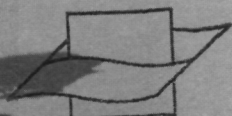


A18



Vlaams Instituut voor de Zee
Flanders Marine Institute

ESTUARIENE OECOLOGIE : VISIE OP EEN MILIEU ONDER DRUK

21472

DR. P. H. NIENHUIS

VLIZ (vzw)

VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE

FLANDERS MARINE INSTITUTE

Oostende - Belgium

ESTUARIENE OECOLOGIE: VISIE OP EEN MILIEU ONDER DRUK

Rede

*uitgesproken bij de aanvaarding
van het ambt van bijzonder
hoogleraar in de estuariene
oecologie aan de Katholieke Universiteit
te Nijmegen
op woensdag 12 oktober 1988*

door

Dr. P. H. Nienhuis

*"There has perhaps never been a
more critical, more challenging
period in the history of ecology".*

D. W. Schindler, 1987

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Nienhuis, P. H., 1988

Estuariene oecologie : visie op een milieu onder druk

Yerseke : Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek (Yerseke : Zoetewei)

Inaugurele rede Nijmegen. - Met lit. opg.

ISBN 90-9002489-1

SISO 573.3 UDC 574.5(282.05) (043.5)

Trefw. : ecologie

Foto omslag : R. H. G. Kleingeld - Verdrongen Land van Saeftinghe

Inleiding

Estuariene oecologie is allereerst oecologie, dat wil zeggen een biologische wetenschap die zich bezighoudt met de relaties tussen organismen en hun omgeving. Het arbeidsterrein is breed en omvat het hele scala van relaties tussen bacteriën, planten en dieren, inclusief de mens, en het omringende milieu. Oecologie is een exacte wetenschap, en ik wil dat met enige nadruk zeggen. Dat betekent dat dit vakgebied moet streven naar het formuleren van wetmatigheden en toetsbare theorieën. En daar schort het in de oecologie wel een beetje aan. Ik kom daar later op terug.

Oecologie staat als basiswetenschap niet geïsoleerd. Het heeft vele raakvlakken met vakgebieden als chemie, genetica, fysiologie, ethologie en toxicologie. Het begrip aanpassing staat centraal in de oecologie, aanpassing van organismen -van virus tot zeehond- aan veranderende milieumomstandigheden. Vaak verlopen die aanpassingen traag, zoals langs genetische weg in de loop van de geologische historie van de aarde. Even vaak ook betreft het snel verlopende fysiologische aanpassingen aan wisselingen in het milieu.

De estuariene oecologie houdt zich bezig met estuaria. Een estuarium is het beste bekend als een brede, trechtervormige mond van een rivier. Tegenwoordig wordt echter het begrip estuarium veel ruimer opgevat als het overgangsgebied tussen de open zee en het zoete water van rivieren en meren. Naast riviermonden vallen onder de estuariene oecologie dus ook de brakke 'wetlands' als rivierdelta's, waddengebieden met hun slikken, schorren, kwelders en mangroven, maar ook brakwatermeren, lagunes, fjorden en wat dies meer zij. Estuaria staan bekend als wisselvallige milieus. De variatie in het verloop van milieufactoren zoals zoutgehalte, zuurstofgehalte en gehalte aan voedingsstoffen is groot, afhankelijk van getijbeweging, rivierafvoer, neerslag, uitdroging en ga zo maar door. Organismen hebben nauwelijks houvast aan het beweeglijke zand en slib. Zuurstof is een schaars goed in de bodem en vlak onder de bovenste millimeters van het zand dreigt al het giftige sulfide. Het is een hard milieu waarin overleven fysiologische aanpassingen vereist. Planten en dieren staan er onder fysiologische druk en alleen de taaie rakkers kunnen zich in deze omgeving handhaven.

Een paar opmerkingen over de historie van het vakgebied. Vroeger spraken men niet van estuariene oecologie maar van brakwaterbiologie, dat een sterk Duits-Nederlandse traditie heeft. Bekend is het werk van Remane en Schlieper uit 1958 'Biologie des Brackwassers'. Een paar bekende Nederlandse namen zijn die van Redeke en Den Hartog die aan deze universiteit in 1976 zijn inaugurele rede hield (Hartog, den, 1976). Het is dan ook met redenen dat het onderwijs in de estuariene oecologie juist aan de Katholieke Universiteit van Nijmegen wordt geïntroduceerd. Bovendien ligt Nijmegen zeer strategisch aan een tak van de Rijn, de rivier die voor een niet gering deel de problematiek van het Nederlandse kustwater gestalte geeft.

De Engelstalige traditie heeft het begrip brakwater niet overgenomen, en dat komt wellicht door de strenge scheiding tussen de vakgebieden limnologie (kennis van het zoete water) en oceanografie (kennis van de zee). Het overgangsgebied, het domein van de estuaria, kreeg veel minder aandacht. In de jaren 60 heeft het zwaartepunt van het estuariene onderzoek zich verlegd naar Amerika. Algemeen geldt het internationale congres op Jekyll Island, Georgia, in 1964 als het startpunt van de verscherpte belangstelling voor estuaria (Lauff, 1967). Er werden in de jaren daarna vakorganisaties opgericht, ondermeer in Amerika, Engeland en rond de Oostzee. Tientallen nieuwe tijdschriften met brede aandacht voor de estuariene problemen werden uit de grond gestampt. De stroom aan informatie is anno 1988 zeer breed geworden en moeilijk meer te overzien.

