

Aquatische oecologie*

Het is voor mij geen gemakkelijke taak een uiteenzetting te geven over aquatische oecologie, speciaal wanneer het gaat om de kwetsbaarheid van aquatische oecosystemen. Het is moeilijk concrete voorbeelden te vinden, die ook anderen aanspreken, vooral niet-hydrobiologen die in de praktijk met water te maken hebben. Wanneer ik mijn vinger in het water steek veroorzaakt dit tal van reacties bij waterdieren: protozoa, rotatoria en watervlooien vertonen schrikreacties en verplaatsen zich; anderen zoals de voor trillingen gevoelige



DRS. P. LEENTVAAR
Rijksinstituut voor
Natuurbeheer, Leersum

waterwantsen worden er door aangelokt; een meerval die ergens rustig op de bodem ligt zal, aangelokt door de geur van mijn vinger, onrustig gaan zoeken. De verplaatsing van deze dieren heeft weer gevolgen voor talrijke andere organismen zowel wat ruimtelijke verdeling betreft als wat betreft aantallen doordat o.a. de predatiedruk gewijzigd wordt. Met het begrip oecosysteem, dat tegenwoordig zo vlot wordt gehanteerd, heb ik daarom nog grote moeite, omdat alleen de component gedrag al aanleiding geeft tot grote onzekerheden en ingewikkelde relaties.

De moderne oecologie heeft het begrip oecosysteem gedefinieerd als het functioneel geheel van levensgemeenschap en abiotisch milieu. Hierbij gaat men er van uit, dat het niet nodig is de onderdelen van het oecosysteem in al zijn relaties en functies in onderdelen afzonderlijk te kennen om het functioneren van het geheel te kunnen begrijpen. Het oecosysteem bezit als totaal andere eigenschappen, die niet te vinden zijn of anders zijn dan bij zijn afzonderlijke componenten. Het geheel is meer en anders dan de som der delen. Het zal duidelijk zijn, dat onderzoek aan een dergelijke complexiteit alleen kan geschieden door middel van ver gevanceerde moderne methodieken. Toch kan het één niet zonder het ander. Van ieder oecosysteem zal bijv. de soorten-samenstelling bepaald moeten worden om met vrucht systeem-oecologie te kunnen bedrijven. Het conventionele inventariserende onderzoek der biocoenosen is onmisbaar voor het geïntegreerde oecosysteem-onderzoek en beide richtingen in de oecolo-

gie zullen nauw met elkaar moeten samenwerken.

Aquatische oecologie wordt in feite reeds lang bedreven in de limnologie, de wetenschap van de zoete binnenwateren. Reeds Thienemann (1925) wees er op, dat men een meer als een geheel moest opvatten. Ook Margalef (1958) gaat hiervan uit maar hij betreft hierin tevens de omgeving van het meer. Ook een rivier met zijn catchment area is een oecosysteem. Dit laatste wordt in de bestuurlijke en waterhuishoudkundige sector meer en meer ingezien door het streven rivieren in hun geheel te beheren. Van belang is op welke schaal en waar wij de grenzen van het oecosysteem leggen. De vraag is of wij in staat zijn inderdaad de wezenlijke grenzen van een oecosysteem aan te geven en of wij dan daarmee iets kunnen doen ter bescherming en beheer van ons milieu, zoals dat thans dwingend wordt opgelegd.

In deze gedachtengang past het een voorbeeld te geven van een zeer eenvoudig oecosysteem. Aan het begin van zijn inleidend college in de milieukunde (geobiologie), dat Baas Becking voor de oorlog in Leiden gaf, toonde hij een stopflesje waarin een kreeftje en groene algen zaten. Het geheel was met paraffine luchtdicht afgesloten, zodat alleen het licht energie kon toevoeren. De aanwezige algen produceerden zuurstof, die het leven van het kreeftje mogelijk maakte; de algen dienden als voedsel voor het kreeftje; de excrementen van het kreeftje werden gemineraliseerd door bacteriën waaruit weer voedingsstoffen voor de algen vrij kwamen; bij de ademhaling vrijkomende CO₂ werd weer bij de fotosynthese gebruikt. Aldus zou dit systeem lange tijd onafhankelijk van de buitenwereld kunnen blijven functioneren. Gezegd moet worden, dat in dit systeem ook een bacterie aanwezig moet zijn om de exuvien van het vervellende kreeftje te kunnen omzetten. Omdat er een subtiele verhouding aanwezig is tussen kreeft, algen en bacteriën, is het moeilijk de proef te doen slagen. Ik kan me ook niet herinneren dat we aan het eind van het collegejaar het flesje nog eens te zien kregen, daar de professor voor die tijd op buitenlandse reis was. Het proefje heeft me echter altijd gefascineerd. Het idee van dit autonome oecosysteem vinden we terug in het meer complexe systeem dat we in een aquarium, afgesloten met een glasplaat en met een grotere verscheidenheid aan organismen min of meer verwezenlijken. Lund (1972) gebruikte een rond plastic 'meer' van 45,5 meter doorsnede, dat tot 11 meter diep op de bodem van een meer reikte. De meeromstandigheden waren gelijk aan die er buiten, maar de eutrofiërende invloeden werden op deze wijze buitengesloten.

