten, of iets anders is nog niet duidelijk. Recent is het fenomeen regiem verschuivingen geïntroduceerd en worden veranderingen in aard en hoeveelheid instromend oceaانwater geconstateerd. Maar ook het klimaat verandert en wat is het effect van de waargenomen temperatuurstijging of veranderingen in windklimaat. Het is ook mogelijk dat dalende vis- of vogelbestanden worden veroorzaakt door visserij of verontreinigingen. En hoe verklaren we de toegenomen aantallen zeezoogdieren, gaat het bij ons zo goed, of elders juist zo slecht? Kunnen we in de opengevallen plekken in het ecosysteem meer van dit soort (invasieve) verschuivingen verwachten en wat is het gevolg voor het totale voedselweb?

Om deze vragen wetenschappelijk verantwoord te kunnen beantwoorden is een integrale aanpak door participerende instituten noodzakelijk. Alleen een combinatie van monitoring, veldwerk, experimenten en modellering kan deze vragen beantwoorden.

Bij deze MTI-pilot zullen de concepten van gezamenlijke vraagarticulatie en integrated assessment worden ingezet. Om nog in 2006 van start te kunnen gaan, zal een in te stellen programmaraad aan de financierende departementen en instellingen concrete projectvoorstellen doen voor het uit te voeren interdisciplinair onderzoek.



Verantwoording

Dit rapport voor

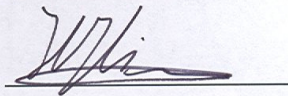
opdrachtgever: Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
Directie Visserij
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en beoordeeld door of namens het Wetenschapsteam van Wageningen IMARES.

Akkoord:

Dr. H.J. Lindeboom
Senioronderzoeker

Handtekening:



Datum:

3 april 2007

Akkoord:

Dr. J.J. de Leeuw
Namens het Wetenschapsteam



Datum:

3 april 2007