Wat is de achtergrond van deze explosief toegenomen belangstelling in de laatste 25 jaar voor een milieutype dat slechts 0,5% van het aardoppervlak beslaat? Een groot deel van de wereldbevolking woont in kustgebieden. Vele grote havensteden liggen aan estuaria, de verbindingswegen tussen het achterland en de open zee; industrievestigingen en rioolwaterafvoer zijn daar geconcentreerd. Van oudsher heeft de mens de vruchtbare schorren en kwelders bedijkt en omgezet in landbouwgrond. Kustvisserij en schelpdiercultures zijn eveneens onlosmakelijk verbonden met estuaria. Steeds verdergaande beveiliging tegen overstromingen leidde tot het bouwen van afsluitdammen of stormvloedkeringen. Het in 1987 beëindigde Deltaplan in Nederland is daarvan een markant voorbeeld. Stuwdammen, zoetwaterreservoirs, getijcentrales en jachthavens, het zijn allemaal projecten die het maatschappelijk gebruik van estuaria illustreren. Uit deze opsomming komt een beeld naar voren van een milieu onder druk.

Estuaria worden wel de gouden randen van de zee genoemd. Dit is een dubbelzinnige typering die enerzijds slaat op het feit dat er in estuaria dik geld te verdienen is. Anderzijds slaat de uitdrukking op de grote biologische rijkdom die kenmerkend is voor dit milieutype. Estuaria zijn opslagplaatsen van voedingsstoffen voor planten en ze onderscheiden zich van de open zee door hun extreem hoge plantaardige produktie. Veel van dat voedsel komt ten goede aan talloze schelp- en schaaldieren en watervogels. De hoge biomassa van bodemdieren is opvallend. De vleesproduktie van een vierkante meter van het wad is vele keren groter van die van een vergelijkbaar oppervlak van de zeebodem. Estuaria vormen door hun beschutte ligging ook een kinderkamer voor jonge opgroeiende vis.

In dit spanningsveld tussen de grote natuurlijk waarden en de dikwijls strijdige maatschappelijke functies opereert de estuariene oecologie, een interdisciplinair vakgebied, dat zijn fundament heeft in de oecologie als basiswetenschap. De tijd dat de civiel ingenieur, als exponent van de bouwers en de projectontwikkelaars, en de oecoloog twee verschillende talen spraken is voorbij, althans in Nederland en in meerdere andere landen. Het is bij heel veel milieuproblemen in estuaria, waar ook ter wereld, dan ook veelal niet de oecologische kennis die tekort schiet of het gebrek aan technische know how, maar de invulling van de nationale beleidslevenscyclus -die in elk land weer anders verloopt- waardoor oplossingen stagneren. Wat dat betreft verwacht ik dat de structuur van Europa na 1992 een stimulans zal betekenen voor diverse internationale samenwerkingsprojecten.

Het is mijn bedoeling om U na deze inleiding binnen te voeren in een paar aspecten van mijn vakgebied. Er komt naast het zuiver fundamentele onderzoek, waarin de theorievorming van groot belang is, ook strategisch fundamenteel onderzoek aan de orde, waarin het gaat om het oplossen van maatschappelijke problemen.

Zuiver fundamenteel onderzoek

Estuariene oecologie is allereerst oecologie. Een plant of een diersoort die een nieuwe woonplaats binnenkomt neemt toe in biomassa en aantal individuen, totdat de draagkracht van het milieu bereikt is, door wat voor beperkende factor dan ook. Concurrentie tussen soorten om de een of andere hulpbron, zoals ruimte of voedsel is één van de grondbeginselen van de oecologische theorie. Concurrentie staat niet toe dat twee samen voorkomen en in al hun behoeften zeer nauw verwante soorten uiteindelijk naast elkaar blijven voortbestaan. Theoretisch zal één van de twee het veld moeten ruimen. Een klein beetje verstoring van het milieu waarin de beide soorten samenleven, voorkomt dat ze beide dichtheden bereiken waarop concurrentie gaat overheersen, waardoor de één de ander er op den duur uitwerkt. Ook korter levende, opportunistische soorten krijgen onder de geschetste, minder constante milieumomstandigheden een kans om zich te vestigen en voort te planten. Dit hele proces werkt verhogend op de soortendiversiteit, dat wil zeggen het aantal aanwezige soorten en de aantallen individuen per soort. Populair gezegd: een geringe verstoring van het milieu leidt tot een hogere diversiteit aan soorten, vergeleken met een milieu waarin de omstandigheden constant worden gehouden. Als de verstoring te sterk toeneemt, daalt de diversiteit uiteraard snel, aangezien ook de minder veerkrachtige opportunisten dan het loodje leggen. Dit is in het kort de zogenoemde geringe verstoring hypothese van Connell (1978) die allerlei ideeën over de betekenis van het begrip diversiteit heeft doen wankelen.

Het leek immers allemaal zo mooi in de jaren 60 en begin jaren 70: natuurlijke oecosystemen krijgen een steeds grotere soortendiversiteit in de loop van hun ontwikkeling en worden daardoor steeds stabiel. Door de diversiteit in een formule vast te leggen had je een maat voor de ontwikkelingsfase van een oecosysteem, bijvoorbeeld na een verstoring. Deze benadering is inmiddels verlaten. Er is geen causale relatie aangetoond tussen diversiteit en stabiliteit. Trouwens, wat is de biologische betekenis van een hoge of een lage diversiteit? Estuaria in het gematigde klimaatgebied zijn betrekkelijk arm aan soorten. De gangbare, maar niet helemaal sluitende verklaring daarvoor is dat gematigde estuaria geologisch gezien nog erg jonge systemen zijn waarin zich nog maar weinig soorten hebben kunnen ontwikkelen. Verder zijn aan het harde, onvoorspelbare milieu in een estuarium met zijn grote fysiologische druk maar weinig soorten aangepast. Is de biologische betekenis van een estuarium door de geringe soortendiversiteit kleiner dan van een koraalrif? Nee natuurlijk. En wat is de biologische betekenis van het begrip stabiliteit, gesteld dat we al een definitie van stabiliteit hebben gevonden die ons prettig in de oren klinkt.