Het ligt vervolgens op de tong om ieder water, hetzij vijver, poel of meer ook als een oecosysteem op te vatten, omdat er een beslotenheid is te onderkennen, die ons doet vermoeden, dat deze aquatische systemen een hoge mate van autonomie zullen vertonen. De autonomie zouden we af moeten leiden uit de analyse van de functionele en structurele dynamiek van het aquatische oecosysteem. Het blijkt dan, dat de grenzen van een vijver, een meer of een rivier zich buiten het water over het land uitstrekken, zodat ook terrestrische systemen erin betrokken zijn. Erosie en surface runoff bedreigen de autonomie van vijver en meer.

Oecologen willen daarom de aquatische oecosystemen zien als subsystemen van de terrestrische. Ook in de plantensociologie en vegetatiekunde doet men dit, door in de terrestrische levensgemeenschappen ook het water tot een diepte van 6 meter te rekenen. In de sectie conservation of terrestrial communities van het IBP is dit ook met een praktisch doel zo opgezet. Naarmate het watervolume groter is, kan men stellen dat ook de autonomie van het waterbekken groter is. Toch ziet de limnoloog ook beperkingen, zij het van andere orde dan de oecoloog. In 'A treatise on Limnology' zegt Hutchinson (1959): 'Lakes seem, on the scale of years or of human life spans, permanent features of landscapes, but they are geologically transitory, usually born of catastrophes, to mature and to die quietly and imperceptibly'. De oceanograaf kan voor de oceanen positiever zijn en vaststellen dat oceanen permanent zijn ook als oecosysteem. De vraag is interessant of de oecoloog hier veranderingen inzicht brengt, vooral wanneer we zien, dat de oecologie steeds meer de mens als factor opneemt en oecologische principes wil toepassen op de maatschappij. Er bestaat onder vakmensen die zich met het water bezighouden sterk de gedachte, dat water-beheer en wateronderzoek een aparte positie moet innemen temidden van andere maatschappelijke en ook wetenschappelijke disciplines. Misschien komt dit voort uit het bewustzijn, dat water een levensbelang is, maar ook zou ik er op willen wijzen, dat onderzoek en bemoeienis van vakmensen die zich met water bezighouden inzichten geeft die het mogelijk maken en gemaakt hebben om maatschappelijke structuren te veranderen, terwijl oecologische argumenten op dit punt niet zouden zijn geaccepteerd. De rivier is een zeer autonoom oecosysteem. Zij handhaaft zich als habitat door verplaatsing van geologisch materiaal; vergeleken met stilstaand water verdraagt zij beter verontreiniging door de mens als gevolg van de transportfactor; hoewel vanuit ander gezichtspunt verband houdende met het gedrag van de mens, juist niet

* Voordracht, gehouden op de Postacademische cursus 'Veehouderij en milieu', 10 - 14 september RIN-mededeling nr. 121.

omdat waterverontreiniging zich van oudsher het eerste manifesteerde aan rivieren. Als oecosysteem is de rivier functioneel als ook het rivierdal, de catchment area, er in betrokken is. Waterhuishoudkundig en bestuurlijk heeft men dit steeds ingezien en er naar gestreefd het totale stroomgebied als geheel te beheren, zoals de River-authorities in Engeland. Wat betreft de Rijn kennen we de moeilijkheden op internationaal niveau, waarin echter toch een zekere voortgang geboekt wordt. Als voorbeeld uit eigen land zou ik de waterschappen willen noemen, die niet alleen het kwantitatieve beheer maar ook het kwalitatieve beheer gaan voeren en ook in grotere eenheden, wat oecologisch ook juister is.

