

Wageningen IMARES

Institute for Marine Resources and Ecosystem Studies

Postbus 68
1970 AB IJmuiden
Tel.: 0255 564646
Fax.: 0255 564644
E-mail: visserijonderzoek.asg@wur.nl
Internet: www.rivo.wageningen-ur.nl

Vestiging Yerseke
Centrum voor Schelpdier Onderzoek
Postbus 77
4400 AB Yerseke
Tel.: 0113 672300
Fax.: 0113 573477

Vestiging Texel
Postbus 167
1790 AD Den Burg
TEXEL
Tel: 0222 369700
Fax: 0222 319235

Rapport

Nummer: C029/06

Effecten van fosfaat addities in het verleden en mogelijkheden voor onderzoek: een bureau studie naar de mogelijke effecten van fosfatering van de zee op de visproductie

Dr. H.J. Lindeboom, Dr. A.D. Rijnsdorp

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

Project nummer: 3.88.99999.11

Akkoord: Drs. E. Jagtman
Hoofd Onderzoeksorganisatie

Handtekening: _____

Datum: april 2006

Aantal exemplaren: 25
Aantal pagina's: 21
Aantal figuren: 4
Aantal bijlagen: 2

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

Antwoord:	3
Inleiding:	3
1. Productiviteit van zee-ecosystemen	4
2. Visproductie in zee	5
3. Effecten van eutrofiering in zee	7
4. Noorse proeven met fosfaat addities	8
5. Fosfaat trends in het verleden	10
6. Algen.....	11
7. Schelpdieren.....	11
8. Vissen	12
8.1 Jaarklassterkte	12
8.2 Groeisnelheid	13
8.3 Conclusie schol en tong	13
9. Mogelijke effecten van fosfaattoevoegingen aan:	14
10. Adviezen en aanbevelingen:	15
11. Literatuur.....	16
12. Bijlage 1.	18
De ingezonden brief in Visserijnieuws.	18
fosfaat in zee?.....	18
13. Bijlage 2.	20
Voorgesteld NWO Pilot Project voor Nationaal onderzoeksprogramma Zee- en kustonderzoek.	20
Dalende draagkracht: wetenschappelijke verklaringen en maatschappelijke consequenties. ...	20

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.

Antwoord:

In het antwoord wordt achtereenvolgens ingegaan op: (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 en (v) adviezen en aanbevelingen.

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 wereld oorlog sterk toegenomen. Dit leidde tot problemen met de waterkwaliteit door de excessieve algengroei en het optreden van zuurstofloosheid. Verschillende 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 plaagalgen algen en het optreden van zuurstofloosheid (Burkholder, 1998; Diaz 2001; Anderson et al 2002; Colijn et al. 2002; Daskalov 2003; Kemp et al. 2005). Verder is er aandacht geweest voor de mogelijke effecten van eutrofiering op de productie van vis (De Veen 1976; Lee and Jones 1991; Boddeke & Hagel 1991; Boddeke 1996; Nielsen & Richardsen 1996; Caddy 2000; Nixon and 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; Stockner et al 2000). 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 de wenselijkheid van fosfaatbemesting voor het verhogen van de teruglopende visproductie, 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 deskstudie.

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.