De traditioneel stabiele kustmilieus in de tropen blijken soms minder voorspelbaar te zijn dan kustsystemen in het gematigde klimaatsgebied (Ben-Eliahu et al., 1988).

Een ander stukje oecologische theorie heeft te maken met het begrip 'stress'. Ik heb het woord met opzet tot nu toe niet gebruikt omdat het een modieuze kreet is die in de oecologie te pas en te onpas wordt gebezigd. Stress is een optelsom van factoren die een populatie negatief beïnvloeden, dat wil zeggen: onder druk zetten. Het is een moeilijk toetsbaar, complex begrip, waar omheen bovendien de nodige spraakverwarring bestaat. Grime (1979) ontwikkelde een theorie over de relaties tussen landplanten en hun milieu waarin het begrip stress slaat op een gebrek aan natuurlijke factoren zoals licht en voedingsstoffen. Verstoring ('disturbance') daarentegen slaat op de factoren die schade toebrengen aan de plant, waaronder ook allerlei menselijke ingrepen. Dus wat 'stress' heet in het estuariene spraakgebruik heet 'verstoring' in de terrestrische plantenoecologie. De veelgehoorde cirkelredenering 'estuarium zijn stress-milieus omdat ze worden bewoond door organismen onder stress' is dan ook weinig zeggend.

Uit deze voorbeelden moge blijken dat populaire oecologische theorieën nog volop in ontwikkeling zijn en dat er flink wat hapert aan hun toetsbaarheid. We dienen ons daar goed van bewust te zijn bij het gebruik in beleidsonderzoek, in de toegepaste oecologie en in de milieukunde. In die vakgebieden heeft men behoefte aan eenvoudig toepasbare parameters die bij voorkeur een zo groot mogelijk deel van een levensgemeenschap karakteriseren, bijvoorbeeld na een verstoring. De wiskundige Van de Vrie (1987) die bij het DIHO in Yerseke aan deze problematiek gewerkt heeft, komt na een grondige analyse tot de harde conclusie dat meetbare grootheden (indices) om de kwaliteit van een estuarien oecosysteem te bepalen niet bestaan. Milieukwaliteit is een subjectief begrip en de indices die daarvoor gebruikt worden, zijn ingewikkeld en niet toetsbaar.

Een belangrijke thematiek in de oecologie waarin ook grondbeginselen als natuurlijke selectie en aanpassingsvermogen aan de orde komen, is het eten en gegeten worden, de processen die zich in voedselketens afspelen. Uit de terrestrische oecologie zijn theorieën bekend die in de aquatische oecologie nog vrijwel niet worden toegepast, maar die mijns inziens van groot belang zijn. De oude opvatting is dat landplanten zich verdedigen tegen vraat door het ontwikkelen van allerlei mechanismen zoals een vieze smaak of stekels. Recent worden vele plant-dier relaties gezien als een vorm van mutualisme, een samenleving tot wederzijds voordeel. De veronderstelde co-evolutie tussen grassen en grote grazers is daarvan een voorbeeld (Owen, 1980). Bij algen en waterplanten hebben zich ook afweermechanismen ontwikkeld tegen herbivoren en de vraag kan gesteld worden of hier meer achter zit dan een klassiek verdedigingssysteem. Pas de laatste jaren komt deze problematiek in de aquatische oecologie naar voren (Hay et al., 1987; Van Alstyne, 1988; Hay et al., 1988).

Ook op het niveau van de plantengemeenschap is herbivorie van groot belang. Herbivoren verwijderen selectief bepaalde 'lekkere' soorten uit de vegetatie en zijn dus bepalend voor de diversiteit en de biomassaverdeling van de algen, vermoedelijk veel sterker dan dat dit op het land het geval is.

Wat voor de grote algen geldt, geldt ook voor de kleintjes. Nietige wadslakjes die in aantallen van enkele tienduizenden per vierkante meter op de bodem van de Oosterschelde en de Waddenzee voorkomen, zetten een flink deel van de geproduceerde biomassa van de bodemalgen om. Dit zou invloed kunnen hebben op de groeisnelheid van de bodemalgen. Diezelfde wadslakjes zijn ook in staat om de groei van waterplanten, zoals zeegrassen, te stimuleren doordat ze de algen van de bladeren van het zeegras weggrazen en daardoor het licht beter toegang verschaffen.

Heel duidelijk komt de betekenis van grazers naar voren in de relatie tussen fytoplankton en filtrerende bodemdieren. Het totale volume water van de Oosterschelde of van het Grevelingenmeer wordt in enkele dagen tijds volledig afgefilterd door de aanwezige schelpdieren zoals mossels en kokkels. Zo wordt meer dan de helft van de primaire produktie van het fytoplankton geconsumeerd door deze bodemdieren (Vries, de & v.d. Kamer, 1985 ; Smaal et al., 1986). De filtrerende mossels en kokkels zorgen ervoor dat het transport van zwevend organisch materiaal naar de bodem sterk wordt versneld. Eenmaal beneden wordt veel organisch materiaal in slijm verpakt en opgeslagen in de bodem. Daar vindt regeneratie van plantenvoedingsstoffen uit het organisch materiaal plaats. De mossels spelen dus een actieve rol in de kringloop van voedingsstoffen. Ze leggen organische stof vast op de bodem en versnellen tevens het proces van regeneratie van plantenvoedingsstoffen. In een samenwerkingsproject tussen Rijkswaterstaat en het DIHO werkt Prins aan dit probleem.