In het voorgaande heb ik getracht duidelijk te maken, dat men aquatische oecosystemen kan onderscheiden, en dat de autonomie hiervan verschillend is, afhankelijk van het gezichtspunt waarin men zijn beschouwingen brengt. Een meer, een bos, een weide of een toendra zijn subsystemen van het oecosysteem Aarde. We moeten onderzoeken welke oecosystemen autonoom zijn en hoe men die autonomie moet begrenzen. Wanneer wij zoeken naar verbindende principes (unifying principles) van de verschillende oecosystemen vinden we deze o.a. bij de stralingsfactor.

De energy flow komt bij de autotrofe plant-aardige organismen in het oecosysteem en verspreidt zich vervolgens langs verschillende banen met inschakeling van abiotische elementen en heterotrofe organismen over verschillende trofieniveaus tot een stabiel min of meer autonoom geheel. Daarbij is het van belang dat we weten, uit welke soorten van organismen het oecosysteem is samengesteld, daar iedere soort specifiek op de biotische factoren reageert. De zuurstofproductie door de fotosynthese van een enkele algecel zegt door de individuele verschillen der cellen en fluctuaties in het milieu niet alles over de zuurstofproductie van de totale algenpopulatie. Dit wordt nog ingewikkelder wanneer we de zuurstofproductie van de totale algenassociatie willen analyseren. Metingen van primaire produktie zijn voor vergelijking van grote waarde gebleken. Stelt men, dat ongerepte natuurgebieden uit autonome oecosystemen bestaan, dan zien we, dat op het ogenblik de mens deze autonomie aantast en steeds erger aantast. De bezorgdheid voor ons milieu maakt, dat steeds meer natuur onder beheer wordt gesteld met behulp van de kennis, die vooral in de oecologie wordt verkregen. De vraag kan gesteld worden hoever dit kan gaan en is de actie van de mens als factor, een masterfactor, gelijkwaardig aan de kosmische straling? Het vermogen van de

mens om door middel van elektriciteit licht-energie op te wekken en aan te wenden voor het doen functioneren van oecosystemen zou wel eens tot optimisme van de natuurwetenschappelijke laboratorium-onderzoeker kunnen leiden. In wezen is de vraag van religieuze aard.

Uit het hydrobiologisch onderzoek van vele typen van water zijn een aantal gegevens naar voren gekomen, die ons de overtuiging geven, dat aquatische oecosystemen een eigen complexiteit vertonen. Deze kunnen door menselijke activiteit verstoord worden. Het biocoenologisch onderzoek in de laatste jaren heeft bijv. geconcludeerd, dat steeds meer bijzondere soorten uit de levensgemeenschappen verdwijnen en dat meer algemene soorten blijven. Er treedt nivellering op. Volgens Odum (1971) en Margalef neemt het aantal soorten en relaties in een oecosysteem toe naarmate het ouder wordt. Een oecosysteem rijpt dus met de tijd en bereikt een zekere volwassenheid (maturity). Uit analyse van de soortenrijkdom tracht men te bepalen in welk stadium van volwassenheid een oecosysteem zich bevindt. Hiervoor gebruikt men diversiteitsindices. Een oud systeem heeft een hogere soortdiversiteit dan een jong. Het effect van de menselijke actie is een terugzetting van de diversiteit en de successie.

Volgens Margalef zijn oude oecosystemen ook oligotroof in hun trofisch-dynamische aspect. Hieruit volgt een tegenspraak met de algemeen gangbare opvatting, dat een oligotroof meer naar mate het ouder wordt voedselrijker wordt, dus eutrofeert (Seenalterung). Deze natuurlijke eutrofiëring, waarop ook Hutchinson in zijn limnologisch handboek doelde, wordt versneld door de menselijke samenleving, die we culturele eutrofiëring kunnen noemen. De tegenspraak schuilt erin, dat men onderscheid moet maken tussen auto-energetische processen en allo-energetische (Odum, 1971). In een ouder wordend oecosysteem waar de auto-energetische processen overheersen vindt steeds minder energie-overdracht plaats, het wordt autonomer. De voedingsstoffen worden meer in de organismen vastgehouden en de soorten wijzigen zich: het oecosysteem krijgt een oligotroof karakter. Krijgen allo-energetische processen de overhand dan treedt eutrofiëring of te wel verjonging van het systeem op. De waarde van de gesignaleerde tegenspraak moeten we zoeken in de energetische beschouwingwijze, die tracht de produktie (trofie) en de structuur tot een gelukkig huwelijk te brengen. Zolang energetische modellen voor ons nog geen praktische toepasbaarheid hebben, vooral omdat het zeer