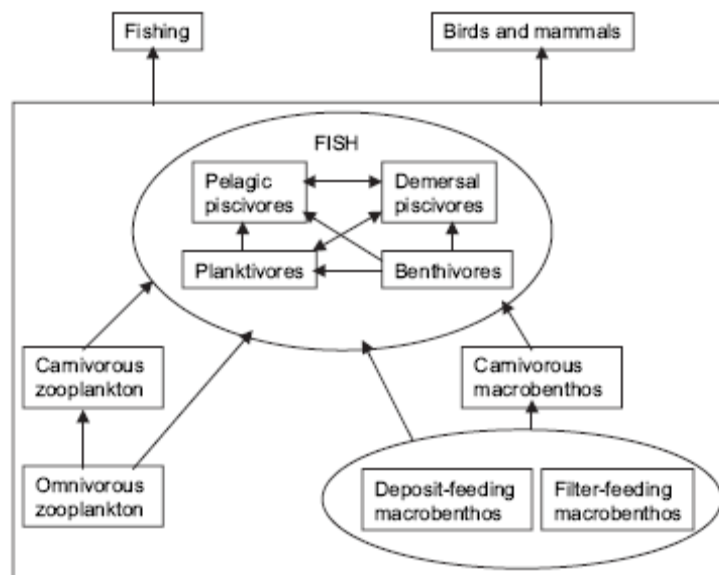
Box 1. Het voedselweb

De primaire productie wordt in de voedselketen doorgegeven in een aantal stappen (*trofische niveaus*). In de 1^e stap zetten de *primaire consumenten* de algen productie 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 bv kabeljauw). Aan de top van het voedselweb staan top-predatoren zoals bv de zeehond. Naast de bovengenoemde korte voedselketen bestaat er een tweede langere voedselketen (microbiële voedsel keten) 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 m^2 per jaar terwijl deze in opwellings gebieden en de kustgebieden en estuaria waardes van 400 gram koolstof per m^2 per jaar kan bereiken. De visvangst in de oceaan ligt rond de 2 kg koolstof per ha^2 per jaar in de open oceaan en 200-400 kg in de opwellings gebieden en estuaria.

Vergelijking van de verhouding tussen de primaire productie en de visproductie maakt duidelijk dat in de productieve gebieden een groter deel van de primaire productie terecht komt in visproductie. Volgens berekeningen van Pauly & Christensen (1995) is in deze gebieden meer dan 20% van de primaire productie nodig voor het onderhouden van de visproductie, in vergelijking met minder dan 1% in open oceaan gebieden.



Figuur 1. Het voedselweb in de Noordzee met van beneden naar boven de trofische niveaus en links het pelagische voedselketen en rechts de benthische voedselketen. De primaire consumenten (omnivorous 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.

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 web 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 toenemen van pelagische soorten en afnemen 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 optreden van 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 die 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, 1992) 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; Reid et al. 2001, 2003), die mogelijk medeverantwoordelijk is voor de afname in het voortplantingssucces van kabeljauw (Beaugrand et al. 2003). Lindeboom (2002) en Weijermans e.a. (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 eutrofiering 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 mobielere organismen zoals vis, betekende een verlaging van de zuurstofconcentraties een vertrek naar elders (Pihl et al., 1991; Peterson & Pihl, 1995). In de Oostzee heeft de eutrofiering 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 frekwentie en duur van de bloei van *Phaeocystis* toegenomen als gevolg van de eutrofiering (Veldhuis 1987). Ook de toenemende problemen met toxische algen zijn toegeschreven aan eutrofiering, 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. 20003).

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 samenging met een toename van de vangst. 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 zooplankton waaronder de overleving van vislarven (Daskalov 2002, 2003).