In de Bay of San Francisco, een sterk met organisch materiaal belast kustwater, wordt de filtrerende schelpdieren een rol toegedicht als regelaar van de eutrofiëring. De grote en actieve schelpdierpopulatie filtreert ook daar het in het water zwevende fytoplankton in korte tijd af en legt het vast op de bodem. Slechts een deel van de voedingsstoffen regenereert en komt weer terug in de waterkolom. Als de schelpdieren er niet zouden zijn, zo speculeert men, dan zou de Bay of San Francisco sterk overbemest zijn met alle nadelige gevolgen van dien (Officer et al., 1982).

Biologische factoren spelen een veel grotere rol in processen in aquatische voedselketens dan tot nu toe gedacht is. Het concept wordt nog steeds verdedigd dat er één groeibeperkende factor zou zijn, zoals licht of een voedingsstof, die het produktieproces van algen stuurt. Consequent en succesvol wordt hieraan gewerkt, gebruik makend van chemostaat cultures (Zevenboom, 1986). Toch is de werkelijkheid gecompliceerder. De parallelle met processen tussen planten en herbivoren op het land is frappant : ook daar beïnvloedt grazen de kringloop van plantenvoedingsstoffen. Theoretisch is er bovendien beter over nagedacht.

In de estuariene voedselketen van algen naar algeneters en vervolgens naar predatoren, worden de algeneters, zoals de mossels in de Waddenzee of de Oosterschelde, zelden beperkt in hun ontwikkeling door voedselgebrek. Er is voedsel in overvloed. De groeibeperking ligt in een schakel verderop in de voedselketen. Beukema noemt het voorbeeld van steltlopers, zoals scholteksters, die in de nawinter voedselgebrek kunnen hebben in de Waddenzee, aangezien aanbod en behoefte van voedsel dan zeer nauw op elkaar zijn afgestemd (Beukema & Nienhuis, 1985).

Fretwell (1987) is in een recent theoretisch artikel zo enthousiast over de

gehele voedselketen dynamiek dat hij hem lanceert als dé centrale theorie in de populatie dynamica. Dat is wellicht wat overdreven, maar belangrijk is het zeker. In de samenwerking tussen het laboratorium voor Aquatische Oecologie in Nijmegen en het DIHO in Yerseke wordt aan deze problematiek aandacht besteed.

Strategisch fundamenteel onderzoek

Estuariene oecologie is allereerst zuiver fundamentele oecologie, ik herhaal het nog eens. Maar het vakgebied opereert daarnaast in een milieutype waarin zich maatschappelijk gezien nogal wat afspeelt. Ik heb daarover in het begin al een opsomming gegeven. Twee aspecten licht ik eruit. Problemen als eutrofiëring, overbemesting van het kustwater, en vervuiling met milieuvreemde stoffen zijn actueel. Er wordt gezocht naar indicatoren voor de vervuiling van het kustmilieu en dan het liefst indicatoren die in een vroeg stadium waarschuwen dat er wat mis is. Er wordt gezocht naar causale verbanden tussen het voorkomen van milieubelastende stoffen en de effecten op planten en dieren. Deze problematiek vereist toegepast, of anders gezegd, strategisch fundamenteel onderzoek om vraagstukken die van maatschappelijk belang zijn op te lossen.

Mede als gevolg van de zendingsdrang van de gebroeders Odum (1969, 1977, 1983) in Amerika, beiden erkende voorvechters van het 'oecosysteemdenken', heeft de holistische benadering in de oecologie veel aanhangers gekregen. Holisme wil zeggen dat het geheel meer is dan de som der delen. De kreet 'New Ecology' uit 1964 deed het goed. De benadering droeg bij aan het verkrijgen van een wereldwijd overzicht van de milieuproblemen waarvoor we staan. Er is veel kennis verzameld over de structuur en het functioneren van oecosystemen. Maar het verklaren van de waargenomen verschijnselen was een zaak waarvoor het oecosysteemdenken zelden een oplossing had. In de praktijk moest je dan toch weer naar beneden in de hiërarchie, via oecosysteem en levensgemeenschap naar populatie of individu, en vaak nog dieper naar fysiologie of biochemie. Heel veel nuchtere oecologen hebben de neiging om als ze de berg worden opgesleept en het oecosysteem overzien te zeggen: 'Leuk, mooi - maar nu moet ik weer naar beneden, aan het werk'. Beneden aangekomen en bezig met de verklaring van een verschijnsel dreigt het gevaar van isolatie van de buitenwereld. Ach, U kent het verhaal wel; het is vermoedelijk zo oud als de wetenschap zelf.

Het bestuderen van de kringloop van organische koolstof voor een geheel estuarium bijvoorbeeld, heeft een holistisch karakter. Er wordt een budget opgesteld waarin naar voren komt hoeveel organisch materiaal er jaarlijks wordt aangemaakt door de verschillende primaire producenten, zoals fytoplankton, microscopisch kleine bodemalgen en grotere waterplanten. Ook suppletie van voedsel uit omringende wateren wordt niet vergeten. Deze gegevens zijn van groot belang voor een beter begrip van de processen die zich in de voedselketens afspelen. Ik neem de Waddenzee als voorbeeld. Ongeveer 15 jaar sleutelt men nu al aan het budget voor organische stof van de westelijke

Waddenzee, en daar komt een beeld uit te voorschijn dat telkens weer moet worden bijgesteld. Men was uiteindelijk vertrouwd geraakt met een budget van 500 à 600 gram organische koolstof per vierkante meter per jaar, waarvan de helft bestaat uit import vanuit de Noordzee en het IJsselmeer (Vosjan, 1987). Recente informatie doet dit beeld wankelen (EON, 1988). Het IJsselmeer levert weliswaar een aanzienlijke bijdrage aan het budget via lozingen van IJsselwater door de Afsluitdijk, maar de bijdrage van de Noordzee zou sterk zijn overschat. Sterker nog, er zou een netto export bestaan van organisch materiaal vanuit de Waddenzee naar de Noordzee. Ook de toch al niet geringe bijdrage van de microscopisch kleine bodemalgen aan het budget zou met een factor 2,5 zijn onderschat.