moeilijk is hierin de biotische factoren te brengen, zal men zich nog met de oude methoden blijven behelpen. Daarbij speelt een rol, dat de factor tijd te weinig gerelativeerd wordt. Natuurlijke eutrofiëring vindt plaats in de loop van geologische tijdperken; bio-energetische processen die tot oligotrofiëring leiden moeten evenlang of bijna evenlang als de geologische tijdperken werkzaam kunnen zijn, wil er nieuw genenmateriaal in het systeem kunnen ontstaan. Is het daarom niet verstandiger de tijdfactor aan te passen in voor de praktijk bruikbare realiteiten? Hierbij denk ik er bijv. aan, dat waterbeheerders spreken over rijping van het water. Daarmee wordt bedoeld, dat in nieuw gevormde of gegraven bekkens aanvankelijk een onevenwichtige ontwikkeling van plant- en diersoorten plaatsvindt, maar dat na langere of kortere tijd, soms pas na jaren een evenwichtstoestand ontstaat. Er zijn ook zeer oude meren die door de voedselrijkdom van bodem en omgeving eutroof zijn en waarvan men heeft kunnen nagaan, dat zij in een evenwichtstoestand verkeren. Allogene en autogene processen zijn hier met elkaar in evenwicht. Het meer is en blijft als eutroof systeem volwassen, autonoom. Voor het beheer van wateren dienen wij van dit punt uit te gaan: het scheppen van een evenwicht tussen autogene en allogene processen van een water. Een illustratie van de betekenis hiervan vinden we bijvoorbeeld in de vorming van het Brokopondostuwmeer in Suriname. Na sluiting van de dam ontstond een ophoping van organische stof door de inundatie van het tropische regenwoud. Er volgde een successie van levensgemeenschappen van saproob en eutroof karakter in de eerste jaren, maar oligotrafente soorten bleven essentiële bestanddelen uitmaken van de biocoenose. Het oligotrofe karakter van de omgeving blijft hier doorwerken. Aangezien het meer doorstroomd wordt door de oligotrofe Suriname rivier, vindt afvoer van de overtollige voedingszouten plaats en het is te verwachten, dat het meer op den duur oligotroof zal worden. Essentieel is hier dat uit de wijde ongestoorde omgeving van dit meer oligotroof water wordt aangevoerd. Hieruit wordt het ook begrijpelijk, dat wij in ons land grote moeite hebben om de wateren die een oligotroof karakter hebben te behouden en te beheren.

We vinden in ons land oligotroof water op de in hoge zandgrond gelegen vennen en sommige beken; ook geïsoleerd gelegen laagveenplassen, zoals delen van het Vechtplassengebied, hebben een oligotroof karakter.

Het bestaan van deze ondiepe wateren als oligotrofe systemen hangt nauw samen met

de samenstelling van de bodem en de hydrologische omstandigheden. Uit de kalkarme en mineraalarme zanden lossen weinig voedingszouten op in het water. Bij contact met grondwater kan verrijking met mineralen optreden met als gevolg een eutrofe toestand. Als gevolg van het lage kalkgehalte (enkele mg Ca/l) is in vele vennen de zuurgraad hoog. Hierin kunnen ook aanwezige Sphagnum-vegetaties door ionenuitwisseling een aandeel hebben. Deze vennen kunnen als zuur-oligotroof gepreciseerd worden. Er zijn echter ook oligotrofe wateren, die ongeveer neutraal reageren, zoals de reeds genoemde oligotrofe Vechtplasgedeelten. De kalkrijkdom is hier hoger dan van de vennen. Duinmeren hebben een hoger kalkgehalte (20 - 40 mg/l) als gevolg van het kalkrijke duinzand waarin zij zijn gelegen. Het zijn eutrofe wateren, ondanks het feit, dat ze alleen regenwater ontvangen. Door de nabijheid van de zee bevat het regenwater meer zout, zodat o.a. het Cl-gehalte van de duinmeren hoger is dan die van vennen in het binnenland. Op Terschelling werd in 1951 in kalkarm binnenduin een duinplas gegraven, waarin zich een zuuroligotrofe biocoenose ontwikkelde. In recente jaren blijkt echter dat de plas eutrofer wordt. Waarschijnlijk is dit een gevolg van een verandering in de samenstelling van het regenwater door luchtverontreiniging, zoals S- en N-verbindingen.