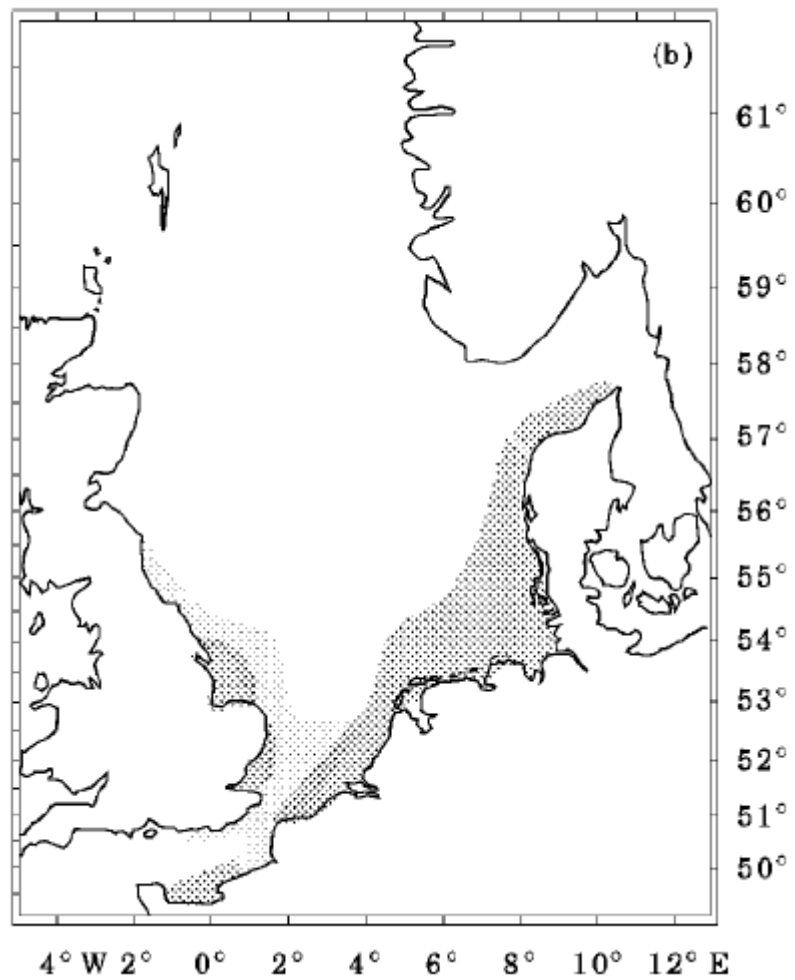
4. Noorse proeven met fosfaat addities

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 kwallen- of 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 op nutriënttoevoegingen van deze veel hogere trofische niveau's 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 productie niet efficiënt wordt begraasd door zooplankton of bodemdieren. Boven een bepaalde nutriëntentoevoer raakt het voedselweb verstoord, hetgeen wijst op het bestaan van een kritische 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 literatuur onderzoek komen de onderzoekers tot de volgende conclusies ten aanzien van de mogelijkheden om middels nutriëntaddities de oogstbare productie van een marien gebied te verhogen:

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

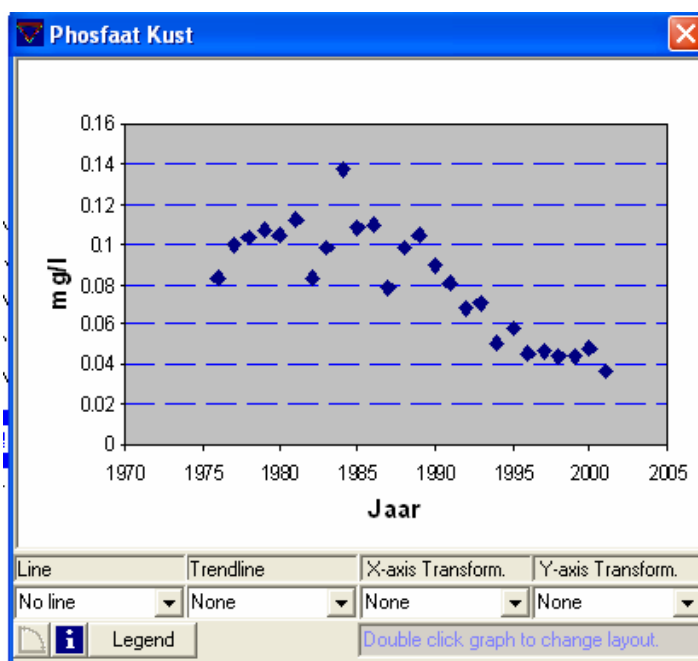


Figuur 2. Gebied dat direct beïnvloed wordt door de eutrofiëring vanaf het land (uit Rijnsdorp en van Leeuwen, 1996 naar Zevenboom, 1993).

5. Fosfaat trends 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). De gebieden op open zee spelen 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 TP bij Lobith toenam van minder dan 5 mol/sec in de jaren vijftig tot 35 mol/sec rond 1980 (Figuur 3 in van Raaphorst & de Jonge, 2004). Na deze piek daalde TP tot ongeveer 5 mol/sec. De afname van de belasting na 1980 met 30 mol/sec komt overeen met een afname van 29 000 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 had met de nutriëntenbelasting van de Rijn (Van Raaphorst & de Jonge, 2004). De afname in de Rijn en het IJsselmeer zien we dan ook duidelijk terug in de winterfosfaatgehalten in het kustwater (Figuur 3).