Een verwarrend beeld voor de buitenstaander. De insider weet dat de verwarring en de onzekerheid nog veel groter is dan naar buiten toe blijkt. De methodieken die de getallen voor het budget genereren worden steeds verfijnder. De nu ingeburgerde HPLC-methode maakt de vergelijkbaarheid met de vroeger verzamelde pigmentgetallen moeizaam. Er spelen allerlei zaken: de niet aflatende discussie over de interpretatie van de ^{14}C -getallen, de omzetting van O_2 -waarden naar C-waarden en de gebruikte berekeningsmethoden.

Omdat er in feite geen bevredigende methode bestond voor de analyse van het gekoppelde proces van primaire productie en bacteriële afbraak van microscopisch kleine bodemalgen, hebben De Jong en Hofman van het DHO met O_2 -microelectroden geprobeerd meer vat te krijgen op deze belangrijke component in het budget van organische stof van een estuarium. Met naalddunne elektroden wordt de activiteit van de microalgen gemeten, waar het allemaal gebeurt, namelijk in het flinterdunne aerobe bovenlaagje van de wadbodem. Als je vervolgens rekening houdt met diffusiesnelheden, porositeit van het sediment, bioturbatie en nog een paar complexe factoren dan kom je na enig rekenen toch weer uit op enkele honderden $\text{g C m}^{-2}\text{J}^{-1}$ als bijdrage aan het koolstofbudget.

In de holistische budget-benadering is weinig doorbraak te verwachten zolang we nog onze tanden breken op de gigantische variatie in ruimte en tijd die vrijwel elke parameter in een estuarium ten toon spreidt, en op de geschetste methodische problemen. Het succes van bijvoorbeeld de toepassing van de microelectrodenmethodiek ligt dan ook niet in het bijstellen van een budget voor het totale estuarium, maar wel in een analyse van een microsysteem dat in elke wadbodem voorkomt op een schaal die tot nu toe niet toegankelijk was: een gradient van amper 2 mm van zuurstof-verzadigde condities in het daglicht naar toxische omstandigheden in het duister.

De twijfel aan de theorievormende waarde van holistische benaderingen als het vaststellen van de primaire productiesnelheid of de mineralisatiesnelheid voor een totaal estuarium, tast ook het geloof in complexe mathematische modellen aan. Dat zijn modellen die de kennis over een oecosysteem op een rijtje zetten en waarmee varianten in het beheer van een estuarium kunnen worden gesimuleerd. Mathematische modellen zijn geen elixers voor de beheerder, dat wisten we al wel. Een belangrijke verdienste van oecosysteemmodellen, zoals voor Dollard, westelijke Waddenzee, Grevelingen en Oosterschelde ontwikkeld, is het sterk synthetiserende en controleerbare karakter. Echter, het oude adagium 'het model is niet beter dan de gegevens waarmee je het voedt' gaat nog steeds op. Modelsimulaties zijn veelal gebaseerd op 1 of 2

optimale meetjaren of op een gemiddeld meetjaar waarin een maximaal aantal van de benodigde parameters gemeten is. De vaak onvoorspelbare natuurlijke variatie in ruimte en tijd van vele variabelen vormt dikwijls de spelbreker. En het wordt helemaal ingewikkeld als over de natuurlijke variatie heen een ontwikkeling op lange termijn gaande is waarvan we nog slechts vermoeden welke kant hij opgaat.

Het punt dat hier scherp naar voren komt is het volgende: Holistische parameters zijn niet gevoelig genoeg om ontwrichting van een estuarien oecosysteem - door wat voor oorzaak dan ook - in een vroeg stadium te signaleren. Holistische parameters zoals de snelheid waarmee de kringloop van nutriënten verloopt en ook diversiteitsindices en noties van oecosysteemstabiliteit zijn te robuust, ze kunnen tegen een stootje alvorens er echt wat gebeurt. Pas als het estuarium ernstig gedegradieerd is treedt in de genoemde parameters verandering op, maar dan is het in feite al te laat. De Canadese limnoloog Schindler (1987) heeft in een recent, voortreffelijk artikel op deze ontwikkeling gewezen, en ook een niet zo lang geleden in Oslo gehouden workshop over de biologische effecten van vervuiling raakt aan dezelfde ideeën (Bayne et al., 1988).

Wat is het antwoord op deze analyse? Waarop moeten we de strategie van ons oecologisch onderzoek dan wel richten als het gaat om het oplossen van problemen die te maken hebben met de eutrofiëring en vervuiling van estuaria en kustwateren?

Heel veel problemen die te maken hebben met de aantasting van ons milieu liggen niet in de eerste plaats op het bord van de oecoloog. Biochemische en fysiologische processen blijken niet alleen vaak veel gevoeliger te zijn voor vervuilingseffecten, maar ook specifiek te reageren op een bepaalde vorm van verontreiniging, dan processen op het niveau van populatie of levensgemeenschap (Bayne et al., 1988). De ontregeling van een enzymstelsel in de lever van een platvis of in het weefsel van een mossel door een milieuvreemde stof heeft een veel betere, vroegtijdige waarschuwingsfunctie dan de eventuele effecten van deze stof op een platvispopulatie voor de kust of op een mosselbank op het wad. Mossels bijvoorbeeld hebben een zeer hoge voortplantingscapaciteit en de natuurlijke sterfte in een mosselpopulatie is zo groot dat het vrijwel onmogelijk is om er een waarschuwingsfunctie in een vroeg stadium van de vervuiling aan toe te kennen. Dat maakt het routinematig controleren - het zogenaamde monitoren - van mosselpopulaties op PCB's bijvoorbeeld ook minder zinvol. Op zich is het natuurlijk een goede zaak om na te gaan welke ongewenste stoffen in organismen zijn opgeslagen. Het geeft een beeld van de verspreiding, maar meer ook niet. Op het moment dat er meer causale vragen aan de orde komen dan stuiten we op vele onopgeloste problemen, zowel voor de chemicus als voor de bioloog. De chemicus moet weten om welke zware metalen het gaat en onder welke verschijningsvorm het metaal voorkomt. Is het metaal opgelost in water of is het gebonden en hoe stevig dan wel? De bioloog moet weten om welke soort plant of dier het precies gaat. Om welke onderdelen van het organisme gaat het? Wat is hun leeftijd? Gaat het om mannetjes of vrouwtjes? (McLusky et al., 1986; TNO/IB/WL, 1987).