Dit laatste brengt ons op de vraag of de vennen en plassen, die alleen regenwater ontvangen, bij de milieuwaardering nog als natuurlijke milieus kunnen worden opgevat. De invloed van de mens op het water laat zich ook via de luchtverontreiniging gelden. Uit Noorse onderzoekingen is de daling van de pH van regenwater, ook boven West-Europa duidelijk gebleken. De pH van de zachte, slecht gebufferde wateren in Zuid-Noorwegen, daalde tot de waarde 4. De ontwikkeling van eieren van vissen wordt daardoor geschaad en in sommige gevallen zijn zalm- en forelpopulaties daardoor zelfs verdwenen (Jensen en Snekvik 1972). In de zuur-oligotrofe vennen van ons land leeft geen vis door de reeds lage pH en verdere verlaging van de pH zal op dit punt geen probleem zijn. Wel zou volgens recente onderzoekingen de typische desmidiaceën samenstelling van de vennen veranderd zijn (Oisterwijk). Hier zijn echter ook andere factoren, zoals invloed van recreatie en ontginning van belang. Onze andere oppervlaktewateren hebben een hoge hardheid, zodat te verwachten is dat de verlaging van de pH van het regenwater niet merkbaar zal zijn. Of toename van andere verontreinigingen in het regenwater zoals organische stof en S- en N-verbindingen zowel in de vennen

als in de harde oppervlaktewateren in ons land betekenis heeft, moet worden gezien in samenhang met de kringloop der elementen in de verschillende watertypen. Daartoe moet ik eerst hierover iets naders zeggen. In het water wordt door aëroob en anaëroob levende zwavelbacteriën S gebruikt als energiebron. Onder anaërobe omstandigheden wordt SO_4 gereduceerd tot S en bij aanwezigheid van zuurstof wordt S geoxydeerd tot SO_4 . Bij aanwezigheid van Fe kan onder anaërobe omstandigheden FeS neerslaan. De zwarte modder in onze sloten laat het bestaan van dit proces duidelijk zien. Uit onderzoek van de laatste tientallen jaren is nu gebleken, dat in sommige buitenlandse meren een toename van deze zwarte modder is waar te nemen. Men kon aantonen, dat als gevolg van de chemische neerslag van FeS in het dieptewater, het Fe-gehalte in de laatste 30 jaar in het water afnam. Door de samenhang met de Fe-P-kringloop bleef meer PO_4 in oplossing, waardoor een sterkere algenbloei ging optreden. De oorzaak van de algenbloei, de eutrofiëring van het meer dus, hing samen met de toename van S, tengevolge van urbanisatie van de omgeving, door afvalwater en ook door regenwater dat aan het water werd toegevoegd. Het is een algemeen voorkomend proces. In het Naardermeer, vooral in de omringende sloten, vinden we de FeS-vorming eveneens, waarbij anaëroob ijzerhoudend kwelwater het proces bepaalt. In welke mate de toename van het SO_2 -gehalte in regenwater invloed heeft op het oppervlaktewater in ons land zal door nader onderzoek nog moeten worden nagegaan. Het is te verwachten, dat vennen beïnvloed zullen worden, niet alleen door daling van de pH of door beïnvloeding van de S-kringloop, maar ook door de ermee verbonden P-huishouding. In oligotrofe vennen is vrijwel geen PO_4 aanwezig. Reeds een geringe toename hiervan is van invloed op de samenstelling van de biocoenose. Uit de chemische analyses van verschillende typen van water in ons land konden de volgende waarden voor het PO_4 -gehalte worden afgeleid:

oligotrofe vennen	tot 0,01 mg/l PO_4
mesotrofe vennen	tot 0,05 mg/l PO_4
eutrofe wateren	tot 0,10 mg/l PO_4
hypertrofe wateren	> 0,10 mg/l PO_4

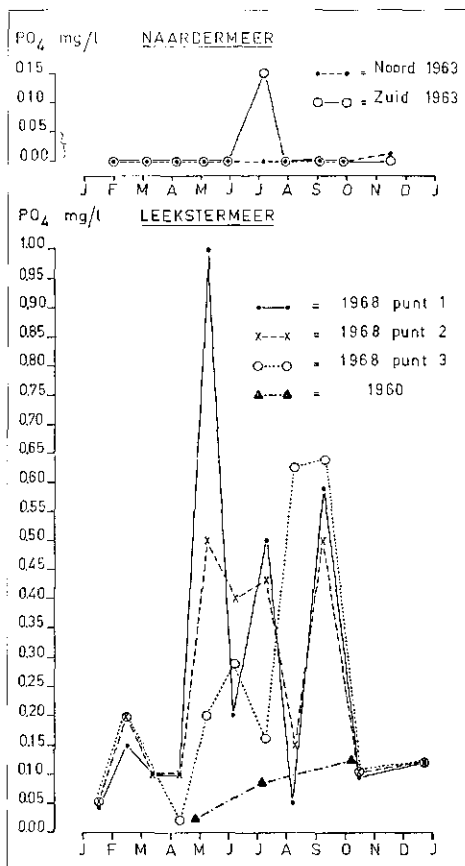
De gevonden criteria stemmen goed overeen met die van sommige Franse onderzoekers (Nisbet en Verneaux 1970) en Amerikaanse (Borchardt 1969). Ook Scholte Ubing (1973) komt tot de genoemde waarden voor vennen, hoewel hij geen onderscheid maakt tussen oligotrofe en mesotrofe. Het subtiele verschil van enkele