Figuur 3. Wintergehalten van fosfaat in het Nederlandse kustgebied (uit EMIGMA)

Bovenstaande stijging en daling zijn alleen in de kustzone tot circa 20km 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 van ouds 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 is afkomstig 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 fosfaatanvoer 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 toevloed en op het maximum in de tachtiger jaren had iets meer dan de helft van het fosfaat in de kustzone een menselijke oorsprong. Uit figuur 3 blijkt dat deze aanvoer nu sterk gereduceerd is. Voortgaande aanscherping van het beleid, en implementatie daarvan leiden nog steeds tot een doorlopende lichte daling van de fosfaatconcentraties in de kustzone. Ook 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 *Phaeocystis pouchetii* door de sterk fluctuerende nutriënten concentraties wordt bevoordeeld en mede daardoor een dominante alg in ons kust gebied is. Deze alg wordt verantwoordelijk gehouden voor de schuimvorming op het strand. Mogelijk is deze schuimvorming toegenomen door toenemende eutrofiëring, maar data ontbreken om dit echt hard te maken. Klimaat kan hierbij 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 staat met door fosfaat gelimiteerde groei, tussen 1978 en 1987 was er een eutrofe staat met door stikstof gelimiteerde groei en vanaf 1988 is er een eutrofe staat met wederom door fosfaat gelimiteerde groei, waarbij in elke periode andere algensoorten dominant waren.

In de Duitse Bocht zijn dit soort verschuivingen ook waargenomen (Hickel e.a., 1993), maar daar heeft de hoge fosfaatbelasting tussen 1978 en 1981 ook geleid tot het over grotere gebieden 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 en 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 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 lager 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 is kleiner dan in de jaren '80.
3. De conditie van de schelpdieren hangt tenminste voor een deel af van de verhouding tussen de grootte van het werkelijk aanwezige bestand en de maximale omvang van dat bestand. Is de verhouding groot dan gaan de schelpdieren met elkaar om het aanwezige voedsel concurreren, en zal de 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 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. 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, 2004; 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 de jeugd kan komen.

8.1 Jaarklassterkte

Er bestaat een significante relatie bestaat tussen de jaarklassterkte en de watertemperatuur tijdens of voorafgaande 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 uit een lagere sterfte in het pelagische ei- en larven stadium. In welke mate de synchronisatie de seizoenspatronen van de voortplanting met die van het voedsel en de roofvijanden een rol spelen is niet onderzocht. Evenmin is onderzocht of, en zo ja hoe, eutrofiering deze processen beïnvloedt. Voor geen van beide soorten bleek de jaarklassterkte (zoals geschat in de jaarlijkse toestandsbeoordeling 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 en 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 zich in de centrale Noordzee ophouden, en 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; Schratberger et al 2003). Naast voedselbeschikbaarheid heeft ook de voedselconcurrentie een rol gespeeld, met name wanneer er een sterke jaarklas 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 Noordzee schol 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 (van Keeken et al., 2006). 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 (Kaiser et al. 2000; Jennings et al. 2001), veranderingen in de samenstelling van de visgemeenschap (Daan et al 2005) 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. Mogelijke effecten van fosfaattoevoegingen aan:

Fosfaat toevoegen zal alleen tot resultaten leiden als men dit in een periode doet dat fosfaat limiterend is voor de 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. 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 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.

10. Adviezen en aanbevelingen:

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 plaagalg. 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. Wel is het noodzakelijk om middels metingen en modelberekeningen eerst vast te stellen of en, zo ja waar, de groei van mosselen voedselgelimiteerd is, en of toevoegen van fosfaat wel tot productie verhoging kan leiden.

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. Uit een korte inventarisatie blijkt dat dit technisch mogelijk is bij de waterzuivering van Delfland die o.a. via een 2,5 km lange pijp bij Den Haag in zee loost. Het niet toedienen van de fosfaatverwijderende chemicaliën zou tot minimaal een verdubbeling van de fosfaatvracht in het te lozen effluent leiden. Een voorstudie zou kunnen nagaan (i) of dit praktisch en vergunningsmatig haalbaar is, (ii) wat de haalbare concentraties in het effluent en in de directe omgeving kunnen zijn, (iii) welke eventuele positieve en negatieve effecten verwacht mogen worden, en (iv) welk onderzoek er nodig zou zijn om deze effecten te meten en te analyseren.