Ook al ligt de oorzaak van duidelijk zichtbare aantastingen voor de hand, zoals het voorkomen van lever- en huidgezwollen en vinerosie bij platvissen die

in sterk vervuilde estuaria voorkomen, dan nog kunnen causale relaties alleen maar worden vastgesteld in laboratoriumproeven op biochemisch of fysiologisch niveau (Malins et al., 1988).

Een complicerende factor in dit verhaal is dat planten en dieren die in een vervuilde omgeving leven een weerstand tegen die vervuiling kunnen ontwikkelen waardoor ze beter bestand zijn tegen hoge concentraties van één of ander gif. Een dergelijke aanpassing kan fysiologisch van aard zijn en niet op het nageslacht overgaan, maar de aanpassing kan ook genetisch van aard zijn, en daar gaan soms maar enkele tientallen jaren overheen (Stokes et al., 1973 ; Klaverkamp et al., 1984). Vooral in estuaria die al heel lang bloot staan aan chronische vervuiling kan dit probleem opdoemen.

Estuaria met hun betrekkelijk geringe aantal soorten en hun enorme variatie in milieufactoren zijn ideale plaatsen om het aanpassingsvermogen van populaties aan veranderende milieumomstandigheden te bestuderen. Frances van Lent (DIHO-KUN) bestudeert momenteel de 'fitness', het aanpassingsvermogen van een genetisch ogenschijnlijk homogene zeegras-soort in verschillende estuaria in het Deltagebied en daarbuiten en zij vindt een verrassende plasticiteit.

Naast de al geschetste benaderingen zijn er nog een paar lijnen van onderzoek die rechtstreeks bij de populatie- en systeemoecoloog uitkomen. Gevoelige parameters voor het aangeven van verstoringen in het milieu zijn bijvoorbeeld de zichtbare aantasting van bepaalde stadia in de levenscyclus van zooplanktonsoorten (Schindler, 1987) en verschuivingen in de soorten-samenstelling van fytoplankton-, meiofauna- en macrofaunagemeenschappen (Schindler, 1987 ; Bayne et al., 1988). Een andere benadering betreft populatiedynamisch onderzoek op lange termijn aan goed herkenbare soorten, teneinde de variatie in de natuurlijke ontwikkeling van de populatie te scheiden van de variatie in de effecten van anthropogene druk.

Het aangegeven onderzoek betekent in onze tijd van informatiekwantiteit een herwaardering van kwalitatieve waarnemingen en het in ere houden van goed opgeleide taxonomen. Het betekent ook het in samenwerking met derden optimaliseren van allerlei methodieken voor oecologisch gebruik zoals elektroforese, geconditioneerde kweekomstandigheden ('mesocosms'), HPLC, massa spectrometrie, flow cytometrie en microelectroden.

Het onderzoek aan lange termijn veranderingen in estuaria en kustgebieden krijgt vanuit de traditie van het DIHO in Yerseke en het NIOZ op Texel gestalte. Ook de expertise van de Nijmeegse vakgroep Aquatische Oecologie en Biogeologie past daar zeer goed in. Het probleem is in steeds meer estuaria actueel: hoe kan de natuurlijke variatie die in een oecosysteem in de loop der jaren optreedt, onderscheiden worden van een trend die wijst op door de mens veroorzaakte druk in de vorm van vervuiling of eutrofiëring. Daarvoor is langjarig onderzoek nodig en dat is vrijwel nooit voorhanden. Het sediment dat onder water in de loop van de tijd is afgezet, is in dit verband een heel geschikt medium. Niet alleen zijn daar talloze organismen in geconserveerd, maar het is ook een opslagplaats voor verontreinigende stoffen. De waterbodem is als het ware een geschiedenisboek waaruit de ontwikkeling van het estuarium kan worden afgelezen. De palaeo-oecologie doet onderzoek aan goed geconserveerde planten en dieren, zoals diatomeeën en schelpdieren in de bodem, maar ook aan de groeipatronen van nu nog levende soorten die erg oud kunnen

worden. Verder past binnen dit retrospectieve onderzoek ook de analyse van karakteristieke, moeilijk afbreekbare brokstukken van organische moleculen die in het sediment voorkomen en die met een massa spectrometer kunnen worden gedetecteerd.

De meest complexe oecologische verschijnselen zijn wereldwijd verspreid en dragen soms een cyclisch of epidemisch karakter. Een paar spectaculaire voorbeelden zijn de mondiale sterfte van koraalriffen in de tropen (Brown, 1987) en de zich herhalende epidemie onder het zeegras in het gematigd klimaatgebied (Short & Den Hartog, 1988). Rondom deze verschijnselen bestaan nog slechts vermoedens ten aanzien van de mogelijke oorzaken.