honderdste mg PO_4 tussen oligotrofe en mesotrofe vennen laat zien, dat een ven zeer gemakkelijk verstoord kan worden. Ontginningswater van hoge landbouwgronden moet daarom buiten het ven worden omgeleid, ook al weten we, dat fosfaten in vele bodems goed wordt vastgehouden. Het gaat om zeer geringe hoeveelheden. Een stootsgewijze toevoeging van ontginningswater, zoals we dat bij slechte afwatering van hogere landbouwgronden in winter en voorjaar kunnen vinden, brengt schade toe aan vennen die dit water ontvangen, daar o.a. fosfaten in de kringloop gebracht worden. De fosfaateutrofiëring manifesteert zich in vennen wel duidelijk, hoewel we moeten opmerken, dat ook N, C, Fe en andere verbindingen keyfactors kunnen zijn. In zuur-oligotrofe vennen is door te lage pH de bacteriële activiteit laag. De bacteriële nitrificatie is gering en de N ontwijkt als NH_3 of N_2 . Ook het HCO_3 -gehalte is laag en sommige algen en hogere waterplanten, die HCO_3 voor de koolzuur-assimilatie gebruiken kunnen minder goed gedijen. Het water van vennen heeft dus geheel andere eigenschappen dan de meeste andere oppervlaktewateren in ons land.

In de eutrofe en hypertrofe wateren in ons land is fosfaat- of nitraateutrofiëring moeilijk te onderkennen, daar het proces verdund wordt bijv. door organische verontreiniging, die in samenhang met de grote bacteriële activiteit in dit soort water na mineralisatie o.a. fosfaten en nitraten leveren. Voor deze wateren is blijkens de steeds talrijker wordende analyses van oppervlaktewater duidelijk geworden, dat fosfaat en nitraat vaak geen beperkende factor meer zijn (zie afbeelding). Een aantal onderzoekers (Legge 1970, Shapiro 1973) wijst daarom op het belang van C als beperkende factor in de vorm van CO_2 afkomstig uit bacteriële afbraak van organische stof. Het samengaan van sterke blauwwiergroei en sterke bacteriële ontwikkeling ondersteunt dit. Verlaging van de BOD-waarde en defosfatering van onze wateren zijn beiden nodig om zowel saprobiëring als eutrofiëring tegen te kunnen gaan. Bij de beoordeling of CO_2 dan wel PO_4 in een bepaald geval als meest waarschijnlijke beperkende factor van een bepaald water beschouwd moet worden en door adequate middelen moet worden verlaagd, moet er rekening mede gehouden worden, dat de eutrofiëring een gevolg is van de culturele eutrofiëring d.w.z. dat het water in een labiele toestand verkeert, waarin nu eens de ene dan weer de andere factor beperkend kan zijn voor nu eens de ene dan weer de andere algesoort. Voor onze wateren zou daarom het begrip metatroof van toepassing zijn,

hetgeen aanduidt, dat een water in korte tijd, meestal onder invloed van de mens, zodanige storingen krijgt, dat niet uit te maken is in welk trofiestadium het verkeert (Leentvaar 1958). Bij het onderzoek van de vennen in 1958 viel het op, dat een aantal vennen chemisch een vrijwel mesotrofe samenstelling had, maar dat het plankton bestond uit een mengsel van eutrofe en oligotrofe soorten. Typische mesotrofe soorten ontbraken. Uitgaande van de gedachte dat een mesotroof ven zich reeds zeer lange tijd als een stabiel milieu ongestoord had ontwikkeld en dus gerijpt was met voor dit systeem typische organismen, moest het metatrophe ven van jonge datum zijn en nog niet de gelegenheid gehad hebben te rijpen. Het komt dus overeen met het terugzetten van de maturity naar een jonger successiestadium. Zoals we gezien hebben betekent dit een labielere toestand, met grote schommelingen in populaties en chemisch milieu. Met het begrip metatropie geven we ook aan, dat we niet goed weten in welke richting een bepaald water zich zal ontwikkelen door de gecompliceerde acties van de mens. Er kunnen immers ieder ogenblik handelingen uitgevoerd worden, die het oecosysteem, dat reeds in labiel evenwicht is, opnieuw storen. De therapie wordt onmogelijk doordat de diagnose onmogelijk is.