Deze studie is in korte tijd uitgevoerd en kon de beschikbare literatuur en bestaande kennis zeker niet uitputtend behandelen. Zou men toch verder willen met het onderzoeken van de mogelijkheden om het mariene milieu met extra fosfaat te verrijken dan is een veel uitgebreidere studie, inclusief het modelleren van mogelijkheden, kosten en gevolgen, noodzakelijk.

De opbrengst van de zee is echter niet alleen afhankelijk van de fosfaataanvoer: de hoge visserijdruk op het gehele bodemsysteem, klimaatverandering en het optreden van regime shifts dragen allen bij aan de optredende ontwikkelingen. Om hierover meer kennis op te doen verdient het aanbeveling een veel groter integraal experiment uit te voeren waarbij naast fosfaatadditie ook zeegebieden voor de bodemberoerende visserij worden gesloten en. Aan visserijmethoden zitten diverse opbrengstverhogende en -verlagende aspecten, en meer kennis hiervan zou kunnen bijdragen aan vangstoptimalisatie. Een dergelijk experiment sluit ook goed aan bij het door NWO voorgestelde Nationaal Onderzoeksprogramma Zee- en Kustonderzoek.

Het opzetten van een plan voor een dergelijk grootschalig experiment wordt aanbevolen.

11. 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., 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., en Hagel, P. 1991. Eutrophication of the Dutch coastal zone, a blessing in disguise. *ICES CM* 1991/E:7.
- Boddeke, R. (1971) *Vissen & vissen. Ervaringen van een visserijbioloog en sportvisser*. Elsevier/ Amsterdam-Brussel. Tweede druk 1974. pp 239.
- 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.
- Brinkman, A.G. en 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.
- 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.
- 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.
- 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. ESNB: 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.
- 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
- 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., Grift, R.E., Rijnsdorp, A.D. 2006. 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.
- 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

12. Bijlage 1.

De ingezonden brief in Visserijnieuws. fosfaat in zee?

In visserijnieuws van 25 november j.l. wordt een rede van Dolf Boddeke weergegeven waarin hij weer een warm pleidooi houdt voor het verrijken van de Noordzee met fosfaat om de visopbrengst te verhogen. Er zijn echter diverse redenen waarom dit niet zo'n goed idee is als het in eerste instantie misschien wel lijkt.

In de eerste plaats is er de waterkwaliteit. Duitsland en de EU zullen nieuwe fosfaatlozingen nooit toestaan. Op het hoogtepunt van de eutrofiëring begin jaren tachtig van de vorige eeuw toen grote hoeveelheden door de mens geloosde fosfaat en stikstof in de kustzone kwamen ontstond er zuurstofloosheid in de Duitse Bocht met massale sterfte onder bodemdieren en vissen die voor de Duitsers aanleiding was de fosfaatbelasting via de Rijn drastisch aan te pakken. Dat hielp, zuurstofloosheid heeft zich daar vanaf de negentiger jaren niet meer op grote schaal voorgedaan. Als we nu echter weer fosfaat in onze zee gaan gooien stopt dat heus niet bij de grens en komt onherroepelijk weer in de Duitse Bocht terecht, waar het risico op problemen weer toeneemt. Duitsland en alle andere betrokken landen zullen dan ook direct bezwaar maken tegen het doelbewust verrijken van onze kustzone met fosfaat.

Ook is het Nederlandse en Europese beleid de afgelopen decennia juist gericht geweest op het schoner maken van de zee. Het fosfateren van de Nederlandse kustzee gaat in tegen alle internationaal gemaakte afspraken, politiek onhaalbaar dus. En de ideeën van Boddeke leiden niet tot herstel van het Noordzeemilieu zoals zijn titel suggereert maar tot een terugkeer van een vorm van vervuiling uit de jaren tachtig. Bemesting met fosfaat is een kunstmatige ingreep die de natuur alleen maar nog meer zal verstoren.