Een fraai en uiterst zeldzaam voorbeeld van een langjarig trendonderzoek wordt geleverd door Beukema en Cadée (1987) van het NIOZ. Zij tonen aan dat over de laatste 10 à 20 jaar de biomassa en de productie van microalgen in de westelijke Waddenzee is verdubbeld en dat de biomassa en productie van bodemdieren dezelfde trend volgt. Algenbloeien in het water treden steeds vaker op en duren ook steeds langer. Een sluitend bewijs wordt uiteraard niet geleverd, maar het lijkt erop dat er een verband bestaat tussen de eutrofiëring van het kustwater vanuit de grote rivieren en de toegenomen biologische activiteit.

Eutrofiëring, overbemesting van het water, is een bedrieglijk verschijnsel. De eerste tekenen - een toenemende biologische productie - worden meestal niet negatief gedeut. Maar als er door zuurstofgebrek in de rottende algen massale sterfte onder de bodemdieren en -vissen optreedt, en als het water gaat stinken waardoor de toeristen wegblijven, dan wordt de situatie alarmerend. Er treedt dan immers economische schade op. Zover is het in de Waddenzee nog niet maar het historisch onderzoek van Beukema en Cadée maakt duidelijk dat hoewel eutrofiëring de algenbloeien in het Nederlandse kustwater niet kan verklaren, de kans op een bloei toeneemt.

Epiloog

Het Programma voor Oecologisch onderzoek (Aart, v.d. et al., 1988) van het BION, dat kortgeleden verschenen is stelt de thematiek van de 'fitness', het feno- en genotypische aanpassingsvermogen van organismen centraal. Het Deltagebied in zuidwest Nederland na het voltooiën van de Deltawerken is een ideaal proefgebied om hypothesen in deze sfeer te toetsen. Experimenten om effecten van menselijk handelen te analyseren worden op steeds grotere en meer natuurlijke schaal opgezet. Naast de klassieke fysisch-chemische factoren die goed in klein opgezette laboratorium-experimenten zijn te toetsen, spelen immers ook allerlei biologische interacties een rol in de natuur. Wat dit betreft kunnen de verschillende watertypen in het Deltagebied als één groot openluchtlaboratorium beschouwd worden - de Delta als leerschool. Er zijn bekkens met en zonder getij, van matig tot sterk vervuild of geëutrofiëerd en alle van elkaar geïsoleerd.

Natuurlijkheid is overigens een betrekkelijk begrip voor de meeste west-europese estuaria, aangezien ze zonder uitzondering onder druk staan van

menselijke beïnvloeding. Het onderzoek heeft een referentiekader nodig waar nog naar ongestoorde natuurlijke populaties kan worden gekeken. We moeten daarvoor wel ver van huis, zoals bijvoorbeeld naar de wetlands van Indonesië en Mauritanië.

De opleiding in de estuariene oecologie opereert in het spanningsveld tussen beleidsonderbouwing, beheer en civiele techniek enerzijds en fundamentele oecologie anderzijds. De oecoloog mag niet de rol worden toebedeeld van advocaat voor één of ander maatschappelijk deelbelang. Hij of zij is in de eerste plaats objectief wetenschapper. De combinatie van de sectie Biologie binnen de faculteit der Wiskunde en Natuurwetenschappen van de Katholieke Universiteit en het DIHO, het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek in Yerseke, biedt goede mogelijkheden om aan de theorievorming binnen de oecologie een steentje bij te dragen.

Hooggeachte leden van het Bestuur van de Stichting Nijmeegs Universiteitsfonds. Gaarne wil ik U bedanken voor de benoeming tot bijzonder hoogleraar, bekrachtigd door het College van Bestuur van de Katholieke Universiteit. U heeft het belang van de vestiging en instandhouding van een bijzondere leerstoel in de estuariene oecologie onderkend. Ik hoop het vertrouwen dat U in mij stelt niet te beschamen.

Hooggeachte collega Den Hartog, beste Kees. Afkomst verloochent zich niet. Wij hebben alletwee onze veldervaring opgedaan in de estuaria van het Deltagebied. Het is aan jouw visie op ons vakgebied te danken dat wij nu een nieuwe fase in onze samenwerking ingaan. Ik hoop nog jaren in collegiale vriendschap samen met jou plannen te kunnen uitwerken.

Dames en heren medewerkers van de biologische vakgroepen binnen de faculteit Wiskunde en Natuurwetenschappen. Er liggen vele mogelijkheden voor samenwerking tussen de Katholieke Universiteit en het Delta Instituut, zowel in onderwijs als in onderzoek. Ik beschouw het als een uitdaging om die mogelijkheden mede gestalte te geven.

Dames en heren medewerkers van het DIHO, het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek. Het DIHO is een deel van mijn leven geworden, of jullie dat nou leuk vinden of niet. Het instituut is bezig zich te profileren tot een internationaal centrum voor estuarien- en kustonderzoek en het is een logische stap dat daarin een opleidingsmogelijkheid voor studenten en jonge onderzoekers wordt ingepast.

Dames en heren studenten. Het vak oecologie heeft modieuze trekjes en binnen het krachtenveld van de estuariene oecologie bestaat het gevaar van lippendienst aan de een of andere maatschappelijke groepering. Probeer deze verlokkingen te onderkennen. Ik zal trachten het mijne bij te dragen aan uw scholing tot praktisch ingestelde oecologen met een solide theoretische ondergrond.

Ik heb gezegd.