Op gevaar af, dat ik wat te lang op een aspect van de aquatische oecologie doorga, nl. de eutrofiëring, wil ik toch iets meer zeggen over de thans in vele wateren waar te nemen blauwwiergroei als symptoom van de eutrofiëring. Het is een verschijnsel dat zich over de gehele wereld voordoet. In ons land zijn er duidelijke voorbeelden zoals de blauwwiergroei in de Randmeren, het Brielse meer, Leekstermeer en tal van andere wateren. Ze kunnen de oorzaak zijn van vissterfte door extreme zuurstofschommelingen, kunnen onder bepaalde omstandigheden giftig zijn voor warmbloedige dieren, geven smaakbezwaren aan het drinkwater en zijn hinderlijk bij het zwemmen. De oorzaak van de blauwwiergroei wordt vooral gezocht in fosfaat-eutrofiëring, maar er zijn ook aanwijzingen, dat andere factoren, zoals C- en N-verbindingen bepalend zijn, zoals al even werd aangestipt. Het is daarom nuttig er op te wijzen, dat er verschillende blauwwiersoorten zijn en dat die niet alle dezelfde milieu-eisen stellen. Er zijn soorten zoals *Anabaena* spp., *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos aqua* en in mindere mate *Gloeotrichia* spp., die vooral aan de oppervlakte van het water als een drijvende gifgroene laag kunnen worden waargenomen. Zij vormen agglomeraten. Niet-drijvende soorten zijn de draadvormige



Oscillatoria agardhii, *Oscillatoria redekei* en *Lyngbya limnetica*, die zich alleen zwevend in het water ophouden. Van *Oscillatoria agardhii* is het bekend, dat zij bij lage lichtintensiteit, lage zuurstofspanningen, en hoog organische stofgehalte leeft. In diepe meren vinden we ze vaak bij de bodem of in de spronglaag, waar deze condities aanwezig zijn. In onze ondiepe troebele verontreinigde wateren vinden ze eveneens deze omstandigheden. In de Rijn is het altijd een kenmerkende soort geweest; in de Maas was ze vroeger afwezig. In het Alkmaardermeer ontbrak in 1972 zowel *Oscillatoria agardhii* als *Oscillatoria redekei* vrijwel hoewel het PO₄-gehalte hier omstreeks 1 mg/l bedroeg. De draadvormige zwevende soorten ontwikkelen zich vooral in met organische stof verontreinigde wateren. De egelvormige kolonies van *Gloeotrichia* worden wel aangezien voor indicators van beginnende waterverontreiniging. Hierbij moet worden opgemerkt, dat zij in helder water op de plantestengels vastzitten en later in de zomer loslaten, wat echter ook door troebeling (verontreiniging) van het water gepaard gaande met lichtafname wordt bevorderd. De eerste verontreinigingsverschijnselen in de Loosdrechtse plassen konden o.a. door het

optreden van deze soort in het plankton in 1963 worden afgeleid; terzelfder tijd kon zij nog in het glasheldere water van het Veluwemeer op de planten worden waargenomen, waar, zoals bekend door verontreiniging, echter korte tijd later een eind aan kwam. De genoemde meer drijvende blauwwiersoorten zijn in het voordeel boven andere fytoplanktonsoorten, doordat zij altijd een gunstiger positie hebben ten opzichte van het licht en bovendien door schaduwwerking het licht voor het dieper levende fytoplankton wegnemen. Ook worden zij niet door zoöplankton en vis begraasd. Verder bezitten een aantal van deze soorten het vermogen om luchtstikstof te binden. Shapiro (1973) vermeldt, dat de fosfaatkinase voor blauwwieren gunstiger uitvalt dan voor groenalgen. Samen met het vermogen in N te binden zullen zij dus bij voldoende fosfaat en te weinig N in het water in het voordeel zijn, temeer daar hij uit proeven afleidde, dat bij opvoering van het CO₂-gehalte blauwwieren eerder in staat waren CO₂ te assimileren dan groenalgen.