En zal het toevoegen van fosfaat sowieso wel tot extra tongvangsten leiden zoals Boddeke beweert? Er zijn wel enkele historische verbanden gevonden tussen veranderingen in nutriëntentoevoer en mariene organismen in kustwateren. Zo is er een duidelijk verband gevonden tussen de toe- en afname van de fosfaatvracht van de Rijn en de groeisnelheid van schol en tong in de kustzone. Ook de veranderingen in de algen en de afname van de schelpdierproductie in de Waddenzee lijken gerelateerd aan de afname in nutriënten. In het Kattegat werd eutrofiëring gevolgd door een verhoogde visproductie.

Het probleem is echter dat in het verleden gevonden verbanden geen garantie geven voor de toekomstige effecten van fosfaatverrijking. Ook andere factoren zoals visserij, klimaat, en de aanvoer van nutriënten uit de oceaan spelen een belangrijke rol. En we weten absoluut niet zeker in welke mate de veranderingen in fosfaat daadwerkelijk hebben bijgedragen aan de waargenomen veranderingen in visopbrengst, of dat in feite een andere factor eigenlijk veel belangrijker is geweest. Bovendien leven we nu in een andere wereld dan pakweg 25 jaar geleden. Dat betekent dat het toevoegen van fosfaat aan de zee onder deze nieuwe omstandigheden tot andere, onvoorspelbare en dus mogelijk ook zeer ongewenste uitkomsten, zoals het voorkomen van giftige of schuimvormende algen, zal leiden.

Het is in het afgelopen decennium duidelijk warmer geweest dan in de periode daarvoor, dit is van invloed op het voortplantingssucces en de verspreiding van diverse vissoorten en daarmee op de visserijopbrengst. En zeer recent hebben we kunnen lezen dat de circulatiepatronen in de noordelijke Atlantische oceaan sterk veranderd zijn gedurende de afgelopen 50 jaar, waarbij de grootste verschuivingen in het begin van de jaren negentig hebben plaatsgevonden. Dat de Noordzee als geheel van oudsher zo rijk aan vis is komt vooral door de enorme aanvoer van nutriënten (stikstof en fosfaat) vanuit de Atlantische Oceaan. Meer dan 90% van alle fosfaat in de Noordzee komt uit de oceaan, terwijl de menselijke bijdrage aan de fosfaataanvoer nooit meer dan 5% heeft bedragen. De rivieraanvoer, die de mens in de tachtiger jaren verdubbeld had, maar die nu dus weer richting natuurlijker niveaus daalt is alleen van ecologisch belang in een beperkte kustzone en de effecten hiervan hebben zich dan ook tot de kustzone beperkt. Grootschalige veranderingen in oceaanstromingen kunnen niet zonder gevolgen zijn gebleven voor het hele Noordzee ecosysteem, en daarmee voor de totale visbestanden in dit gebied.

Het toeschrijven van de tegenvallende Noordzee visproducties aan teruglopende menselijke fosfaataanvoer zoals Boddeke doet gaat gemakshalve voorbij aan alle andere mogelijke oorzaken van een falende visvangst zoals overbevissing en recente veranderingen in het

klimaat. Zijn voorstel tot verrijking houdt geen enkele rekening met de nadelen die daar aan zitten, zoals de onvoorspelbaarheid van effecten, verstoring van de natuurlijke dynamiek en de internationale regelgeving met betrekking tot waterkwaliteit.

Kortom, bemesting van de zee is geen oplossing. Visserij is oogsten uit een dynamische natuur en zal rekening moeten houden met natuurlijke veranderingen in de visopbrengst. Bemesting van de zee draagt niet bij aan een duurzaam gebruik van de Noordzee.

Han Lindeboom (IMARES), Adriaan Rijnsdorp (IMARES), Peter Herman (NIOO), Bert Brinkman (Alterra), Katja Philippart (NIOZ), Martin Scholten (IMARES)

13. Bijlage 2.

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 oceaanwater 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.