Referenties

- Aart, P. J. M. van der, J. van Andel & J. W. Woldendorp, 1988. Programma voor oecologisch onderzoek. BION, Den Haag, pp. 1-50.
- Bayne, B. L., K. R. Clarke & J. S. Gray (eds.), 1988. Biological effects of pollutants. Mar. Ecol. Prog. Ser. 46 : 1-278. MEPS Special-Book version, Inter-Research, Amelinghausen, BRD.
- Ben-Eliahu, M. N., U. N. Safriel & S. Ben-Tuvia, 1988. Environmental stability is low where polychaete species diversity is high : quantifying tropical vs temperate within-habitat features. *Oikos* 52 : 255-273.
- Beukema, J. J. & G. C. Cadée, 1987. De eutrofiëring van ons kustwater : genoeg of al te veel ? *Vakbl. Biol.* 67 : 153-157.
- Beukema, J. J. & P. H. Nienhuis, 1985. Processen in oecosystemen. In : K. Bakker et al. (editors) - Inleiding tot de oecologie. Bohn, Scheltema en Holkema, Utrecht, pp. 323-348.
- Brown, B. E., 1987. Worldwide death of corals-natural cyclical events or man-made pollution ? *Mar. Poll. Bull.* 18 : 9-13.
- Connell, J. H., 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199 : 1302-1310.
- EON-projectgroep, 1988. Ecosysteemmodel van de Westelijke Waddenzee : opzet, resultaten en toepassing. NIOZ-report 1988-1 : 1-88.
- Fretwell, S. D., 1987. Food chain dynamics : the central theory of ecology ? *Oikos* 50 : 291-301.
- Grime, J. P., 1979. Plant strategies and vegetation processes. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 1-222.
- Hartog, C. den, 1976. Aquatische oecologie en waterplanten. Gedachten over de structuur en dynamiek van waterplantbegroeiingen. Inaugurele rede KU Nijmegen, pp. 1-18.
- Hay, M. E., J. E. Duffy & C. A. Pfister, 1987. Chemical defense against different marine herbivores : are amphipods insect equivalents ? *Ecology* 68 : 1567-1580.
- Hay, M. E., V. J. Paul, S. M. Lewis, K. Gustafson, J. Tucker & R. N. Trindell, 1988. Can tropical seaweeds reduce herbivory by growing at night ? Diel patterns of growth, nitrogen content, herbivory, and chemical versus morphological defenses. *Oecologia (Berlin)* 75 : 233-245.
- Klaverkamp, J. R., W. A. MacDonald, D. A. Duncan & R. Wagemann, 1984. Metallothionein and acclimation to heavy metals in fish : a review. In : V. W. Cairns et al. (editors) - Contaminant effects on fisheries. John Wiley & Sons, New York, pp. 99-113.
- Lauff, G. H. (ed.), 1967. Estuaries. American Ass. Advanc. Science Publ. No. 83 : 1-757. Washington.
- Malins, D. C., B. B. McCain, J. T. Landahl, M. S. Myers, M. M. Krahn, D. W. Brown, S.-L. Chan & W. T. Roubal, 1988. Neoplastic and other diseases in fish in relation to toxic chemicals : an overview. *Aquat. Toxicol.* 11 : 43-67.
- McLusky, D. S., V. Bryant & R. Campbell, 1986. The effects of temperature and salinity on the toxicity of heavy metals to marine and estuarine invertebrates. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 24 : 481-520.
- Odum, E. P., 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164 : 262-270.
- Odum, E. P., 1977. The emergence of ecology as a new integrative discipline. *Science* 195 : 1289-1293.
- Odum, H. T., 1983. Systems ecology : an introduction. Wiley Interscience Publ., John Wiley & Sons, New York, pp. 1-644.
- Officer, C. B., T. J. Smayda & R. Mann, 1982. Benthic filterfeeding : a natural eutrophication control. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 9 : 203-210.
- Owen, D. F., 1980. How plants may benefit from the animals that eat them. *Oikos* 35 : 230-235.
- Remane, A. & C. Schlieper, 1971 (reprint first ed. 1958). Biology of brackish waters. Die Binnengewässer Band 25 : 1-372. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandl. Stuttgart/Wiley Interscience, John Wiley & Sons, New York.
- Schindler, D. W., 1987. Detecting ecosystem responses to anthropogenic stress. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44 : 6-25.
- Short, F. T., B. W. Ibelings & C. den Hartog, 1988. Comparison of a current eelgrass disease to the wasting disease in the 1930s. *Aquat. Bot.* 30 : 295-304.
- Smaal, A. C., J. H. G. Verhagen, J. Coosen & H. A. Haas, 1986. Interaction between seston quantity and quality and benthic suspension feeders in the Oosterschelde, The Netherlands. *Ophelia* 26 : 385-399.
- Stokes, P. M., T. C. Hutchinson & K. Krauter, 1973. Heavy metal tolerance in algae isolated from contaminated lakes near Sudbury, Ontario. *Can. J. Bot.* 51 : 2155-2168.
- TNO/IB/WL, 1987 (TNO-Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Waterloopkundig Laboratorium). Geochemische en biologische aspecten van het aquatisch milieu-onderzoek. Nota MTE 045 : 1-66. TNO, Delft.
- VanAlstyne, K. L., 1988. Herbivore grazing increases polyphenolic defenses in the intertidal brown alga *Fucus distichus*. *Ecology* 69 : 655-663.

- Vosjan, J. H., 1987. A sketchy outline of the fate of organic matter in the Dutch Wadden Sea. *Hydrobiol. Bull.* 21 : 127-132.
- Vrie, E. M. van de, 1987. Op zoek naar indices voor de kwaliteitsbeoordeling van zoute aquatische ecosystemen in zuidwest Nederland, DIHO Rapp. & Verslagen 1987-1 : 1-36.
- Vries, I. de & J. P. G. van de Kamer, 1985. Ecologische modelbouw. Rekenen aan een ecosysteem. *Nat. & Techn.* 53 : 776-791.
- Zevenboom, W., 1986. Ecophysiology of nutrient uptake, photosynthesis, and growth. In : T. Platt & W. K. W. Li (editors) - *Photosynthetic Picoplankton*. *Canad. Bull. Fish. Aquat. Sci.* 214 : 391-422.