Een culture met de blauwwieren: *Coelosphaerium*, *Microcystis*, *Lyngbya*, *Anabaena*, *Aphanizomenon* en *Oscillatoria* als dominanten wijzigde zich na 10 dagen invoer van CO₂ in een planktonbezetting met *Sphaerocystis*, *Scenedesmus* en *Oscillatoria*, dus dominerend groenalgen. Een pH van 10 kan vaak in blauwwierbloeien optreden als gevolg van de koolzuurassimilatie. Ook op het punt van de koolzuurassimilatie bestaan er verschillen, doordat sommige blauwwieren (en dit geldt ook voor andere algen en hogere waterplanten) CO₂ omzetten, anderen HCO₃. Onze oppervlaktewateren zijn van nature harde wateren en de genoemde soorten als *Microcystis*, *Anabaena* en *Aphanizomenon* horen hier thuis en vertonen normaal een bloei aan het eind van de zomer. Verwarming van het water geeft aanleiding tot verschuiving in het planktonbeeld naar blauwwieren. *Oscillatoria agardhii* trekt zich van de temperatuur minder aan, zodat we ze vaak zowel in zomer als winter in grote aantallen kunnen aantreffen (Langeraarse plas). In het zachte water van vennen vinden we de genoemde planktonische blauwwiersoorten niet, hoewel er weer andere niet-planktonische zijn, die zich hier wel ontwikkelen. Wanneer een ven verontreinigd of besmet wordt met organische stof, fosfaat of nitraat, vinden we geen blauwwierontwikkeling in het plankton, tenzij we ook kalk toevoegen. In het Brokopondostuwmeer, dat kalkarm water bevat en thans nog rijk is aan fosfaat, nitraat en organische stof, werd geen bloei van blauwwieren gevonden. Ook in deze zachte wateren wijzen de waarnemingen op een verband van de C-huishouding met

blauwwierontwikkeling, naast het verband met P en N en andere hier niet genoemde elementen. Met deze summiere beschouwing over het blauwwier probleem, wilde ik hier eindigen. Er zijn slechts enkele grepen gedaan uit de theoretische en praktische problematiek van de aquatische oecologie, waarvan veel nog niet is opgelost. Er kan hier niets gezegd worden over hydrozoologische aspecten, zoals de relatie bodemfauna of macrofauna tot het eutrofiëringsproces. Naar ik hoop zijn echter enige essentiële gezichtspunten en feiten in een duidelijk verband geplaatst.

Literatuur

- Borchardt, J. A., 1969. *Eutrophication-causes and effects*. Jnl. Am. Wat. Ass. June, pg. 272-275.
- Hutchinson, G. E. 1957. *A treatise on limnology I*, 1015 pp.
- Jensen, K. W. and Snekvik, E. 1972. *Low pH levels wipe out salmon and trout populations in Southernmost Norway*. *Ambio*, vol. 1, nr. 6, 3 pp.
- Legge, F. and Douglas Dingeldein, 1970. *We hung phosphates without a fair trial*. Canadian Research and Development vol. 3, pg. 19-27.
- Leentvaar, P. 1958. *Hydrobiologie van de Bergvennen*. *Amoeba*, dec. pg. 21-24.
- Leentvaar, P. 1970. *Het probleem van de eutrofiëring*. *H₂O*, 5, 4 pp.
- Lund, J. W. G. 1972. *Eutrophication*. Proc. R. Soc. London B 180, pg. 371-382.
- Margalef, A. 1958. *'Trophic' typology versus biotic typology, as exemplified in the regional limnology in Northern Spain*. Verh. Int. Ver. Limnol. XIII, pg. 71-77.
- Nat. Acad. of Sciences-Nat. Res. Council, 1969. *Eutrophication. Causes, consequences, correctives*. 661 pp.
- Nisbet, M. et Verneaux, J, 1970. *Composantes chimiques des eaux courantes*. *Annales de Limnologie* t 6, fasc. 2, pg. 161-190.
- Odum, E. P. 1971. *Fundamentals of Ecology*, 574 pp.
- Ruttner, F. 1962. *Grundriss der Limnologie*, 332 pp.
- Scholte Ubing, D. W. 1973. *De kwaliteit van het oppervlaktewater in Nederland*. TNO-rapport, 34 pp.
- Shapiro, J. 1973. *Blue-green algae - Why they become dominant*. *Science* vol. 179, pg. 382-384.
- Thienemann, A., 1925. *Die Binnengewässer Bd. I*, 255 pp.
- Verneaux, J. 1968. *Le milieu et les peuplements aquatiques*. Bull. Technique d'Information nr. 228, 16 pp.

